УДК 005.5:378:574
UDC 005.6:378:574

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-014-023

ASSESSMENT OF UNIVERSITY ACTIVITIES IN THE CONTEXT OF COMPLIANCE WITH THE GOALS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

ОЦІНЮВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ УНІВЕРСИТЕТУ В КОНТЕКСТІ ВІДПОВІДНОСТІ ЦІЛЯМ СТАЛОГО РОЗВИТКУ



***Nykolay Dmytrychenko**, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Sc.D., Professor, National Transport University, Professor of Production, Repair and Materials Science Department, e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, tel. (044)2808203, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 318,*

https://orcid.org/0000-0003-4223-1838



***Oleksandr Gryshchuk**, Ph.D., Professor, National Transport University, Professor of Truism Department, e-mail: gryshchuk@ntu.edu.ua, tel. (044)2802014, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 330,*

https://orcid.org/0000-0003-2993-5566



***Vitalii Kharuta,** Ph.D., Associate Professor, National Transport University, Professor of Transport Law and Logistics Department, e-mail: kharuta_vitaliy@ntu.edu.ua, tel (044) 280-46-67, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 328,*

https://orcid.org/0000-0002-8897-7558



***Anna Kharchenko,** Sc.D., Professor, National Transport University, Professor of Transport Construction and Property Management Department, e-mail: anna-x3@ukr.net, tel.+380442807909, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 323,*

https://orcid.org/0000-0001-8166-6389

Summary. The article is devoted to the analysis of the university's activities in the context of compliance with the UN sustainable development goals. In accordance with the tasks of the Transformational Learning Network for Resilience - Enabling Ukrainian higher education to ensure a sustainable and robust reconstruction of (post-war) Ukraine (TransLearnN) project, in which the National Transorthian University participates from 2024, the university's activities in the direction of compliance with the goals of sustainable development. In particular, it was determined which areas of activity of NTU are declared in the main regulatory documents of the university, which correspond to the goals of sustainable development. A PEST and SWOT analysis of the university's activities was also carried out, the main measures and promising steps for the sustainable development of NTU in the near future were determined. The participation of the National Transport University in the Transformational Learning Network for Resilience - Enabling Ukrainian higher education to ensure a sustainable and robust reconstruction of (post-war) Ukraine (TransLearnN) project contributed to a comprehensive analysis of the university's activities in the context of the UN sustainable development goals.

Keywords: goals of sustainable development, higher education, analysis of university activities, strategic planning of sustainable development

Introduction.

The rapid development of the world economy dictates more and more new conditions for the successful functioning of the economy of an individual country. Higher education is an integral part of the national economy, therefore the implementation of the concept of sustainable development inevitably affects universities and their activities. All over the world, universities are beginning to integrate elements of the concept into their activities and regulatory frameworks. However, the best possible integration is preceded by a detailed analysis of the university's activities in the context of compliance with the UN sustainable development goals. Conducting such an analysis will allow the university to determine strategic areas of activity with elements of stability.

Presenting main material.

National Transport University (NTU) conducts research and education in interdisciplinary areas of transport, urban engineering and the economy. The NTU is a public higher educational institution governed by Ministry of Education and Science of Ukraine and qualified as a leading in transport sector. It provides training and education services and conducts research activities of fundamental and applied significance. Bachelor's, Master's and Doctor's degree programmes are offered tuition-free or on a fee-paying basis at the expense of businesses and individuals. For now, more than 7 thousand students, including foreigners, study at the university in 107 programmes within 27 specialities. The university consists of departments, faculties, colleges, a doctoral studies division together with technical, administrative, academic and legal support units. There are 6 Faculties: Automotive and Mechanical Engineering; Transport Construction; Management Logistics and Tourism; Economics and Law; Transport and Information Technologies; Correspondence, Distance Learning and Foreign Citizens Training. The university academic and teaching staff is experienced and highly qualified. About 80% of them have academic titles and degrees. They include: 64 Doctors of Science and Professors, 223 Candidates of Science and Associate Professors, 25 Academicians and Associate Members of sectoral academies, 6 Honoured Scientists of Ukraine, 5 Honoured Transport Employees of Ukraine, 4 Eminent Educators of Ukraine. Many lecturers have become the Ukrainian State Prize Laureates in Science and Technology. Postgraduate and doctoral department of the university offers 10 programmes for training qualified professionals. The activity of the university is closely interrelated with the leading enterprises of the transport and road-building complex both in Ukraine and abroad. Now the university has 427 cooperation agreements with businesses. Such cooperation allows introducing into the educational process new concepts in the automotive and road engineering, transport and information technologies, management, economic and legal studies.

According to the Charter of the National Transport University [1], the Development Strategy of the National Transport University for 2019-2025 [2], the main priority directions of the National Transport University from the perspective of sustainable development [3] are (ranked by degree of importance, Fig. 1):

1. Training of competitive specialists, recognized in Ukraine and abroad, with a high level of professional competence, intellectual activity, and social responsibility (goal 4).

2. Creation of an innovative scientific space. Development of the infrastructure of the University (goal 9).

3. Financial security of the University (goal 8).

4. Management of internationalization of scientific and educational activities. Partnership for sustainable development (goal 17).

5. Promoting the development of ecological culture, understanding the need for harmony between man and nature and its observance in practice, including in the future professional activities of students (goal 12).

6. Permanent provision of physical education of student youth (goal 3).

7. Interaction of the University with authorities and public organizations of the region in solving specific socially significant problems (goal 11).

8. Observance of equality, prevention of corruption, ensuring gender equality, combating discrimination (goals 5, 10).

9. Support of socially disadvantaged sections of the population (social scholarship, assistance of the trade union committee) (goal 1).

10. Patriotic education, promotion of diplomatic and democratic relations in society (goal 16).

11. Compliance with the safety of the educational environment, proper sanitary conditions (goal 6).

Also, the National Transport University is constantly working on greening its activities and compliance with International Standards. In particular, it should be noted:

1. Certificate of recognition of measuring capabilities of the Scientific and Production Center of Transport Construction of NTU, confirming compliance with the requirements of DSTU ISO 10012:2005 (No.PT-94/23 dated 03/24/2023, SE "UKRMETRTESTSTANDART").

2. Certificate of conformity of the measurement system of the "Testing Laboratory of Transport Construction Materials Quality" of NTU to the requirements of DSTU ISO 10012:2005 2005 (No. 06-0016/2021 dated 03.12.2021, SE "KYIVOBLSSTANDARTMETROLOGY").

3. Conclusions of the state sanitary-epidemiological examination dated 04.14.2014 No. 05.03.02-04/25828 on compliance with the requirements of the NTU premises to state norms and standards in accordance with the Law of Ukraine "On Ensuring the Sanitary and Epidemiological Well-Being of the Population"

4. Letter of the State Emergency Service of Ukraine in Kyiv, Pechersk District, 20/568 dated March 14, 2014, on the compliance of the premises of the National Technical University with fire safety standards, norms and rules.

5. The University Environmental Program was developed and implemented in accordance with ISO 14001:2006, which was certified in 2009. The successful implementation of the "Environmental Program" is confirmed by certification according to the DSTU standard ISO 14024:2002 (ISO 14024:1999), which certifies compliance with the requirements of SOU OEM 08.002.37.078:2013 "Educational services "green class" and environmental criteria of the life cycle" (2016).

6. On March 31, 2023, the National Transport University joined the international program "Clean Air for Ukraine", the main goal of which is to help the residents of Kyiv in the performance of the key task of air quality monitoring - notification of deterioration of air quality.

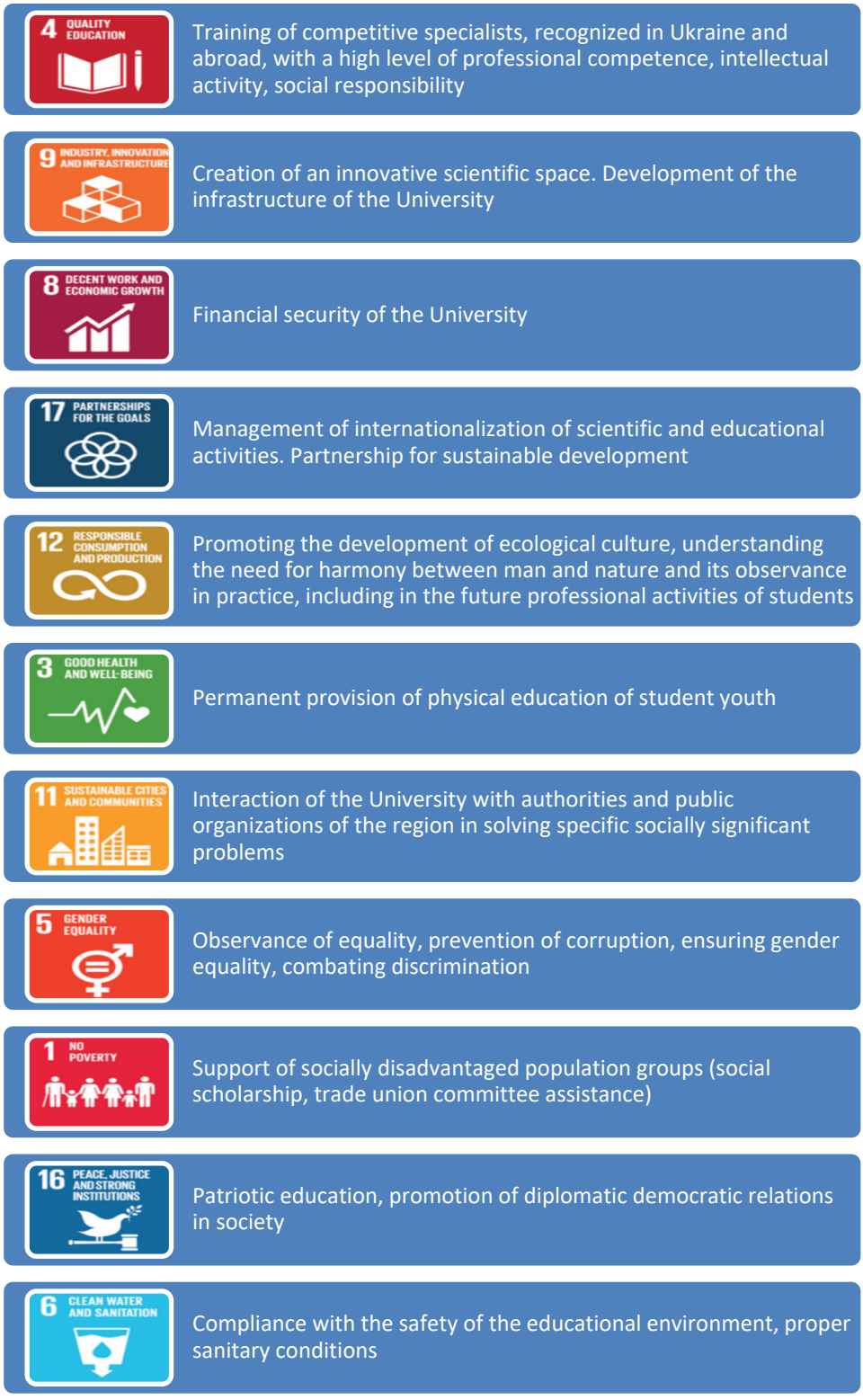


Figure 1 – Declared areas of activity of NTU in the context of UN sustainable development goals
Рисунок 1 – Задекларовані напрямки діяльності НТУ в контексті цілей сталого розвитку ООН

In addition, a number of educational programs of the National Transport University include courses that are already taught and reflect aspects of sustainable development. These are the courses: "Ecology", "Fundamentals of ecology", "General ecology and neo-ecology", "Strategy of sustainable development of transport infrastructure", "Ecology of transport", "Environmental support systems of transport infrastructure objects", "Impact on people and the environment, safety and sustainability", "Sustainable development and optimization technologies of global environmental management processes", "Geoinformation ecomonitoring", "Environmentally responsible management of projects and programs", "Management of social and environmental safety projects in transport systems", "Environmental problems of transport", "Management of environmental protection activities", "Management of environmental protection activities", "Inclusive circular economy", "Fundamentals of sustainable development", "No-waste and low-waste technologies", "Technologies of production of materials from man-made waste and substandard materials", "Ecological tourism", "Ecological and economic evaluation use of property potential and economics of nature use", "Environmental law", "Environmental marketing", "Environmentally clean production and technologies", "Management of social and environmental risks", "Professional environmental activity of an expert", "Environmental certification", "Management of international environmental systems", "Macrologistic systems and sustainable development", "Environmental protection during the life cycle of the road", "Environmental safety of passenger transport in cities", "Environmental ecology", "Greening of internal combustion engines" and others [4].

Within the framework of the project the Transformational Learning Network for Resilience - Enabling Ukrainian higher education to ensure a sustainable and robust reconstruction of (post-war) Ukraine (TransLearnN), NA DAAD: 2023-1-DE01-KA220-HED-000157119, funding program "Erasmus+ KA220-HED - Partnerships in the field of higher education" during the first quarter of 2024 a PEST analysis and a SWOT analysis of the activities of the National Transport University were performed.

The tasks of the PEST analysis were – assess the current state of the development of strategies for sustainability management of universities in EU and Ukraine, in order to provide a good knowledge basis to the partner universities and working groups in this project. PEST analysis is a marketing tool designed to identify political (P), economic (E), social (S) and technological (T) aspects of the external environment that affect the university's activities [5].

The task of the SWOT analysis was to assess the state, experience and needs of teaching in the field of sustainable development science at partner universities in Ukraine in order to identify strengths, weaknesses, opportunities and threats.

The importance of using this tools for evaluating university performance has been emphasized along with modern studies [6-7].

As a result of the PEST analysis, a matrix was obtained (Fig. 2).

Analyzing the PEST analysis matrix, it can be concluded that political and economic factors exert the greatest macro-influence on the activities of the National Transport University. Therefore, the next step in the study of the activity of NTU was to conduct a SWOT analysis. A SWOT analysis (or SWOT matrix) is a strategic planning and strategic management technique used to help a university identify its strengths (S), weaknesses (W), opportunities (O), and threats (T). related to sustainable development planning in this case [8].

As a result of the study, a SWOT analysis of NTU activities was conducted and a corresponding matrix was constructed (Fig. 3).

Political	**Economical**
Political stability. *Changes in legislation in the field of higher education.* *State influence on the education sector, in particular, through various funding models.* *State regulation of competition in the field of education, in particular, at the expense of different conditions for the admission of applicants to various specialties (special support, additional independent testing, etc.), as well as different conditions for obtaining qualifications (attestation, a Single Qualifying Exam, admission to the profession).* *Tax policy.*	*General characteristics of the economic situation (rise, stabilization, decline) and the economy's need for specialists in a certain specialty.* *The exchange rate of the national currency and the refinancing rate, in particular, the impact on the cost of the contract for those seeking higher education, the university's expenses for teachers' salaries.* *Inflation rate (increase in the amount of material expenses of the university).* *Energy price fluctuations.* *Participation in scientific and international projects.*
Social	**Technological**
Demographic changes. *Change in the income structure of customers of educational services (decrease or increase in opportunities for consumers to obtain higher education).* *Attitudes towards work and rest (the university's ability to provide decent wages and rest for staff).* *Social mobility of the population (applicants' ability to freely move between settlements, for example, moving to another city for higher education).* *Consumer activity (the general need of the population to obtain higher education).*	*State policy in the field of innovative scientific and educational developments.* *Promotion of the state to the commercialization of scientific and educational developments of scientific and pedagogical personnel of the university.* *The level of technology in the road and transport complex as a factor in updating educational programs.* *University access to modern educational tools and learning technologies, scientometric databases, educational platforms and projects.*

Figure 2 **–** Matrix of PEST analysis of NTU activities
Рисунок 2 – Матриця PEST-аналізу діяльності НТУ

	Helpful to achieving theobjective	Harmful to achieving theobjective
Internal origin	**Strength**	**Weakness**
	1. The university has a positive image, is in the TOP 100, received the "Quality Star" award and the Expert opinion as the Best University of Ukraine in 2020. *2. The vast majority of teachers have experience in participating in scientific projects that are carried out both at the expense of the state and at the request of legal entities. In particular, scientific teams of NTU have developed state standards and regulatory documents that meet the goals of sustainable development. The experience of teachers is used both to improve the educational process under the educational programs of the university and to develop scientific project activities.* *3. Has certified laboratories and equipment.* *4. A wide range of licensed software is available.* *5. The university is connected to participation in environmental projects and programs of Kyiv, Ukraine and foreign partners.*	*1. The need for constant improvement of the infrastructure and technical support of the university in connection with progress in the technical field.* *2. Insufficient level of academic mobility of students of higher education.* *3. The need to constantly increase motivation and stimulate the professional development of scientific and pedagogical workers in connection with the unstable economic situation.*
External origin	**Opportunity**	**Threats**
	1. The university has many connections with representatives of the industry and other higher education institutions, foreign partners. *2. A favorable climate for the development of innovative teaching technologies has been created.* *3. Scientific and pedagogical personnel have opportunities to participate in international training, internship, research and exchange programs.* *4. Involvement of partner companies in cooperation (for internships by students, participation in applied research, joint public events).*	*1. The instability of the political situation in Ukraine.* *2. Martial law, restrictions for men.* *3. Reforming the field of education (consolidation of universities, changes in the list of specialties, regulation of professions, regulation of the scientific component of teachers' workload, etc.).* *4. Reduction in the number of applicants and students.* *5. Changes in the needs of the labor market for specialists.*

Figure 3 – Matrix of SWOT analysis of NTU activities
Рисунок 3 – Матриця SWOT-аналізу діяльності НТУ

The main steps of NTU according to the direction of the project were:

- updating educational programs taking into account the goals of sustainable development (inclusion of educational components and/or discipline modules);
- participation of the university in the international program "Clean air for Ukraine";
- participation in scientific programs and research in accordance with the goals of sustainable development (DAAD, ERASMUS+, State Agency for Reconstruction (Ukraine) and others);

- introduction of a waste paper collection program at the university for the purpose of its further processing (Department of Ecology and Environmental Protection Technologies);

- maintaining the premises of the university in compliance with sanitary and epidemiological norms and standards;

- the Environmental Program of the university was developed and implemented in accordance with ISO 14001:2006, which was certified in 2009;

- the University is a collective member of the Technical Committee on Standardization "Environmental Protection (TK82)" of the National Certification Body of Ukraine;

- participation in the "UKRENERGY" project, which is aimed at introducing the best EU best practices in the field of educational methodologies related to energy efficiency and energy planning, in training future specialists of the construction industry of Ukraine;

- cooperation with external stakeholders regarding sustainable development goals.

The steps foreseen according to the direction of the project:

- monitoring of educational programs in the direction of their compliance with the goals of sustainable development and development of relevant proposals for their renewal;

- monitoring of the material and technical base in the direction of reducing the negative anthropogenic impact on the environment, ensuring energy conservation, resource conservation;

- active participation in the development of the concept of sustainable development of the management system of higher education institutions;

- active participation in the "UKRENERGY" project, updating educational programs of engineering specialties;

- cooperation with the State Agency for Reconstruction of Ukraine in order to develop scientific and applied approaches to the restoration and development of critical infrastructure;

- active work on the inclusion of NTU in international university rankings;

- submitting environmental startups of teachers and students to international competitions;

- deepening cooperation with communities, nature reserves, public nature conservation organizations and other stakeholders in the direction of sustainable development goals.

Conclusions. The participation of the National Transport University in the Transformational Learning Network for Resilience - Enabling Ukrainian higher education to ensure a sustainable and robust reconstruction of (post-war) Ukraine (TransLearnN) project contributed to a comprehensive analysis of the university's activities in the context of the UN sustainable development goals. A study of awareness and understanding of the concept of sustainable development by university management and curantors of educational programs was conducted. This determined the degree of acceptance of the concept and how it is reflected in the educational process and university management. It also made it possible to form the main perspective directions for ensuring the sustainable development of the National Transport University.

References

1. Charter of the National Transport University (2023). URL: http://vstup.ntu.edu.ua/publichna_info/statut-ntu.pdf [in Uhrainian]

2. Development strategy of the National Transport University for 2019-2025. URL: http://www.ntu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/12/monitoring_ntu.pdf [in Uhrainian]

3. United Nations Development Programme (2022). URL: https://www.undp.org/sustainable-development-goals

4. Report based on the results of a survey of the curantors of the educational programs of the National Transport University regarding the extent to which the university's educational programs cover the UN sustainable development goals (2024). URL: http://www.ntu.edu.ua/pidrozdili/navchalno-metodichne-upravlinnya/viddil-zabezpechennya-yakosti-osviti-ta-praktichnoi-pidgotovki/ [in Uhrainian]

5. PEST analysis. Material from Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/PEST-%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7 [in Uhrainian]
6. Cox, J. (2021). The higher education environment driving academic library strategy: A political, economic, social and technological (PEST) analysis. The Journal of Academic Librarianship, 47(1), 102219. https://doi.org/10.1016/j.acalib.2020.102219
7. Pedchenko, N., Hasii, O., & Vlasenko, V. (2023). Metodolohiia provedennia SWOT-analizu pry formuvanni kontseptsii rozvytku pryvatnoho zakladu vyshchoi osvity. Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli. Seriia «Ekonomichni nauky», (1 (107), 75-84. https://doi.org/10.37734/2409-6873-2023-1-11 [in Uhrainian]
8. SWOT analysis. From Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/SWOT_analysis

ASSESSMENT OF UNIVERSITY ACTIVITIES IN THE CONTEXT OF COMPLIANCE WITH THE GOALS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Дмитриченко Микола Федорович, Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, тел. (044) 2808203, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 318. https://orcid.org/0000-0003-4223-1838

Грищук Олександр Казимирович, кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри туризму, e-mail: gryshchuk@ntu.edu.ua, тел. (044) 280-20-14, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 330. https://orcid.org/0000-0003-2993-5566

Харута Віталій Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного права та логістики, e-mail: kharuta_vitaliy@ntu.edu.ua, тел. (044) 280-46-67, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 328, https://orcid.org/0000-0002-8897-7558

Харченко Анна Миколаївна, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: anna-x3@ukr.net, тел. +380442807909, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 323, https://orcid.org/0000-0001-8166-6389

Анотація: Стаття присвячена розгляду питання аналізу діяльності університету в контексті відповідності цілям сталого розвитку ООН. Відповідно до завдань проекту the Transformational Learning Network for Resilience - Enabling Ukrainian higher education to ensure a sustainable and robust reconstruction of (post-war) Ukraine (TransLearnN), в якому Національний трансортний університет приймає участь з 2024 року, було проаналізовано діяльність університету в напрямку відповідності цілям сталого розвитку. Зокрема, було визначено які напрямки діяльності НТУ задекларовані в основних нормативних документах університету, що відповідають цілям сталого розвитку. Також було проведено PEST та SWOT-аналіз діяльності університету, визначені основні заходи та перспективні кроки задля сталого розвитку НТУ у найближчій перспективі. Таким чином, участь Національного транспортного університету у проекті the Transformational Learning Network for Resilience - Enabling Ukrainian higher education to ensure a sustainable and robust reconstruction of (post-war) Ukraine (TransLearnN) позитивно сприяла комплексному всебічному аналізу діяльності університету в контексті цілей сталого розвитку ООН.

Ключові слова: цілі сталого розвитку, вища освіта, аналіз діяльності університету, стратегічне планування сталого розвитку

Перелік посилань

1. Статут Національного транспортного університету (2023). URL: http://vstup.ntu.edu.ua/publichna_info/statut-ntu.pdf
2. Стратегія розвитку Національного транспортного університету на 2019-2025 роки. URL: http://www.ntu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/12/monitoring_ntu.pdf
3. United Nations Development Programme (2022). URL: https://www.undp.org/sustainable-development-goals
4. Звіт за результатами опитування гарантів освітніх програм Національного транспортного університету щодо ступеня охоплення освітніми програмами університету цілей сталого розвитку ООН (2024). URL: http://www.ntu.edu.ua/pidrozdili/navchalno-metodichne-upravlinnya/viddil-zabezpechennya-yakosti-osviti-ta-praktichnoi-pidgotovki/
5. PEST-аналіз. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/PEST-%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7
6. Cox, J. (2021). The higher education environment driving academic library strategy: A political, economic, social and technological (PEST) analysis. The Journal of Academic Librarianship, 47(1), 102219. https://doi.org/10.1016/j.acalib.2020.102219
7. Педченко, Н., Гасій, О., & Власенко, В. (2023). Методологія проведення swot-аналізу при формуванні концепції розвитку приватного закладу вищої освіти. Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія «Економічні науки», (1 (107), 75-84. https://doi.org/10.37734/2409-6873-2023-1-11
8. SWOT analysis. From Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/SWOT_analysis

The article was prepared within the framework of the Transformational Learning Network for Resilience - Enabling Ukrainian higher education to ensure a sustainable and robust reconstruction of (post-war) Ukraine (TransLearnN) project, NA DAAD: 2023-1-DE01-KA220-HED-000157119

Стаття підготовлена в рамках виконання проекту the Transformational Learning Network for Resilience - Enabling Ukrainian higher education to ensure a sustainable and robust reconstruction of (post-war) Ukraine (TransLearnN), NA DAAD: 2023-1-DE01-KA220-HED-000157119

УДК 625.7
UDC 625.7

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-024-037

THE STUDY OF THE INFLUENCE OF TRAFFIC INTENSITY AND TRAFFIC FLOW COMPOSITION ON THE CAPACITY OF MOTOR ROADS AND BRIDGE CROSSINGS

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ ТА СКЛАДУ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ НА ПРОПУСКНУ ЗДАТНІСТЬ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ТА МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ



Liudmyla Bondarenko, *Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, Kyiv, Ukraine, e-mail: BondarenkoLP@gmail.com, tel.+380442803942, +380679804939,*

https://orcid.org/0000-0002-8239-065X



Vitalii Stozhka, *Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, Kyiv, Ukraine, e-mail: styozhka@ukr.net, tel+380977933036*

https://orcid.org/0000-0002-5039-9852



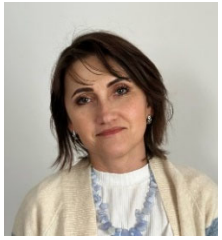
Alina Sevostianova, *Ph.D., Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Transport Law and Logistics, Kyiv, Ukraine, e-mail: sevostianova1607@gmail.com, tel.+380442544326*

https://orcid.org/0000-0002-7693-0648



Alona Shpyh, *Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, Kyiv, Ukraine, e-mail: alena-87@ukr.net, tel.+380988123982*

https://orcid.org/0000-0002-6909-7088



Olena Usychenko, *, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Department of Transport Construction and Property Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: fbbk@ukr.net, tel. +380442803942*

https://orcid.org/0000-0002-7482-8420

Annotation: The study presents the results of the research of the impact of traffic intensity and traffic flow composition on the capacity of highways and bridge crossings based on mathematical and numerical modeling methods. The main factors affecting the capacity of highways and bridge crossings have been identified. The methodology for determining the level of traffic and capacity of highways approved by the State Service of Highways (now the Restoration Agency) was adopted as the main calculation basis for numerical modeling. Also, for calculations, updated statistical data, given in open literary sources, were used. 11 test options with different composition of the traffic flow were considered: from 0% to 100% of the share of passenger cars in the composition of the traffic flow. The average speed of the traffic flow was determined depending on the geometric parameters of the road - the radii of the horizontal curves in the plan and the longitudinal slope of the carriageway. It is shown that the average speed of the traffic flow increases with an increase in the value of the radius of the horizontal curve and with a decrease in the value of the longitudinal slope of the carriageway of the road, which is due to the improvement of traffic safety conditions and the possibility of moving vehicles at higher speeds. Also, the results of the numerical modeling showed an increase in the average speed of the traffic flow with an improvement in the level of coverage of the road (bridge crossing). It is shown that an increase in the share of cars in the traffic flow leads to an increase in the average speed of the entire traffic flow, which is explained by their more "compact" dimensions, compared to trucks, buses and road trains. The smallest practical carrying capacity of a highway or bridge crossing corresponds to a column of cars at the speed of free movement. The highest practical throughput corresponds to the traffic intensity at the minimum interval (optimal speed). Also, with an increase in the traffic flow of trucks and large-sized vehicles, the capacity of the road decreases. This determines the relevance of research in the direction of developing load models based on the actual parameters of heavy-duty rolling stock when determining the load-carrying capacity of highways and overpasses.

Key words: highway, bridge crossing, throughput, mathematical modeling.

Introduction. The carrying capacity of a road is one of the most important criteria that determines its overall efficiency and functioning. It characterizes the maximum number of vehicles that can safely and comfortably drive through a certain section of the road in a unit of time. A high carrying capacity indicates a road's ability to provide uninterrupted traffic flow, which is critical for reducing congestion, improving road safety, and improving transport logistics in the region.

The carrying capacity of the highway (bridge crossing) depends on a number of factors:

1. Geometric parameters of the road. The roadway width, number of lanes, turning radius, gradients and road profile affect the maximum number of vehicles that can pass in a given time.

2. Road surface quality. The condition and type of road surface affect the speed and safety of transport, which directly affects the throughput.

3. Mode of movement. The presence and regulation of traffic lights, road signs, pedestrian crossings, as well as speed limits affect the level of continuity and speed of movement.

4. Transport flow. The intensity of traffic, the composition of the transport flow, its average speed and density affect the carrying capacity of the road.

5. Weather conditions. Rain, snow, ice can significantly reduce traffic capacity due to the need to reduce speed and increase the distance between vehicles.

6. Presence of emergency situations or repair work. Any obstacles on the road, including road accidents, repair work or other unforeseen situations, can significantly reduce its capacity, creating traffic jams and slowing down traffic.

7. Traffic organization. Proper traffic planning and management, including interchanges, flyovers, and roundabouts, can increase capacity by reducing congestion and improving traffic flow.

Studies of the carrying capacity of highways and bridge crossings were carried out by such scientists as: V.M. Sidenko, E.M. Lobanov, V.V. Silyanov, F. Hait, D. Drew, A. Makki, T. Nguyen, J. Ren, D. Al-Jumeily, W. Hurst, Birulya O.K., Khomyak Y.V., Gukov M.I., Tribunskyi V.M., Keroglu L.A., Kaluzhskyi Y.A., Vulis D.A., Palchyk A.M., Neizvestna N.V., Dodukh K.M. and many others.

In the study [1], the authors analyzed the theoretical and methodological approaches to determining

the carrying capacity of highways and bridges, and also established the dependence of the traffic intensity on the approaches to the bridge crossing on the longitudinal slope and the composition of the traffic flow.

In the study [2], an analysis of normative documents regulating the maximum permissible values of geometric and weight parameters of motor vehicles was carried out; the need to improve the regulatory and technical base in the direction of determining the actual loads on existing road bridges, taking into account possible defects of the surface of the covering, is substantiated.

The purpose of the study is to study the impact of traffic intensity and the composition of the traffic flow on the capacity of highways and bridge crossings.

The object of the study is traffic flows moving along highways and overpasses.

The subject of the study is the carrying capacity of highways and bridge crossings depending on the intensity of traffic and the composition of the traffic flow.

Methods of the research. Theoretical-analytical, mathematical and numerical modeling.

The study was carried out with the support of the National Research Fund of Ukraine within the framework of grant No. 2022.01/0142 "Development of a load model based on the actual parameters of heavy rolling stock to determine the load-carrying capacity of highway bridges during their restoration and operation in the war and post-war periods."

Presentation of the main material. To study the influence of the composition of the traffic flow and road conditions on the carrying capacity of a highway or bridge crossing, a series of computational experiments was conducted based on the methodology M 218 - 02070915 - 674: 2010 "Methodology for determining the level of traffic and carrying capacity of highways" [3].

The following assumptions were made for numerical modeling: the category of the section of the road is II; traffic intensity – 3500-4000 cars/day.

For the calculation, 11 test variants with different variations in the composition of the traffic flow were accepted (Table 1).

Table 1 – Input data for numerical simulation
Таблиця 1 – Вихідні дані для проведення числового моделювання

Test variants	The composition of the traffic flow by types of cars, %				
	Passenger cars	Trucks	Buses	Road trains	Amount
Variant 1	0	80	10	10	100
Variant 2	10	70	10	10	100
Variant 3	20	60	10	10	100
Variant 4	30	50	10	10	100
Variant 5	40	40	10	10	100
Variant 6	50	30	10	10	100
Variant 7	60	20	10	10	100
Variant 8	70	10	10	10	100
Variant 9	80	0	10	10	100
Variant 10	90	0	5	5	100
Variant 11	100	0	0	0	100

According to [3], the average speed of the traffic flow on the j-th section of the road is recommended to be determined as the minimum of the average speeds that depend on the following parameters: traffic intensity (V_N); the radius of the horizontal curve (V_R); values of the longitudinal slope (V_i); indicator of evenness of coverage (V_{eq}); speed limit values (V_{lim}); values of the average speed of free movement (V_{free}).

$$\overline{V}_j = \min\left(V_N, V_R, V_{eq}, V_{\lim}, V_{free}\right) \quad (1)$$

One of the most important parameters that determines the nature of the transport flow and, accordingly, the capacity of the road is the average speed, which depends on the composition of the transport flow and can be determined as an average statistical value according to the formula [3]:

$$V_{free} = V_{pass} \times \alpha + V_{tr} \times \beta + V_{bus} \times \gamma + V_{r.tr} \times \rho, \quad (2)$$

where $V_{pass}, V_{tr}, V_{bus}, V_{t.tr}$ – respectively, average speeds of free movement of cars, trucks, buses and road trains, km/h;

$\alpha, \beta, \gamma, \rho$ – shares of passenger cars, trucks, buses and road trains in the traffic flow, respectively.

Values of average speeds of different types of cars included in (2), as a rule, are determined on the basis of statistical generalization of experimental measurement data. It should be noted that the average speed of cars of different types is not a constant value, but can change over time, depending on the composition of the traffic flow and the technical characteristics of cars of one or another type present in it. For the numerical simulation, the data on the average speed of the cars, given in the methodology [3] and in the work [4] (Table 2), were accepted.

Table 2 – Average speeds of different types of cars
Таблиця 2 – Середні швидкості руху різних типів автомобілів

Road category	Number of traffic lanes	Average speed, km/h							
		Passenger cars		Trucks		Buses		Road trains	
		[3]	[4]	[3]	[4]	[3]	[4]	[3]	[4]
I а	6	85	91,13	65	75,7	73,4	77,5	70,4	81,03
I б	4	83,4	88,04	64,7	75,77	68,3	74,61	66,1	80
II	2	76,4	84,29	62,6	71,9	66,0	71,5	63,0	72,93
III	2	70,6	79,72	57,8	67,06	61,0	69,33	57,6	71,11
IV	2	70,4	75,83	57,1	64,08	61,0	67,03	57,2	68,75

The results of calculating the values of the average speeds of free movement depending on the composition of the traffic flow are shown in Table 3 and Fig. 1.

Table 3– Estimated values of average speeds of free movement
Таблиця 3 – Розрахункові значення середніх швидкостей вільного руху

Test variants	The share of passenger cars in the flow, %	The average free flow speed, km/h		Test variants	The share of passenger cars in the flow, %	The average free flow speed, km/h	
		according to the method [3]	according to experimental data [4]			according to the method [3]	according to experimental data [4]
Variant 1	0	62,98	71,963	Variant 7	60	71,26	79,397
Variant 2	10	64,36	73,202	Variant 8	70	72,64	80,636
Variant 3	20	65,74	74,441	Variant 9	80	74,02	81,875
Variant 4	30	67,12	75,68	Variant 10	90	75,21	83,0825
Variant 5	40	68,5	76,919	Variant 11	100	76,4	84,29
Variant 6	50	69,88	78,158				

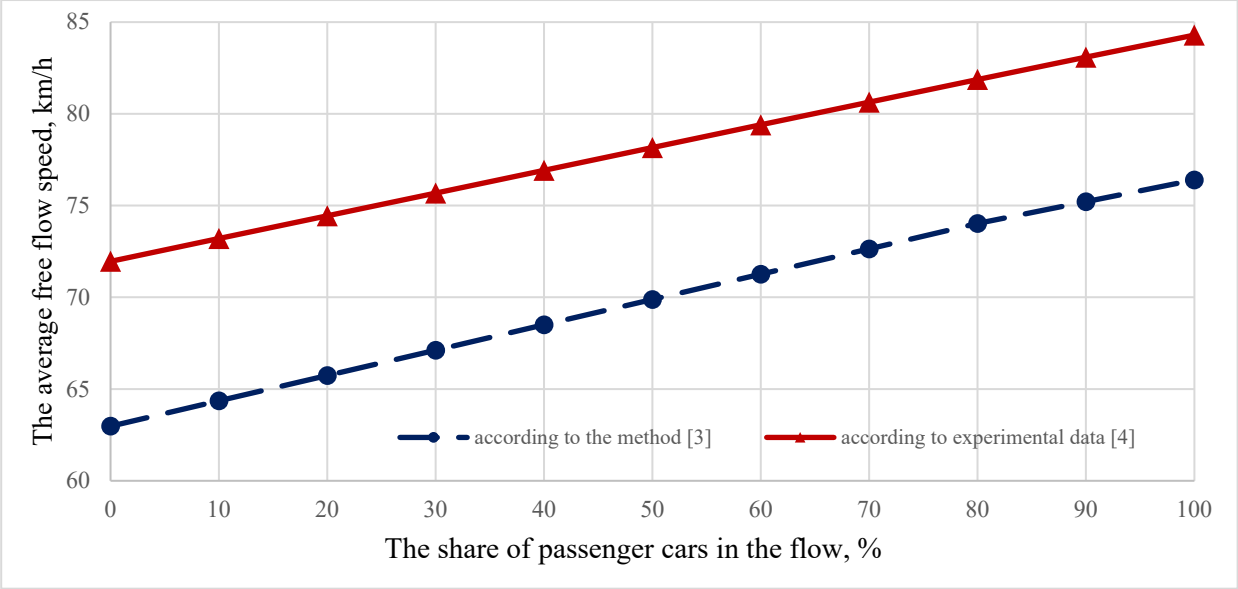


Figure 1 – Dependence of the average speeds of the free movement of the transport flow on the share of passenger cars in it

Рисунок 1 – Залежність середніх швидкостей вільного руху транпортного потоку від частки легкових автомобілів у ньому

The analysis of Table 3 and Figure 1 allows us to conclude that the average speed of the free movement of the traffic flow increases with the increase in the share of passenger cars in its composition, which is due to their higher dynamic characteristics.

According to the method [3], the average speed of the traffic flow depends on the radius of the horizontal curve of the road and is determined by the formulas:

$$V_R = \begin{cases} \dfrac{R^{0,25} \times V_0}{2}, R < 600 м; \\ V_{free}, \qquad R \geq 600 м \end{cases}, \tag{3}$$

where V_0 – speed corresponding to the maximum throughput, km/h.

To study the influence of the radii of horizontal curves on the average speed of the traffic flow, a numerical experiment was conducted with the variation of the radius R = 50 - 600 m with a step of 50 m. For the calculation, the composition of the traffic flow with a share of passenger cars of 30% was adopted. The results of the calculations are shown in Table 4 and Figure 2.

Table 4– Estimated values of average speeds of traffic flow at different radii of horizontal curves

Таблиця 4 – Розрахункові значення середніх швидкостей транспортного потоку при різних радіусах горизонтальних кривих

R	50	100	150	200	250	300	350	400	500	600
V_R	33,2	39,5	43,7	47,0	49,7	52,0	54,1	55,9	59,1	61,9

The analysis of Table 4 and Figure 2 allows us to conclude that the average speed of the traffic flow increases with an increase in the radius of the horizontal curve, which is due to the improvement of traffic safety conditions and, accordingly, the ability to move vehicles with higher average speeds.

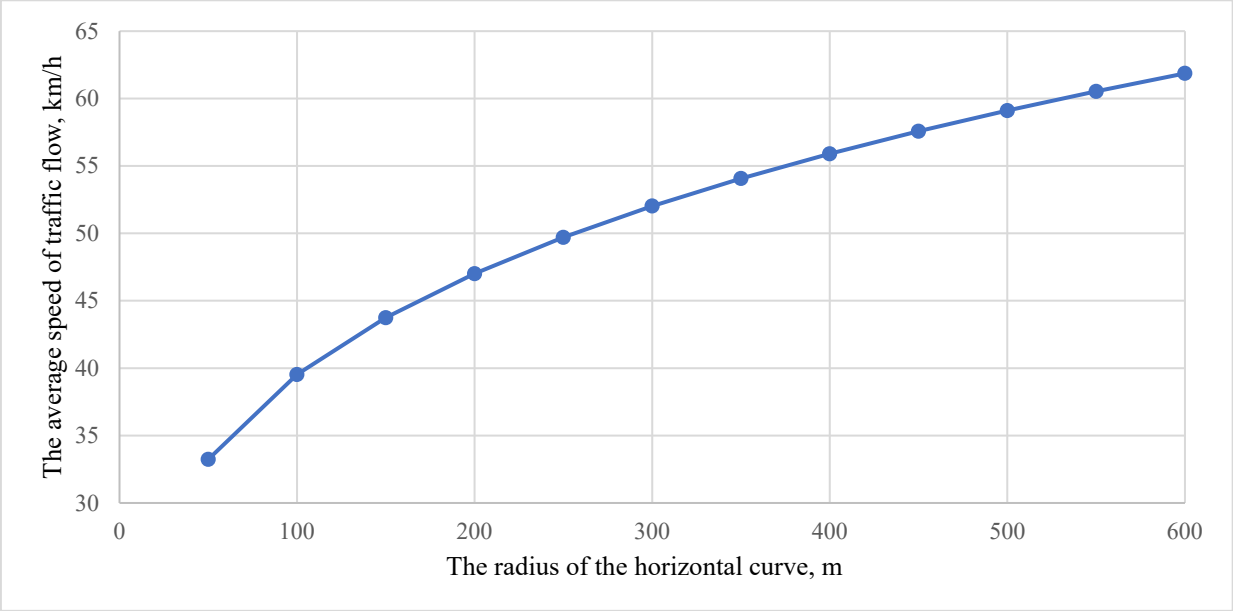


Figure 2 – Dependence of the average traffic flow speeds on the radii of horizontal curves
Рисунок 2 – Залежність середніх швидкостей транспортного потоку від радіусів горизонтальних кривих

The average speed of the traffic flow also depends on the longitudinal profile of the road and is determined by the formula [3]:

$$V_i = V_{free} \times \frac{0,02^{\frac{V_0}{V_{free}}}}{i^{\frac{V_0}{V_{free}}}}, \quad (4)$$

where i – longitudinal slope in fractions of a unit.

The average speed on sections of highways with slopes is equal to the average speed of free traffic [3]:

$$V_i = V_{free}, \quad (5)$$

To study the influence of the longitudinal slope of the highway on the average speed of the traffic flow, the calculation was carried out according to formula (3) with varying values of the longitudinal slope i from 0.008 to 0.06. For the calculation, the composition of the traffic flow with a share of passenger cars of 30% was adopted. The results of the calculations are shown in Table 5 and Figure 3.

Table 5– Estimated values of the average traffic flow speeds for different longitudinal slopes of the highway
Таблиця 5 – Розрахункові значення середніх швидкостей транспортного потоку за різних поздовжніх похилів автомобільної дороги

Longitudinal slope, *fractions of a unit*	0,008	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
Average speeds of the traffic flow according to the method [3], *km/h*	94,4	86,9	67,1	57,7	51,8	47,7	44,6
The average speeds of the traffic flow, determined on the basis of experimental data [4], *km/h*	102,4	95,2	75,7	66,2	60,2	55,9	52,6

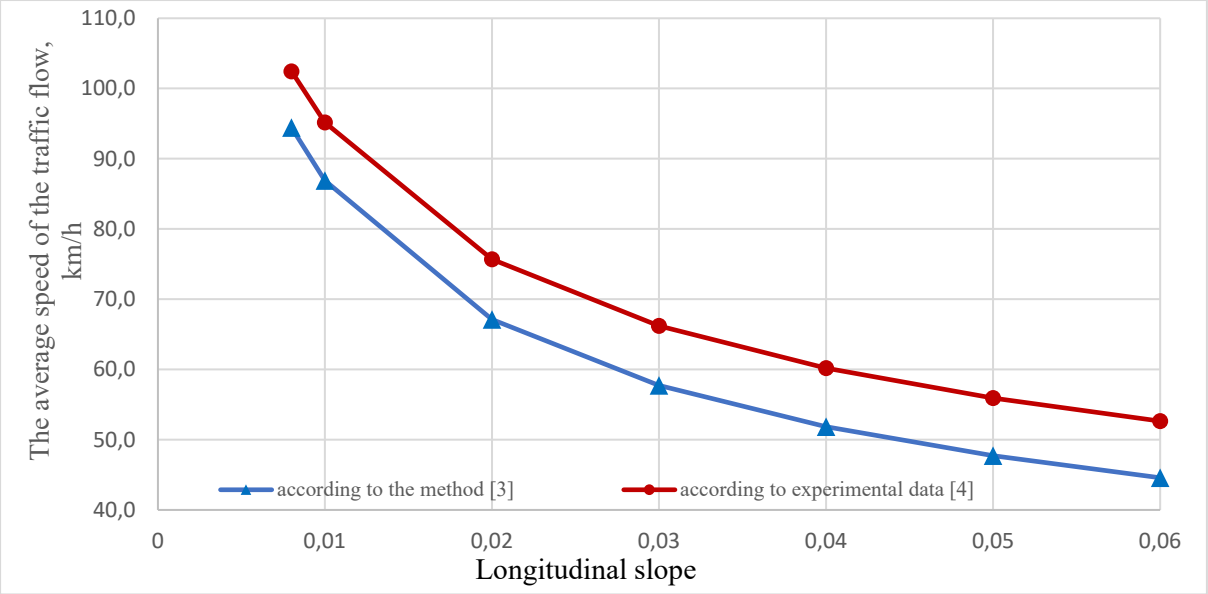


Figure 3 – Dependence of the average speed of the traffic flow on the longitudinal slope of the road
Рисунок 3– Залежність середніх швидкостей транспортного потоку від поздовжнього похилу дороги

The analysis of Table 5 and Figure 3 allows us to conclude that the average speed of the traffic flow is increasing with a decrease in the value of the longitudinal slope of the carriageway of the road, which is determined by the conditions of safety and the ability of vehicles to move.

The average speed depending on the evenness of the coating is determined by the formula [3]:

$$V_{eq} = V_{free} \times \frac{50^{V_0/V_{free}}}{P^{V_0/V_{free}}}, \tag{6}$$

where P – the indicator of the tachometer, cm/km.

In the car-road subsystem, the permissible speed of the traffic flow V_p can be determined from the condition of preventing excessive oscillations of the car when it moves on an uneven surface [1]:

$$V_p = \frac{850}{\sqrt{S}}, \tag{7}$$

where S – value characterizing the total amplitude of oscillations of a reference car on a road section 1 km long.

Depending on the marginal equality S_{me}, it is possible to determine V_p. According to the current regulations, the longitudinal evenness of the road surface is assessed by the indicators of equality in linear units per unit length of the road section [6, 7]:

$$K_{eq} = \frac{S_{me}}{S_f}, \tag{8}$$

where S_{me} – the maximum permissible evenness of the road surface, according to the profilometric method, cm/km or according to the index of the pushometer, cm/km; S_f – the actual unevenness of the road surface, which is estimated by the profilometric method, m/km or by the index of the pushometer, cm/km.

The maximum allowable evenness of the road surface is assigned depending on the level of requirements for the operational condition of highways, according to Table 3 [7].

To study the impact of the evenness of the road surface on the average speed of the traffic flow, the calculation was carried out according to formulas (6) – (8). For the calculation, the normative indicators of the coverage equality according to [6] were used. Also, the calculation was carried out for some values of equality indicators, which are not normalized. For the calculation, the composition of the transport flow with the share of passenger cars – 30% was taken. The results of the calculations are given in Table 6 and Figure 4.

Table 6– Calculated values of the average speeds of the traffic flow at different values of the evenness of the road surface

Таблиця 6 – Розрахункові значення середніх швидкостей транспортного потоку при різних значення рівності покриття автомобільної дороги

Indicator	Not normalized indicators of evenness			Standard indicators of the evenness of the road surface							
				The level of requirements for highways							
				1	2	3	4	А	Б	В	Г
Road surface evenness indicator, no more than *cm/km*	50	70	80	100	120	170	240	100	120	240	260
Average speeds of the traffic flow according to the method [3], *km/h*	67,1	59,2	56,3	51,8	48,4	42,5	37,4	51,8	48,4	37,4	36,3
Average speeds of traffic flow according to experimental data [4], *km/h*	75,7	67,7	64,8	60,2	56,7	50,5	45,1	60,2	56,7	45,1	43,9
The calculated value of the permissible speed in the car-road subsystem, *km/h*	120,2	101,6	95,0	85,0	77,6	65,2	54,9	85,0	77,6	54,9	52,7

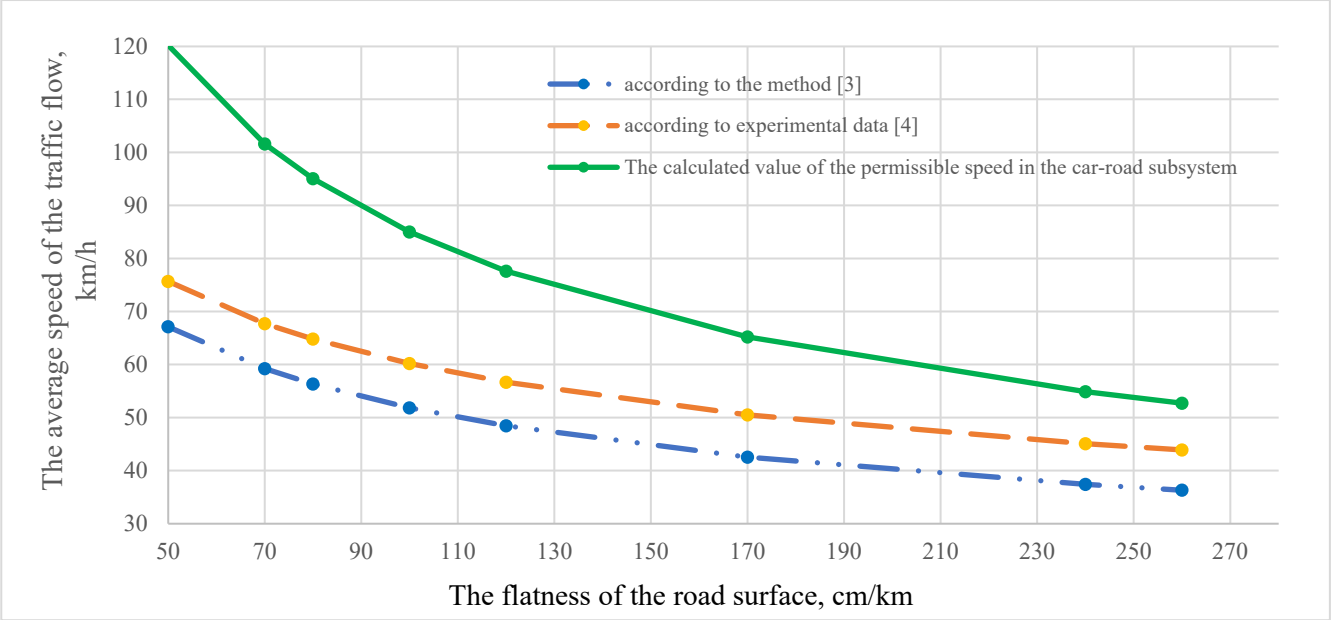


Figure 4 – Dependence of the average speeds of the traffic flow on the evenness of the road surface

Рисунок 4 – Залежність середніх швидкостей транспортного потоку від рівності покриття дороги

The analysis of Table 6 and Figure 4 allows us to conclude that the average speed of the traffic flow is increasing with the improvement of the level of coverage of the road, which is due to the improvement of traffic safety conditions and the ability to drive vehicles at higher speeds.

The average speed depending on the intensity of traffic is determined by the formula [3]:

$$V_N = (10,47 - \frac{N}{q_{\max}}), \quad (9)$$

where N – traffic intensity, cars/hour.;

q_{max} – the maximum density of the traffic flow, cars/km, which is determined by the formula [3] :

$$q_{\max} = \frac{1000}{1 + L_a}, \quad (10)$$

where L_a – the average length of the car in the traffic flow, m, determined by the formula [3]:

$$L_a = 4,2 \times \alpha + 7,0 \times \beta + 10,5 \times \gamma + 12,0 \times \rho, \quad (11)$$

where 4,2; 7,0; 10,5; 12,0 – according to the length of cars, trucks, buses, road trains (according to the methodology [3], as of 2010.

In the study [5], based on experimental studies of transport flows in Ukraine in 2020, the data on the lengths of different types of cars were clarified: cars - 3.6 m, trucks - 6.2 m, road trains - 14.4 m, and buses - 11, 9 m.

As part of the work, the maximum traffic density (in one lane) was determined according to formulas (9) - (11) depending on the composition of the traffic flow. For the calculation, data on the overall dimensions of various types of cars, given in the methodology M 218 – 02070915 – 674: 2010 [3] and specified data given in the work [5], were used. The results of the calculations are given in Table 7 and Figure 5.

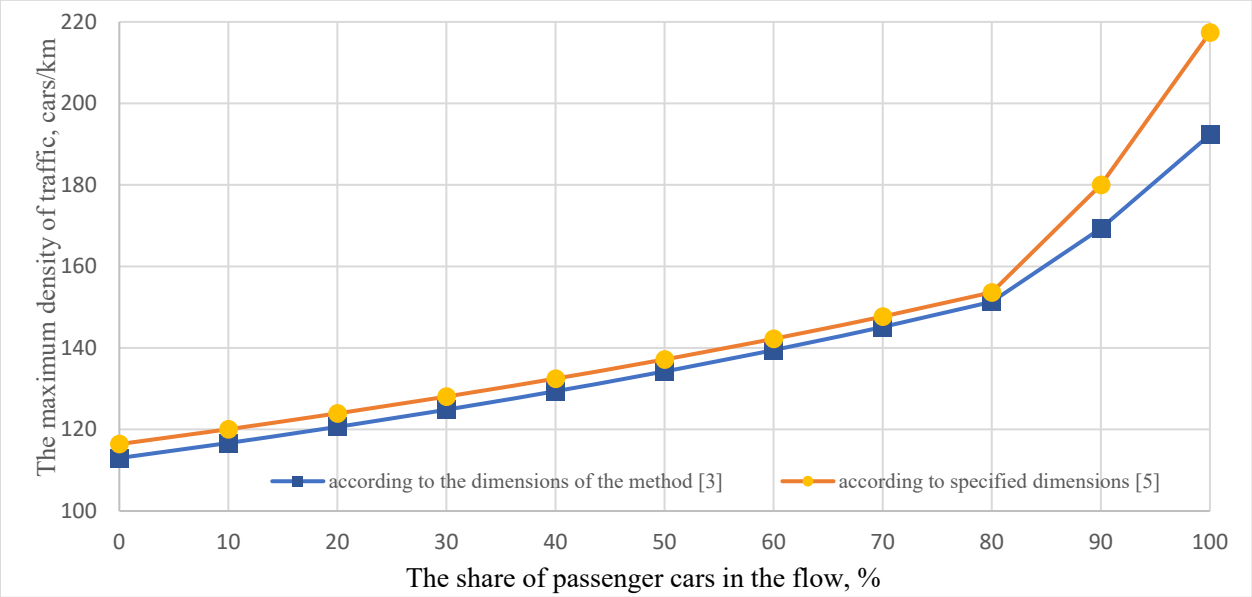


Figure 5 – Dependence of the maximum density of the traffic flow on its composition and weighted average size

Рисунок 5 – Залежність максимальної щільності транспортного потоку від його складу і середньозваженого габариту

Table 7 – Estimated values of the maximum density of the traffic flow depending on the composition of the transport flow

Таблиця 7 – Розрахункові значення максимальної щільності руху транспортного потоку залежно від складу транпортного потоку

Test variants	The composition of the traffic flow, %				2010 year, in accordance [3]		2020 year, in accordance [5]	
	Passenger cars	Trucks	Buses	Road trains	La	q_{max}	La	q_{max}
Variant 1	0	80	10	10	7,85	112,99	7,59	116,414
Variant 2	10	70	10	10	7,57	116,69	7,33	120,048
Variant 3	20	60	10	10	7,29	120,63	7,07	123,916
Variant 4	30	50	10	10	7,01	124,84	6,81	128,041
Variant 5	40	40	10	10	6,73	129,37	6,55	132,45
Variant 6	50	30	10	10	6,45	134,23	6,29	137,174
Variant 7	60	20	10	10	6,17	139,47	6,03	142,248
Variant 8	70	10	10	10	5,89	145,14	5,77	147,71
Variant 9	80	0	10	10	5,61	151,29	5,51	153,61
Variant 10	90	0	5	5	4,905	169,35	4,555	180,018
Variant 11	100	0	0	0	4,2	192,31	3,6	217,391
Accepted overall dimensions of cars of various types, m								
according to the data of 2010 [3]	4,2	7	10,5	12				
according to the data of 2020 [5]	3,6	6,2	11,9	14,4				

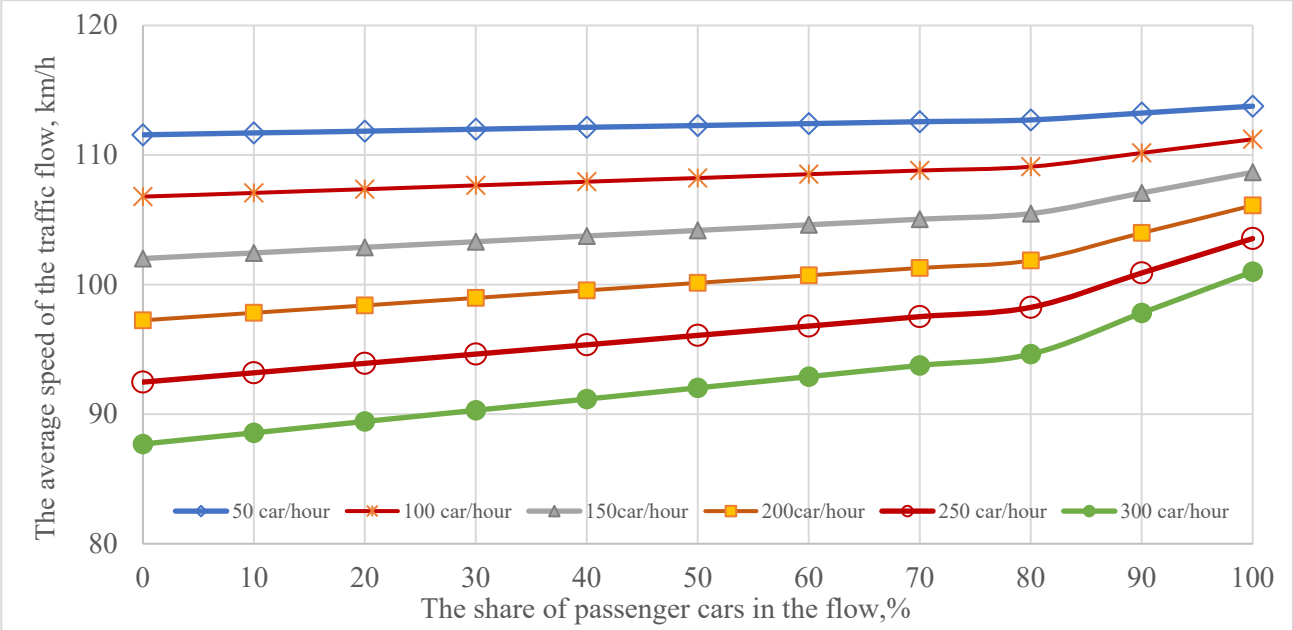


Figure 6 – The dependence of the average speed of the traffic flow on the intensity of traffic and the composition of the traffic flow

Рисунок 6 – Залежність середньої швидкості транспортного потоку від інтенсивності руху і складу транпортного потоку

Also, according to formula (9), the average speed of the traffic flow (in one lane) was determined depending

on the traffic density and composition of the traffic flow. For the calculation, data on the overall dimensions of various types of cars, given in [5], were used. The results of the calculations are shown in Figure 6.

The analysis of Table 6 and Figure 4 allows us to make a conclusion about the increase in traffic density with the increase in the share of cars in it, which is explained by their more "compact" dimensions compared to trucks, buses and road trains. Also, as the intensity of traffic flow increases, its average speed decreases.The average speed of the traffic flow and the capacity of the highway (one lane) depending on the average speed of the traffic flow are determined by the formula [3]:

$$P = \frac{1000 \times V}{\left(d_{\min} + L_a\right) \times e^{\frac{V}{V_0}}}, \tag{12}$$

where V – average speed of the traffic flow, km/h. (established by direct measurements or by calculations; $d_{\min}$ – minimum safe distance between cars in a traffic jam, m ($d_{\min} = 1м$);

L_a – average length of the car in the traffic flow, m; V_0 – the speed corresponding to the maximum throughput, km/h (most often accepted $V_0 = 25$ km/h.

For the calculation, data on the overall dimensions of various types of cars, given in [5], were used. The results of the calculations are shown in Table 8 and Figure 7.

The analysis of Table 8 and Figure 7 allows us to conclude that the practical carrying capacity of the road varies from the smallest to the largest. The smallest practical throughput corresponds to the column traffic of cars at the speed of free movement. The highest practical throughput corresponds to the traffic intensity at the minimum interval (optimal speed). Also, with an increase in the traffic flow of trucks and large-sized vehicles, the capacity of the road decreases.

Table 8– Estimated values of the road capacity depending on the average speed of the traffic flow, the intensity of traffic and the composition of the traffic flow

Таблиця 8 – Розрахункові значення пропускної здатності автомобільної дороги залежно від середньої швидкості транспортного потоку від інтенсивності руху і складу транпортного потоку

Test variants	A share of passenger cars, %	**Throughput capacity (one lane) at the average speed of the traffic flow, km/h**								
		5	**10**	**25**	**30**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**
Variant 1	0	476,6	780,3	1070,7	1051,9	787,7	633,7	495,5	379,6	286,3
Variant 2	10	491,4	804,7	1104,1	1084,7	812,3	653,4	511,0	391,5	295,2
Variant 3	20	507,3	830,6	1139,7	1119,7	838,5	674,5	527,5	404,1	304,7
Variant 4	30	524,2	858,3	1177,6	1157,0	866,4	696,9	545,0	417,5	314,9
Variant 5	40	542,2	887,8	1218,1	1196,8	896,3	720,9	563,8	431,9	325,7
Variant 6	50	561,5	919,5	1261,6	1239,5	928,2	746,6	583,9	447,3	337,3
Variant 7	60	582,3	953,5	1308,2	1285,3	962,6	774,3	605,5	463,9	349,8
Variant 8	70	604,7	990,1	1358,5	1334,7	999,5	804,0	628,8	481,7	363,2
Variant 9	80	628,8	1029,7	1412,7	1388,0	1039,4	836,1	653,9	500,9	377,7
Variant 10	90	736,9	1206,7	1655,6	1626,6	1218,1	979,9	766,3	587,0	442,7
Variant 11	100	889,9	1457,2	1999,3	1964,3	1471,0	1183,3	925,4	708,9	534,6

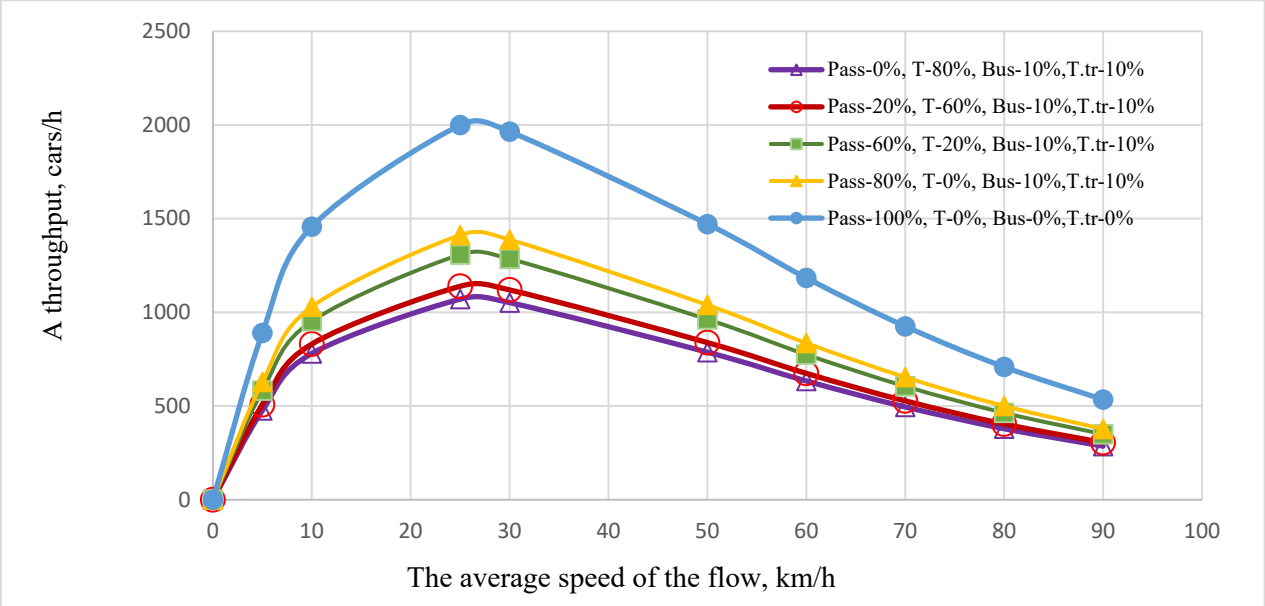


Figure 7 – Dependence of a road capacity on average speed and composition of a traffic flow
Рисунок 7 – Залежність пропускної здатності автомобільної дороги від середньої швидкості і складу транспортного потоку

Conclusions. The study of the capacity of highways and bridge crossings is an important tool for ensuring the safety, efficiency and sustainable development of the transport system as a whole. Also, the carrying capacity of a road is the most important indicator when designing its transverse profile and geometric elements. Based on the results of numerical modeling, it can be concluded that the main factor on which the maximum traffic intensity and, accordingly, the capacity of highways depends is the average speed of the traffic flow, which in its turn depends on the average speed of free traffic and its decrease depending on the composition of the traffic flow, the radius of horizontal curves and the longitudinal slope of the road.

References

1. Slavins′ka O.S., Bondarenko L.P., St′ozhka V.V., Sevost″yanova A.V., Shpyh A.YU. Doslidzhennya propusknoyi zdatnosti avtomobil′nykh dorih ta mostovykh perekhodiv. Visnyk Natsional′noho transportnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky». Naukovyy, naukovo-vyrobnychyy zhurnal. Kyyiv, 2023. Vyp. 3 (57). S. 110-121. – DOI: https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-3-57-110-121

2. Bubela A.V., Ivanushko O.M., Rutkovs′ka I.A., Usychenko O.YU.Porivnyal′nyy analiz normatyviv navantazhennya pry proyektuvanni ta ekspluatatsiynomu utrymanni sporud transportu. Naukovyy zhurnal «Avtomobil′ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo», 2023. Vypusk 114. Chastyna 1. S. 24-33. – https://doi.org/10.33744/0365-8171-2023-114.1-024-033

3. M 218 – 02070915 – 674: 2010 Metodyka vyznachennya rivnya zavantazhenosti ta propusknoyi zdatnosti avtomobil′nykh dorih. Kyyiv, 2010. 23s.

4. Dodukh K. M. Udoskonalennya metodu rozrakhunku propusknoyi zdatnosti avtomobil′nykh dorih. : dys. kand. tekhn. nauk : 05.22.01. Kyyiv, 2016. 249 s.

5. Voznyuk A.B. Udoskonalennya metodu prohnozuvannya avariyno-nebezpechnykh dilyanok na merezhi avtomobil′nykh dorih: dys. kand. tekhn. nauk : 05.22.01.Kyyiv, 2021. 226 s.ДСТУ 3587:2022 Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги. Вимоги до експлуатаційного стану

6. DSTU 8745:2017 Avtomobil′ni dorohy. Metody vymiryuvannya nerivnostey osnovy i pokryttya dorozhn′oho odyahu

7. DSTU 8745:2017 Avtomobil′ni dorohy. Metody vymiryuvannya nerivnostey osnovy i pokryttya dorozhn′oho odyahu

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ ТА СКЛАДУ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ НА ПРОПУСКНУ ЗДАТНІСТЬ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ТА МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ

Бондаренко Людмила Петрівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: BondarenkoLP@gmail.com, тел.+380442803942, https://orcid.org/0000-0002-8239-065X

Стьожка Віталій Володимирович, кандидат технічних наук, , Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: styozhka@ukr.net, тел. +380977933036, https://orcid.org/0000-0002-5039-9852

Севост'янова Аліна Валеріївна, доктор філософії, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного права та логістики, e-mail: sevostianova1607@gmail.com, тел.: (+38 044) 254-43-26, https://orcid.org/0000- 0002-7693-0648

Шпиг Альона Юріївна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: alena-87@ukr.net, тел. +380988123982, https://orcid.org/0000-0002-6909-7088

Усиченко Олена Юріївна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, fbbk@ukr.net, тел.+380442807338, +380442803942, https://orcid.org/0000-0002-7482-8420

Анотація. В роботі представлено результати дослідження впливу інтенсивності руху та складу транспортного потоку на пропускну здатність автомобільних доріг та мостових переходів на основі методів математичного та числового моделювання. Визначено основні фактори, що впливають на пропускну здатність автомобільних доріг та мостових переходів. За основну розрахункову базу для проведення числового моделювання прийнято методику визначення рівня завантаженості та пропускної здатності автомобільних доріг, затверджену Державною службою автомобільних доріг (нині – Агенством відновлення). Також для проведення розрахунків використано уточнені актуальні статистичні дані, наведені у відкритих літературних джерелах. Для проведення числового експерименту прийнято 11 тестових варіантів з різним складом транспортного потоку: від 0% до 100% частки легкових автомобілів у складі транспортного потоку. Визначено середню швидкість транспортного потоку залежно від геометричних параметрів автомобільної дороги – радіусів горизонтальних кривих в плані та поздовжнього похилу проїзної частини. Показано зростання середньої швидкості транспортного потоку зі збільшенням значення радіусу горизонтальної кривої та зі зменшенням значення поздовжнього похилу проїзної частини автомобільної дороги, що обумовлюється покращенням умов безпеки руху і можливостями руху транспортних засобів з більш високими швидкостями. Також результати числового моделювання показали зростання середньої швидкості транспортного потоку із покращенням показника рівності покриття автомобільної дороги (мостового переходу). Показано, що зростання частки легкових автомобілів у транспортному потоці приводить до зростання середньої швидкості руху всього транспортного потоку, що пояснюється їх більш «компактними» габаритами, порівняно із вантажівками, автобусами і автопотягами. Найменша практична пропускна здатність автомобільної дороги або мостового переходу відповідає колонному руху автомобілів при швидкості вільного руху. Найбільша практична пропускна здатність відповідає інтенсивності руху при мінімальному інтервалі (оптимальній швидкості). Також при збільшенні у складі транспортного потоку вантажних і великогабаритних автомобілів, пропускна здатність дороги зменшується. Це обумовлює актуальність досліджень у напрямку розробки моделей навантажень за фактичними параметрами великовагового рухомого складу при визначенні вантажно-пропускної здатності автомобільних доріг і мостових переходів.

Ключові слова: автомобільна дорога, мостовий перехід, пропускна здатність, математичне моделювання, чиловий експеримент.

Перелік посилань

1. Славінська О.С., Бондаренко Л.П., Стьожка В.В., Севост'янова А.В., Шпиг А.Ю. Дослідження пропускної здатності автомобільних доріг та мостових переходів. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. Київ, 2023. Вип. 3 (57). С. 110-121. – DOI: https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-3-57-110-121

2. Бубела А.В., Іванушко О.М., Рутковська І.А., Усиченко О.Ю.Порівняльний аналіз нормативів навантаження при проєктуванні та експлуатаційному утриманні споруд транспорту. Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво», 2023. Випуск 114. Частина 1. С. 24-33. – https://doi.org/10.33744/0365-8171-2023-114.1-024-033

3. М 218 – 02070915 – 674: 2010 Методика визначення рівня завантаженості та пропускної здатності автомобільних доріг. Київ, 2010. 23с.

4. Додух К. М. Удосконалення методу розрахунку пропускної здатності автомобільних доріг. : дис. канд. техн. наук : 05.22.01. Київ, 2016. 249 с.

5. . Вознюк А.Б. Удосконалення методу прогнозування аварійно-небезпечних ділянок на мережі автомобільних доріг: дис. канд. техн. наук : 05.22.01.Київ, 2021. 226 с.

6. ДСТУ 3587:2022 Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги. Вимоги до експлуатаційного стану

7. ДСТУ 8745:2017 Автомобільні дороги. Методи вимірювання нерівностей основи і покриття дорожнього одягу

УДК 624.21
UDC 624.21
DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-038-050

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ БУДІВЕЛЬНО-ІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ (BIM-ТЕХНОЛОГІЙ)

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF TRANSPORT STRUCTURES DESIGNING USING BUILDING INFORMATION MODELING TECHNOLOGIES (BIM TECHNOLOGIES)



Медведєв Костянтин Володимирович, *кандидат фізико-математичних наук, доцент, професор кафедри мостів, тунелі та гідротехнічних споруд Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: kvmedvediev@gmail.com*
https://orcid.org/0000-0002-0704-7093



Дударенко Олександр Вікторович*, магістр, директор ТОВ «Валбек», Київ, Україна,*
e-mail: alexandr.dudarenko@gmail.com
https://orcid.org/0009-0004-9726-2839



Гальченко Олексій Михайлович*, магістр, головний інженер проєктів ТОВ «Валбек», Київ, Україна,*
e-mail: galchenko1989@gmail.com
https://orcid.org/0009-0000-4002-1082



Новіков Михайло Михайлович, *спеціаліст, BIM-менеджер ТОВ «Валбек», Київ, Україна,*
e-mail: nov.mih.mih@gmail.com
https://orcid.org/0009-0008-6459-3745



Марченко Артем Михайлович, *спеціаліст, головний інженер проєктів ТОВ «Валбек», Київ, Україна,*
e-mail: amarchenko1992@gmail.com
https://orcid.org/0009-0005-2862-838X

Анотація. У статті розглянуто проєктування транспортних споруд з використанням BIM-технологій. В Україні, як і в усьому світі, мостові споруди потребують постійного моніторингу, ремонту та реконструкції. Застосування сучасних технологій, таких як BIM (Building Information Modeling), може значно підвищити ефективність та якість цих процесів.

Ця стаття досліджує можливість використання BIM-технологій у розробленні проєктної документації для будування, відновлення, капітального ремонтування та реконструювання мостів. У

статті розглянуто інструменти програмного забезпечення, надано інформацію про їхні функціональні можливості та доцільність застосування, а також наведено рекомендації щодо вибору програмного забезпечення для конкретних проєктів.

У статті проаналізовано успішний кейс впровадження BIM розроблення проєкту реконструкції мосту. Наведено проблеми та виклики, з якими стикаються українські фахівці, а також надано рекомендації щодо подолання цих проблем та більш ефективного використання BIM-технологій.

Маємо сподівання, що ця стаття сприятиме підвищенню обізнаності українських фахівців про переваги та можливості використання BIM-технологій у проєктуванні мостів, стане стимулом впровадження BIM в українських проектах, сприятиме розвитку BIM-компетенцій українських проєктувальників, а також допоможе інтегрувати українську галузь транспортного будівництва у світовий ринок, підвищуючи її конкурентоспроможність на світовому ринку.

Крім того, стаття надає детальний огляд нормативно-правових аспектів впровадження BIM в Україні, а також можливих напрямків вдосконалення законодавства для сприяння широкому застосуванню цих технологій.

Ця робота сприятиме не лише технічному прогресу, а й зміцненню позицій української інженерної спільноти на міжнародній арені.

Ключові слова: проєктування мостів, цифрова модель, інформаційне моделювання, BIM-технології, мостові конструкції, оформлення проєктної документації.

Вступ. Новітня будівельна індустрія стрімко еволюціонує, впроваджуючи нові технології та методи для оптимізації проєктування та будівництва. Одним з найактуальніших трендів наразі є BIM (Building Information Modeling) – інформаційне моделювання будівель. Цей інноваційний підхід виходить за межі традиційного 2D-креслення, створюючи комплексну 3D-модель, що інтегрує всі аспекти проєкту, від геометрії та характеристик матеріалів до детальної проєктної документації, кошторисних розрахунків та навіть віртуальних турів по готовому об'єкту.

Процес інформаційного моделювання охоплює всі етапи життєвого циклу об'єкта, від планування та технічного завдання до експлуатації, ремонту та навіть демонтажу. Протягом усього життєвого циклу об'єкта учасники будівельного процесу працюють в єдиному інформаційному просторі з бібліотеками елементів промислового, цивільного та навіть транспортного будівництва. Інформаційна модель є динамічною, і зміни до неї можуть вноситися на будь-якій стадії всіма учасниками процесу.

Виклад основного матеріалу. Попри те, що постановою Верховної Ради України [1] Законопроєкт щодо запровадження будівельного інформаційного моделювання (BIM-технології) було прийнято лише за основу та ще не імплементовано повною мірою, широке впровадження інформаційних інноваційних технологій у сфері транспортного будівництва та і будівництва в цілому є лише питанням часу. Про це свідчить, зокрема, прийняття протягом 2022-2024 років низки державних стандартів і навіть Законів України, де вже згадується та регулюється область інформаційного моделювання в будівництві.

Згідно з опитуванням, проведеним у 2021 році компанією Autodesk, 63% респондентів з України повідомили, що їхні компанії вже використовують BIM-технології в тій чи іншій формі при підготовці проєктної документації. Проте, можна з упевненістю констатувати, що частка організацій у сфері транспортного будівництва є значно меншою. Для порівняння, у США та Канаді кількість

фахівців, які вже мали позитивний досвід використання BIM-технологій у 2012 році становив 83%, а кількість тих що були готові використовувати ці технології в майбутньому – 93% [2].

Важливо зазначити, що використання BIM-технологій в Україні постійно зростає [3, 4]. Це пов'язано з багатьма факторами, такими як:

- зростання усвідомлення переваг BIM. Все більше компаній розуміють, що BIM може допомогти їм економити час, ресурси та покращити якість проєктів;
- підтримка з боку уряду. Уряд України вживає заходів для стимулювання використання BIM в будівельній галузі;
- зростання доступності BIM-інструментів. На ринку стає все більше доступних BIM-інструментів, що робить BIM більш доступним для компаній різного розміру.

Європейський Союз активно підтримує впровадження BIM-технологій у будівельній галузі. У 2014 році Європейська комісія опублікувала "План дій щодо BIM", який ставить за мету зробити BIM стандартною практикою в ЄС до 2025 року [5, 6]. BIM-технології на цей час набувають значного впровадження на державному рівні у більшості розвинених країн світу прощо свідчить мапа наведена на рисунку 1.

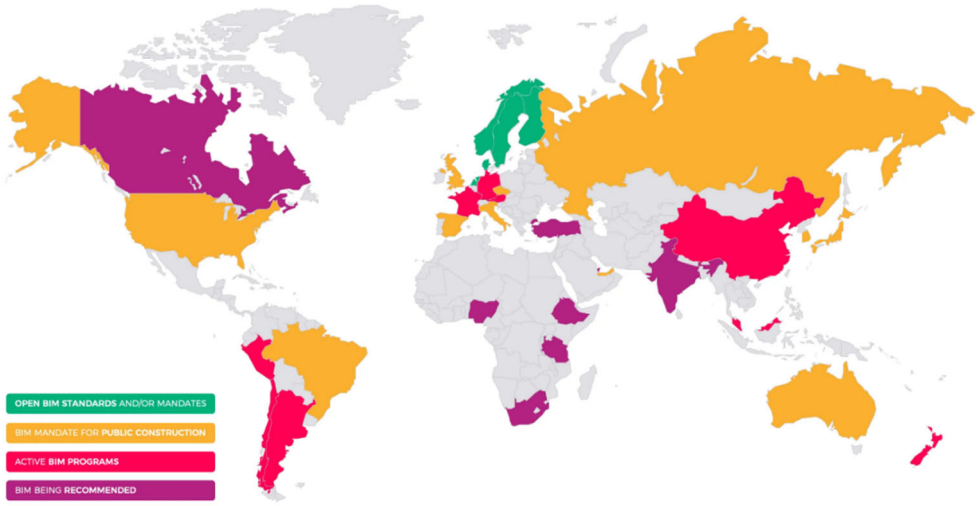


Рисунок 1 – Мапа стану впровадження BIM-технологій на державному рівні у світі.
Figure 1 – Map of the implementation of BIM-technologies at the state level in the world.

В Україні також зростає усвідомлення переваг BIM. У 2021 році було схвалено Концепцію впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні та затверджено план заходів з її реалізації, яким чітко прописано порядок дій та план реалізації цієї Концепції. Це свідчить про прагнення України до впровадження європейських стандартів та кращих будівельних практик.

Таким чином, хоча й немає чітких даних про те, скільки компаній в транспортному чи іншому секторі будівництва в Україні використовують BIM-технології, можна з впевненістю сказати, що їх використання постійно зростає**.**

Переваги BIM-технологій. Стандарт ISO 19650 дає наступне визначення «Інформаційне моделювання будівель/споруд (BIM, Building Information Model або Building Information Modeling) – це процес створення та управління інформацією про будівлю, що використовується для підтримки прийняття рішень на всіх етапах життєвого циклу проєкту, від початкової концепції до зносу. На основі

цифрової моделі організовується робота всіх учасників будівельного та експлуатаційного процесу (замовник, проєктувальник, підрядник, експлуатаційна організація та ін.).

В основі BIM-технологій лежать тривимірні моделі проєктованих об'єктів. Наявність єдиної цифрової моделі об'єкта може стати базою для подальшої цифровізації. За даними розробників та стейкхолдерів [7, 8, 9], BIM-технології мають ряд переваг, які роблять їх цінним інструментом для учасників будівельного процесу на всіх етапах життєвого циклу об'єкта. BIM також надає ряд інших переваг:

- *зниження витрат.* Автоматизація рутинних завдань, раннє виявлення та усунення помилок, краща координація та планування – все це веде до суттєвого скорочення загальних витрат на проєкт. Дослідження обґрунтовують цю тезу: згідно з даними McKinsey Global Institute, BIM може економити до 20% загальних витрат на будівництво;

- *покращення якості.* BIM дає можливість візуалізувати проєкт у деталях, що дозволяє виявити та виправити помилки, неточності та неузгодженості на ранніх стадіях. Це гарантує вищу якість проєктної документації та, відповідно, кращий результат будівництва.

- *підвищення гнучкості*. BIM дозволяє легко вносити зміни до проєкту, що дає можливість адаптуватися до нових вимог або умов. Це робить проєкти більш гнучкими та стійкими до змін;

- *ефективна співпраця*. BIM створює єдине середовище для обміну інформацією між усіма учасниками проєкту, що покращує співпрацю та комунікацію, а також мінімізує ризик непорозумінь. Дослідження Stanford University показало, що BIM може на 35% покращити координацію та співпрацю на будівельному майданчику;

- *підвищення екологічної стійкості*. BIM дозволяє моделювати енергоефективність та екологічність проєкту, що може допомогти зменшити його вплив на навколишнє середовище. За оцінками міжнародної вченої спільноти, BIM може на 10-30% знизити викиди парникових газів від будівництва.

Вищенаведені переваги наведено в роботах[10, 11, 12] та проілюстровано на рисунках 2 та 3.

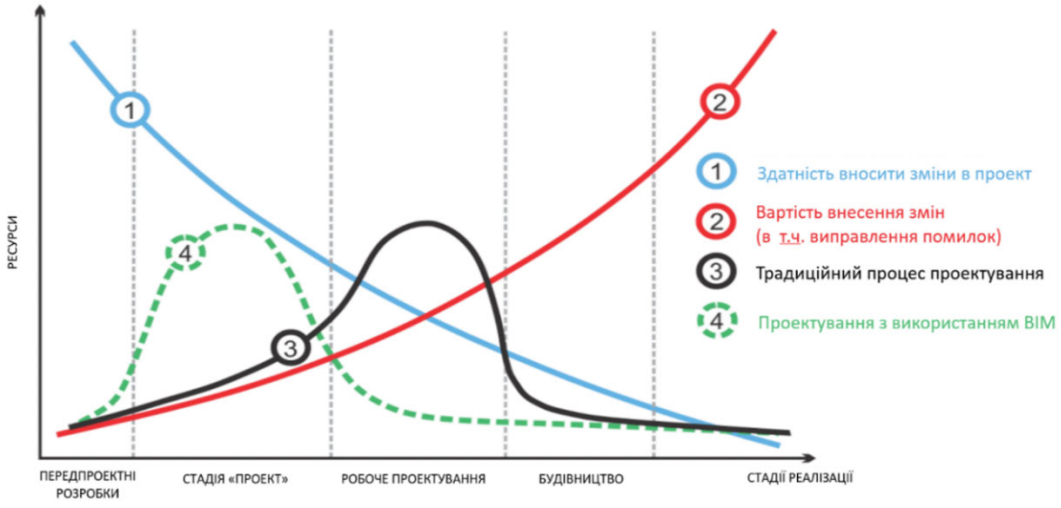


Рисунок 2 – Графік залежності витрат ресурсів від часу при класичному підході до проєктування та проєктування з використанням BIM-технологій.

Figure 2 – Graph of the dependence of resource costs on time with the classical approach to design and design using BIM technologies.

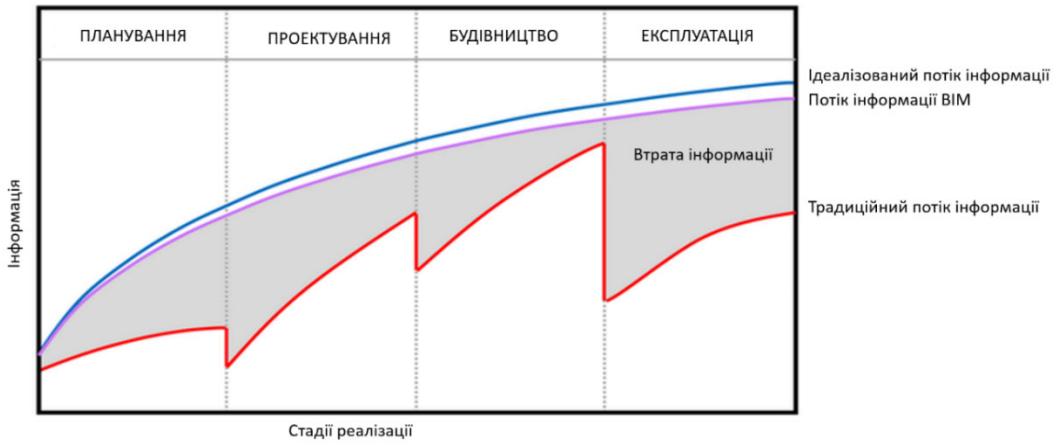


Рисунок 3 – Графік втрат інформації під час реалізації об'єкту при класичному підході до проєктування та проєктування з використанням BIM-технологій.

Figure 3 – Graph of information loss during the implementation of the object with the classical approach to design and design using BIM technologies.

BIM – це не просто візуальне представлення проєкту. Це динамічне середовище, що постійно оновлюється, де всі учасники будівельного процесу мають доступ до єдиного джерела інформації. Це дозволяє їм ефективно координувати роботу, мінімізувати ризик помилок та приймати обґрунтовані рішення на кожному етапі проєкту.

Досвід використання BIM-моделювання в процесі проєктування мосту. З метою забезпечення функціонування транспортного сполучення у прифронтових регіонах авторами було виконано проєктні роботи з капітального ремонтування та реконструювання мостів на автомобільних дорогах України із застосуванням BIM-моделювання. Виконання проєктних робіт класичними методами потребують удосконалення та оптимізації для покращення якості та продуктивності проєктних робіт. Спираючись на досвід світових та загальноєвропейських практик, автори прагнули до вдосконалення та покращення процесу проєктування об'єктів інфраструктури. З цією метою було проведено експерементальне проєктування - дослідження з використанням BIM-технологій.

Метою цього дослідження було визначення можливості використання BIM-технологій, знань українських фахівців та наявність людських ресурсів на українському ринку праці для можливості проєктування мостів за допомогою BIM.

Обране програмне забезпечення за допомогою, якого виконувалось безпосередньо моделювання та проєктування це ліцензійні продукти компанії Autodesk, а саме Revit, AutoCAD, Construction Cloud. В даному дослідженні не розглядались кошторисна та текстова частини проєкту.

Для аналізу було обрано проєкт відновлення зруйнованого мосту в Херсонській області завдовжки 109,0 м. На цій ділянці, параметри дороги в цілому відповідають нормам IV технічної категорії, за винятком місця зруйнованого мосту внаслідок проведення бойових дій військової агресії російської федерації проти України (рисунок 4).

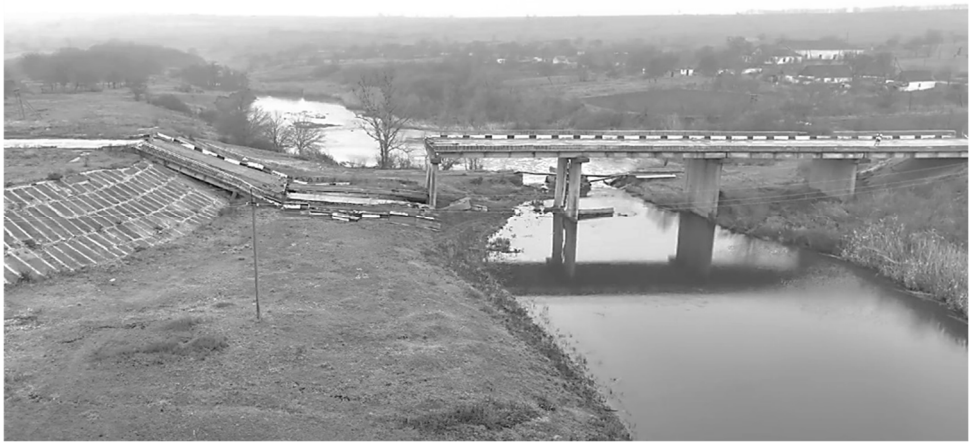


Рисунок 4 – Загальний виглад зруйнованого мосту в Херсонській області.
Figure 4 – General view of destroyed bridge in Kherson region.

Виконання проєктної документації охоплювало такі стадії роботи:
- моделювання існуючої поверхні землі;
- моделювання конструкцій мосту;
- моделювання армування конструкцій;
- оформлення креслень;
- випуск проєктної документації.

Моделювання існуючої поверхні. Цифровізація існуючої поверхні землі виконувалось на основі хмари просторових точок засобами Autodesk Revit. Хмара просторових точок, що лежить в основі моделі, була отримана шляхом наземної геодезичної зйомки. Це забезпечило високу точність даних про рельєф місцевості. Координатний файл .dwg, що містив точки, був імпортований в Autodesk Revit. Перед імпортом дані були очищені від дублюючих точок, та помилок, а також перевірені атрибути, такі як тип точки та точність вимірювання. Для генерування об'ємної поверхні використовувався метод тріангуляції Делоне. Цей алгоритм дозволив створити 3D-модель з високим рівнем деталізації (LOD 0.1 м), що враховувала особливості рельєфу, такі як укоси, виїмки та водостоки (рисунок 5).

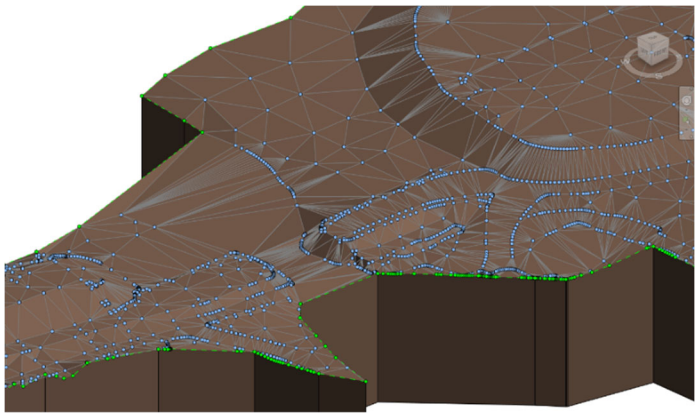


Рисунок 5 – Модель існуючої поверхні землі в зоні проєктування мосту.
Figure 5 – Model of the existing land surface in the bridge design area.

3D-модель поверхні була візуалізована в Revit за допомогою різних методів, включаючи 3D-модель, ізолінії та кольорову карту висот. Це дозволило наочно представити рельєф місцевості та виявити характерні зони. Для валідації моделі поверхні було проведено зворотне накладання моделі на топографічну зйомку та вибірковий контроль координат та положень об'єктів. Це підтвердило точність та правдивість моделі поверхні.

Використання Autodesk Revit для моделювання топографічної поверхні виявило ряд переваг:

- точність. Revit використовує алгоритми, що гарантують точне моделювання рельєфу місцевості, а отже дозволяють чітко визначити баланс земляних мас для будівництва;
- гнучкість. Модель можна легко модифікувати та доповнювати відповідно до потреб проєкту;
- наочність. 3D-візуалізація дає чітке уявлення про рельєф місцевості з відображенням характерних місць та змін рельєфу.

Моделювання конструкцій мосту. Моделювання конструкцій температурно-нерозрізного мосту виконувалось в програмі Autodesk Revit. Спочатку було адаптовано вісь автомобільної дороги. На основі цієї вісі було створено модель прогонової будови та основи мостового полотна. Наступним кроком стало моделювання опор мосту, які є основними несними елементами мосту враховуючи їх геометрію та матеріали. Для забезпечення плавного сполучення мосту з підходами були змодельовані відповідні сполучні елементи, включаючи деформаційні шви та перехідні плити. Завершальним етапом стало моделювання всіх елементів мостового полотна, таких як перильне та бар'єрне огородження, деформаційні шви, дорожнє покриття та інші.

Для використання точних та інформативних вузлів типових елементів мосту використовувалися моделі з двох джерел. Бібліотека проєктних рішень компанії: ця бібліотека містить параметричні моделі, розроблені та використовувані в попередніх проєктах, що забезпечує відповідність стандартам та нормам компанії. Бібліотеки стандартних рішень виробників продукції – з цих бібліотек були взяті типові елементи, розроблені та надані виробниками будівельних матеріалів, що гарантувало їхню відповідність реальним характеристикам.

Візуальне представлення цифрових моделей елементів мосту наведено на рисунку 6.

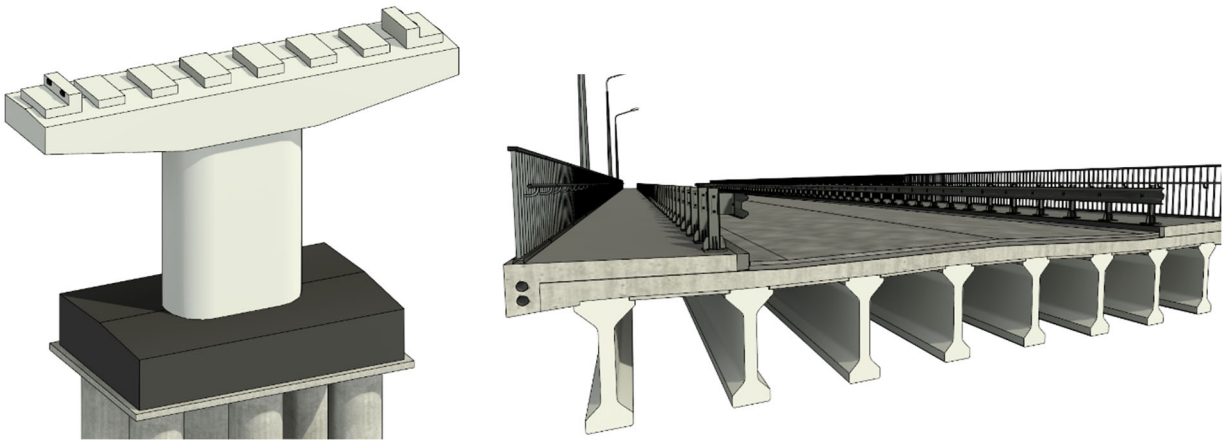


Рисунок 6 – Візуальне представлення цифрових моделей елементів мосту.
Figure 6 – Visual presentation of bridge elements digital models.

Кожному елементу мосту було присвоєно ряд необхідних параметрів, таких як категорія елемента, матеріал, метод підрахунку, метод відображення та інші. Ці параметри використовувалися не лише для автоматизації оформлення креслень та специфікацій, але й для розрахунку обсягів робіт. Під час розрахунку обсягів робіт використовувалися як стандартні методи, вбудовані в Revit, так і власні формули підрахунку на основі параметрів елементів. Це дозволило отримати точні та надійні дані, необхідні для планування та бюджетування будівництва мосту.

Моделювання армування конструкцій. Армування залізобетонних конструкцій є невід'ємною частиною проєктування та будівництва мостів, адже саме воно забезпечує міцність та стійкість всієї споруди. Точний розрахунок та розміщення арматурних елементів – це ключові фактори, які впливають на якість та економічність проєкту. Autodesk Revit має можливості для створення інструментів моделювання та специфікації арматурних елементів (рисунок 7).

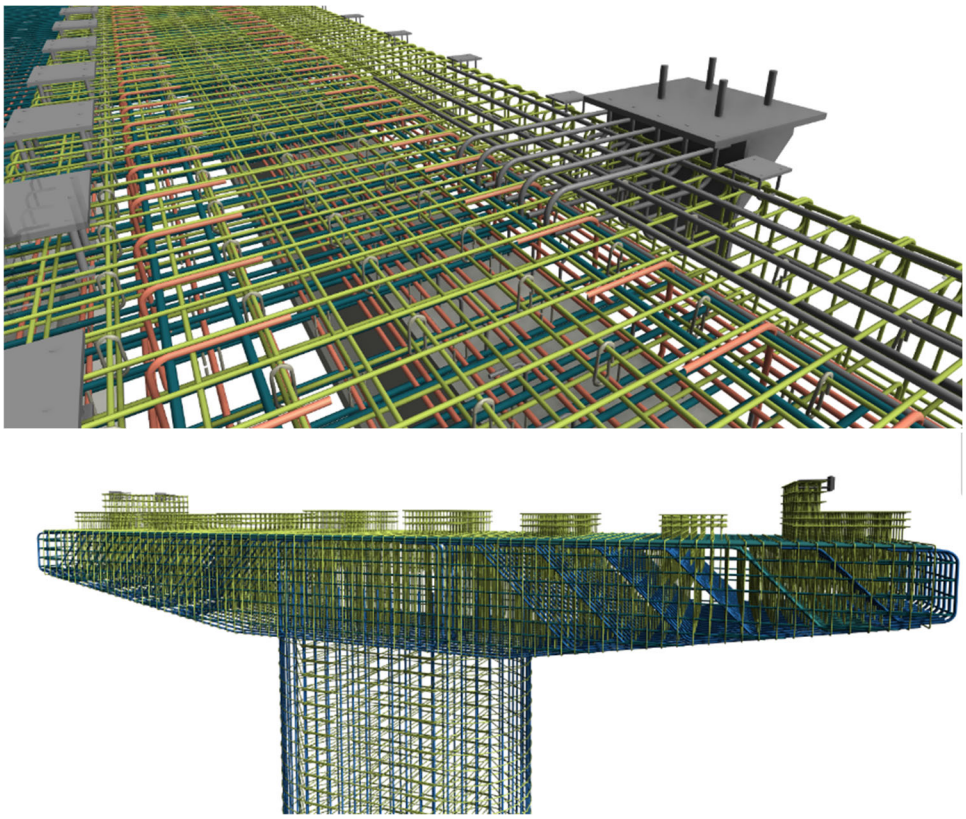


Рисунок 7 – Візуальне представлення армування конструкцій мосту.
Figure 7 – Visual presentation of bridge elements reinforcement.

Процес армування температурно-нерозрізного мосту містив кілька етапів. Для армування всіх елементів мосту використовувалися просторові каркаси, які були змодельовані за допомогою інструментів Revit. Цей метод забезпечив точність та наочність армування. Для типових елементів мосту, таких як відкрилки та стійки опор, були створені шаблони арматурних елементів. Це дозволило економити час та мінімізувати ризик помилок, адже повторювані елементи армувалися за однаковим принципом. Revit автоматично, на основі попередньо заданих алгоритмів, генерував специфікацію

арматури, яка містила всю інформацію про кількість, діаметр та клас арматурних стержнів. Це дало чітке уявлення про загальний обсяг арматури, необхідної для реалізації проєкту.

У цьому проєкті армування було виконано на основі інструментів Revit. Це дозволило створити точні та інформативні моделі арматурних вузлів та окремих стержнів, які спростили процес прийняття проєктних рішень та пришвидшили складання специфікацій.

Оформлення креслень. Для оформлення проєктної документації температурно-нерозрізного мосту було використано попередньо створений шаблон. Шаблон був попередньо налаштований відповідно до стандартів оформлення конструкторської документації, що гарантувало відповідність креслень всім вимогам щодо стилю ліній, шрифтів та тексту, позначень, відміток та специфікацій.

Оформлення елементів та вузлів конструкції мосту і в Autodesk Revit наведено на рисунку 8.

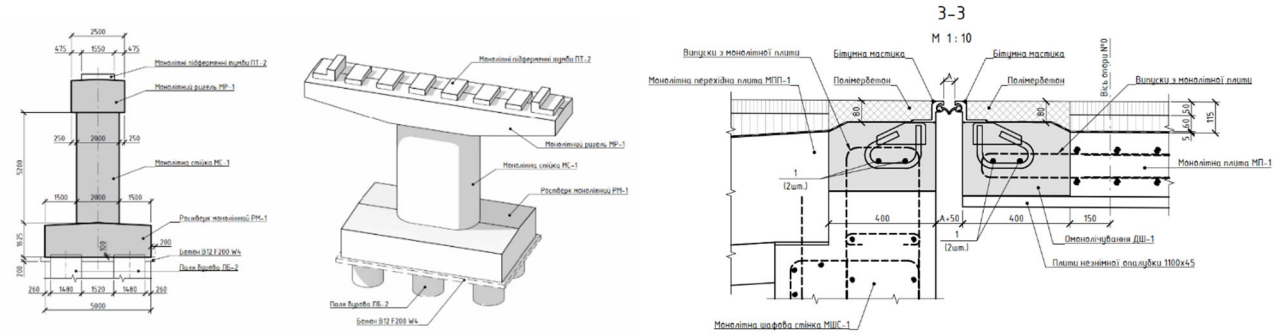


Рисунок 8 – Елементи та вузли конструкції мосту оформлені в Autodesk Revit.
Figure 8 – Bridge structure elements and details drawn up in Autodesk Revit.

Також використання інформаційної моделі наповненої необхідними параметрами та автоматизація оформлення креслень в Revit дало ряд суттєвих переваг при створенні робочої документації. Всі креслення проєкту мосту мали однаковий стиль оформлення, що зробило їх візуально привабливими, чіткими та зручними для сприйняття. Використання шаблону асоціативних видів моделі дозволило проєктувальникам не витрачати час на рутинні налаштування елементів оформлення та викреслювання одних і тих самих елементів для кожного креслення окремо.

Випуск проєктної документації. Для випуску проєктної документації відновлення мосту було використано сервіс Construction Cloud від Autodesk (ACC). Централізоване зберігання даних в ACC дало можливість, до 20 учасникам проєкту з різними рівнями доступу та компетенціями, працювати з однією й тією ж версією актуальної та повної моделі. Це дозволило зекономити час, адже учасникам не довелось витрачати його на пошук та обмін паперовими документами.

Версійний контроль ACC автоматично зберігав історію змін проєктної документації, щоб відстежувати всі внесені правки та повертатися до попередніх версій моделі та креслень, якщо це необхідно. Це гарантувало, що всі учасники проєкту працюють з найактуальнішою інформацією, що значно знижує ризик помилок та непорозумінь.

Інтерфейс робочого простору програмного забезпечення Autodesk Construction Cloud наведено на рисунку 9.

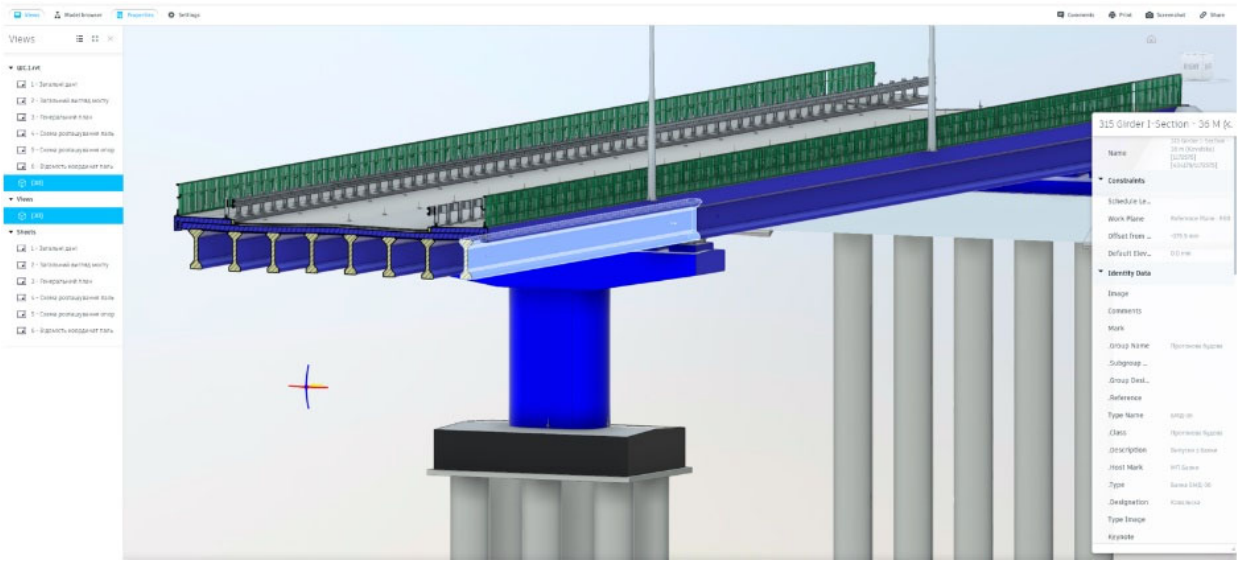


Рисунок 9 – Інтерфейс робочого простору програмного забезпечення Autodesk Construction Cloud.

Figure 9 – Workspace interface of software Autodesk Construction Cloud.

Висновки. Досвід роботи над проєктом відновлення мосту з використанням BIM-технологій у першу чергу показав, що станом на сьогодні можливо виконувати якісно проєктну документацію з використанням технологій інформаційного моделювання та з урахуванням національних нормативних документів з розроблення проєктної документації. Слід відмітити, що проведене дослідження в сфері транспортного проєктування, показало нові можливості для оптимізації процесу проєктування, підвищення його ефективності та якості.

Дослідження виявило такі переваги використання BIM-технологій:

- *централізоване сховище та синхронізація даних* - вся інформація про проєкт доступна всім учасникам в режимі реального часу, що гарантує чітку координацію дій та узгодженість рішень. BIM-модель є платформою для спільної роботи та обміну інформацією між всіма учасниками проєкту;

- *точність проєктної документації* - BIM-модель дає можливість генерувати креслення та специфікації на основі єдиного джерела даних - моделі, що мінімізує ризик помилок;

- *виявлення та усунення помилок на ранніх стадіях* - BIM-модель дозволяє виявляти та усувати колізії та помилки на ранніх стадіях проєктування, що значно економить час та ресурси на їх виправлення на пізніх стадіях реалізації проєкту;

- *підвищення якості проєктування та будівництва* - завдяки BIM-технологіям можна створювати більш зрозумілі та детальні проєкти, що гарантує кращу якість будівництва.

Технології будівельно-інформаційного моделювання стають незамінним інструментом для проєктування складних інфраструктурних об'єктів, таких як мости. Їхнє використання гарантує чіткий зв'язок між проєктною документацією, 3*D*-моделлю та реальним об'єктом, що значно економить час та покращує ефективність проєктування та будівництва.

Перелік посилань

1. Постанова Верховної Ради України від 08.07.2022 № 2364-IX – «Про прийняття за основу проекту Закону України про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо запровадження будівельного інформаційного моделювання (BIM-технології) на всіх етапах життєвого циклу об'єктів та науково-технічного супроводу об'єктів, удосконалення процедури обстеження об'єктів, прийнятих в експлуатацію в установленому законодавством порядку», 2022.

2. Neelamkavil, J.; Ahamed, S. S. The Return on Investment from BIM-driven Projects in Construction.: National Research Council of Canada. Institute for Research in Construction, 2012.

3. Концепція впровадження BIM – Будівельного Інформаційного моделювання в Україні / Під ред. О. Чеверда.: проєкт ЄС "Допомога органам влади України в удосконаленні менеджменту циклом інфраструктурного проєкту", 2019.

4. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17.02.2021 №152-р – Про схвалення Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні та затвердження плану заходів з її реалізації.

5. Calculating Costs and Benefits for the use of Building Information Modelling in Public Tenders / European Innovation Council and SMEs Executive Agency (EISMEA), 2021.

6. Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector / EU BIM Task Group, 2018.

7. Семерей В.В., Задорожнікова І. В., к.т.н., доц. BIM-технології в проектуванні.: "Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві", випуск 7, 2017.

8. Yulin Luo. BIM for Bridge Design.: IABSE Guangzhou, 2016.

9. Markus Nöldgen. BIM in Bridge and Infrastructure Design.: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2022.

10. Matti-Esko Järvenpää. Use of BIM in design and construction of Chenab bridge in India.: PROF-ENG, s. r. o. (Ltd.) Id. Number: CZ02577933, 2023.

11. Matti-Esko Järvenpää. BIM automation in segmental bridges using parametric modelling application cases in Perú.: PROF-ENG, s. r. o. (Ltd.) Id. Number: CZ02577933, 2023.

12. Federal Highway Administration1200 New Jersey Ave., SE Washington, DC 20590 - https://www.fhwa.dot.gov/bridge/bim/

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF TRANSPORT STRUCTURES DESIGNING USING BUILDING INFORMATION MODELING TECHNOLOGIES (BIM TECHNOLOGIES)

Kostiantyn Medvediev, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, National Transport University, Department of Bridges, tunnels and hydraulic structures, Professor, e-mail: kvmedvediev@gmail.com, +380442807978, https://orcid.org/0000-0002-0704-7093.

Oleksandr Dudarenko, Master's dergree, Director of LLC Valbek, Kyiv, Ukraine, e-mail: alexandr.dudarenko@gmail.com, +380931881553, https://orcid.org/0009-0004-9726-2839.

Oleksii Galchenko, Master's dergree, Chief project engineer of LLC Valbek, Kyiv, Ukraine, e-mail: galchenko1989@gmail.com, +380634060617, https://orcid.org/0009-0000-4002-1082.

Mykhailo Novikov, Bachelor's dergree, BIM-manager of LLC Valbek, Kyiv, Ukraine, e-mail: nov.mih.mih@gmail.com, +380937564012, https://orcid.org/0009-0008-6459-3745.

Artem Marchenko, Bachelor's dergree, Chief project engineer of LLC Valbek, Kyiv, Ukraine, e-mail: amarchenko1992@gmail.com, +380634399121, https://orcid.org/0009-0005-2862-838X.

Summary. The experience of working on the bridge rehabilitation project using BIM technologies has primarily shown that today it is possible to perform high-quality design documentation using information modeling technologies and taking into account national regulations for the development of design documentation. It should be noted that the research in the field of transport design has shown new opportunities for optimizing the design process, improving its efficiency and quality.

The study revealed the following benefits of using BIM technologies:

- centralised data storage and synchronisation - all project information is available to all participants in real time, which guarantees clear coordination and consistency of decisions. The BIM model is a platform for collaboration and information exchange between all project participants;

- accuracy of project documentation - the BIM model makes it possible to generate drawings and specifications based on a single data source - the model, which minimises the risk of errors;

- detection and elimination of errors at early stages - the BIM model allows you to identify and eliminate conflicts and errors at the early stages of design, which significantly saves time and resources for their correction at later stages of project implementation;

- improving the quality of design and construction - BIM technologies can create more understandable and detailed designs, which guarantees better construction quality.

Building information modelling technologies are becoming an indispensable tool for designing complex infrastructure facilities such as bridges. Their use guarantees a clear link between the design documentation, the 3D model, and the real object, which significantly saves time and improves design and construction efficiency.

Keywords: bridge design, digital model, information modelling, BIM technologies, bridge structures, design documentation.

References

1. Resolution of the Verkhovna Rada of Ukraine dated 08/07/2022 №2364-IX – «Про прийняття за основу проекту Закону України про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо запровадження будівельного інформаційного моделювання (BIM-технології) на всіх етапах життєвого циклу об'єктів та науково-технічного супроводу об'єктів, удосконалення процедури обстеження об'єктів, прийнятих в експлуатацію в установленому законодавством порядку», 2022.

2. Neelamkavil, J.; Ahamed, S. S. The Return on Investment from BIM-driven Projects in Construction.: National Research Council of Canada. Institute for Research in Construction, 2012.

3. Concept of implementation of BIM - Building Information Modeling in Ukraine / Ed. O. Cheverda.: EU project "Assistance to authorities of Ukraine in improving infrastructure project cycle management", 2019.

4. Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 17.02.2021 No. 152-p - On approval of the Concept for the implementation of building information modelling technologies (BIM technologies) in Ukraine and approval of the action plan for its implementation.

5. Calculating Costs and Benefits for the use of Building Information Modelling in Public Tenders / European Innovation Council and SMEs Executive Agency (EISMEA), 2021.

6. Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector / EU BIM Task Group, 2018.

7. Semerey V.V., Zadorozhnikova I.V., Ph.D., Assoc. BIM technologies in design.: "Modern technologies and calculation methods in construction", issue 7, 2017.

8. Yulin Luo. BIM for Bridge Design.: IABSE Guangzhou, 2016.

9. Markus Nöldgen. BIM in Bridge and Infrastructure Design.: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2022.

10. Matti-Esko Järvenpää. Use of BIM in design and construction of Chenab bridge in India.: PROF-ENG, s. r. o. (Ltd.) Id. Number: CZ02577933, 2023.

11. Matti-Esko Järvenpää. BIM automation in segmental bridges using parametric modelling application cases in Perú.: PROF-ENG, s. r. o. (Ltd.) Id. Number: CZ02577933, 2023.

12. Federal Highway Administration1200 New Jersey Ave., SE Washington, DC 20590 - https://www.fhwa.dot.gov/bridge/bim/

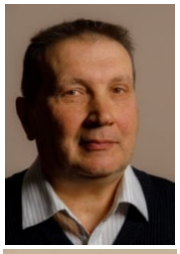
УДК 656.11:625.7
UDC 656.11:625.7
DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-051-061

ПРОБЛЕМИ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ МІСТ З УРАХУВАННЯМ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

PROBLEMS OF THE URBAN TRANSPORT SYSTEM WITH REGARD TO FREIGHT TRANSPORT



Медведєв Костянтин Володимирович, *кандидат фізико-математичних наук, доцент, професор кафедри мостів, тунелі та гідротехнічних споруд Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: kvmedvediev@gmail.com*
https://orcid.org/0000-0002-0704-7093



Євсейчик Юрій Борисович*, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри мостів, тунелі та гідротехнічних споруд Національний транспортний університет, Київ, Україна,*
e-mail: jura_ntu@ukr.net
https://orcid.org/0000-0002-3507-4734



Янчук Леонід Леонідович, *кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри мостів, тунелі та гідротехнічних споруд Національний транспортний університет, Київ, Україна,*
e-mail: leonid.ianchuk@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-1269-1251



Паровенко Оксана Микитівна, *кандидат технічних наук, , доцент, доцент кафедри мостів, тунелі та гідротехнічних споруд Національний транспортний університет, Київ, Україна,*
e-mail: olenik.lia@gmail.com,
https://orcid.org/0000-0001-8872-8415.



Фаль Андрій Євгенович, *кандидат технічних наук, головний інженер, ТОВ "Міжнародний проектний інститут",*
e-mail: andrii.fal@idi.com.ua
https:/orcid.org/0000-0003-3252-4952

Анотація. У статті розглянуто актуальні проблеми транспортних систем міст, з особливим акцентом на вантажні перевезення, які мають суттєвий вплив на ефективність функціонування міської інфраструктури. Основними викликами, з якими стикаються міста, є затори, екологічні проблеми,

безпека руху та комфортність користування транспортом. Проблеми виникнення таких ускладнень різноманітні, їх причинами є зростання кількості приватних автомобілів, неефективне планування інфраструктури, великий обсяг вантажних перевезень, низька ефективність громадського транспорту та недостатнє впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS).

Зростання кількості приватних автомобілів спричиняє перевантаження доріг, збільшує час знаходження в дорозі та підвищує рівень забруднення повітря. Неефективне планування міських транспортних мереж призводить до перевантаження основних транспортних артерій, що ускладнює рух транспорту та створює затори. Великий обсяг вантажних перевезень, викликаний розвитком електронної комерції, додатково навантажує міські дороги, особливо в центральних районах, що призводить до заторів та прискореного зносу дорожнього покриття. Низька ефективність громадського транспорту, незручні маршрути, нерегулярні графіки та недостатній рівень комфорту, сприяють збільшенню використання приватних автомобілів.

Вантажні перевезення є критично важливою складовою міської транспортної системи. Для вирішення цієї проблеми необхідна інтеграція транспортної інфраструктури для вантажних перевезень з існуючою транспортною системою міста. Це включає розробку спеціалізованих логістичних центрів на околицях міст, що дозволить консолідувати вантажі та здійснювати їхній подальший розподіл між меншими транспортними засобами. Збільшення кількості вантажних перевезень негативно впливає на довкілля через підвищення викидів парникових газів та забруднення повітря. Перехід на екологічно чисті види транспорту, такі як електровантажівки та гібридні вантажівки, сприятиме зменшенню цього впливу. Законодавчі та регулюючі заходи відіграють не менш важливу роль для зменшення заторів та покращення логістики. До них можна віднести запровадження платного в'їзду до центральної частини міста, обмеження годин для доставки вантажів до центру міста, введення податків на власників великих автомобілів та стимулювання використання громадського транспорту.

Ключові слова: транспортні потоки, мережа автомобільних доріг, транспортна система, спеціалізована транспортна інфраструктура, вантажні перевезення.

Вступ. Сучасні міста стикаються з численними проблемами транспортної інфраструктури, які суттєво впливають на якість життя мешканців. Транспортна система міст є складною мережею, яка має забезпечувати ефективне пересування людей і товарів. Основними викликами є затори, екологічні проблеми, безпека руху та комфортність користування транспортом. Однією з важливих складових міської транспортної системи є вантажні перевезення, які, з одного боку, забезпечують необхідні поставки товарів, а з іншого - створюють додаткове навантаження на інфраструктуру.

Розуміння проблем транспортних систем у містах вимагає комплексного підходу до їхнього аналізу [1]. Перш за все, слід ураховувати зростання кількості приватних автомобілів, яка збільшується з кожним роком. Це призводить до перевантаження доріг, заторів та підвищення рівня забруднення повітря, ускладнює життя містян і створює значні екологічні виклики.

Неефективне планування інфраструктури є ще однією вагомою проблемою. У багатьох містах дорожня інфраструктура не відповідає потребам та вимогам сьогодення. Відсутність об'їзних шляхів та недостатня кількість смуг руху сприяють утворенню заторів. Крім того, застарілість інфраструктури та її невідповідність сучасним транспортним технологіям значно ускладнює ситуацію.

Вантажні перевезення відіграють ключову роль у функціонуванні міської економіки. З розвитком електронної комерції кількість вантажних транспортних засобів на дорогах міст значно зросла [2,3]. Це особливо помітно у густонаселених районах, де відсутність спеціалізованих

інфраструктур для вантажного транспорту ускладнює рух [4]. Вантажівки, які часто зупиняються для завантаження або розвантаження товарів, блокують смуги руху, створюючи затори.

Ще одним важливим аспектом транспортних систем міст є екологічні проблеми [5]. Збільшення кількості транспортних засобів, особливо вантажних, сприяє підвищенню рівня забруднення повітря. Викиди парникових газів та інших шкідливих речовин негативно впливають на довкілля та здоров'я мешканців міст. Це викликає необхідність переходу на екологічно чисті види транспорту, такі як електровантажівки та гібридні транспортні засоби, що допоможе значно зменшити негативний вплив на довкілля.

Безпека руху в містах також залишається нагальною проблемою. Високий рівень аварійності на дорогах, зокрема за участю вантажних транспортних засобів, створює серйозні ризики для життя і здоров'я мешканців. Низька ефективність громадського транспорту, через незручні маршрути, нерегулярні графіки та недостатній рівень комфорту, змушує людей використовувати приватні автомобілі, що посилює проблему заторів та аварійності.

Недостатнє впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS) обмежує можливості для покращення ефективності міських транспортних мереж [6]. ITS мають великий потенціал для оптимізації маршрутів, зниження часу простою на дорогах та покращення безпеки руху, але їхнє впровадження зазвичай стикається з фінансовими та організаційними перешкодами.

Цю статтю присвячено аналізу основних проблем транспортних систем у містах з акцентом на вантажні перевезення, дослідженню причин виникнення цих проблем та пошуку шляхів їх вирішення. Спираючись на досвід успішних практик різних міст світу, таких як Гамбург, Лондон та Токіо, в статті пропонується застосування комплексного підходу до оптимізації міських транспортних систем, що включає інтеграцію вантажних перевезень, розвиток екологічно чистих транспортних засобів, впровадження інтелектуальних транспортних систем та застосування ефективних законодавчих заходів [7].

Виклад основного матеріалу. Проблеми транспортних систем міст є одними з найбільш важливих викликів для інженерної спільноти. Серед найактуальніших проблем та напрямків, які потребують вирішення, можна виділити затори та перевантаження доріг, екологічні виклики, безпеку руху, комфорт користування громадським транспортом, інтеграцію нових технологій, а також фінансування та інвестиції в транспортну інфраструктуру [8].

Основними причинами цих проблем є:

- зростання кількості приватних автомобілів та неефективне планування транспортної інфраструктури;
- велика кількість автомобілів на вулицях, низька ефективність використання палива та його високе споживання;
- недотримання правил дорожнього руху, погане технічне обслуговування доріг та висока швидкість руху;
- нерівномірний розподіл транспортних ресурсів, недостатня кількість маршрутів та незручні графіки громадського транспорту;
- швидкий розвиток технологій, що вимагає модернізації існуючої інфраструктури;
- обмеженість бюджетів та висока вартість будівництва та обслуговування інфраструктури.

До можливих шляхів вирішення цих проблем слід віднести покращення громадського транспорту за рахунок розвитку та модернізації його мережі (автобуси, метро, трамваї тощо), впровадження швидкісних автобусних коридорів, стимулювання використання громадського

транспорту через зниження або впровадження безкоштовного проїзду для певних категорій населення. Розумне планування міського простору сприятиме зниженню кількості заторів, для чого необхідно створити зони з обмеженим рухом для приватних автомобілів, побудувати багаторівневі паркінги та створити паркувальні майданчики на околицях міста з можливістю подальшої пересадки на громадський транспорт. Впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS) також є одним з головних чинників зниження рівня заторів. Такі системи засновані на моніторингу та управлінні трафіком у режимі реального часу. Вони використовують адаптивні світлофори для регулювання руху в залежності від навантаження на дороги, а також застосовують спеціалізовані додатки для навігації, що допомагають водіям уникати заторів.

Оптимізація вантажних перевезень важливий фактор для зменшення навантаження на дороги в години пік, для цього необхідно встановлення визначених годин для доставки вантажів, використання логістичних хабів на околицях міста для консолідації вантажів та їхнього подальшого розподілу серед менших транспортних засобів, а також впровадження електронних систем управління логістикою для оптимізації маршрутів і часу доставки.

У наведеній нижче блок-схемі показано основні проблеми транспортної системи міст з урахуванням вантажних перевезень, їхню систематизацію з конкретними задачами до кожної проблеми та шляхи їх вирішення, що надасть більшої наглядності для можливості врахування переваг та недоліків кожного рішення та забезпечення оптимального функціонування транспортної системи (Рисунок 1).

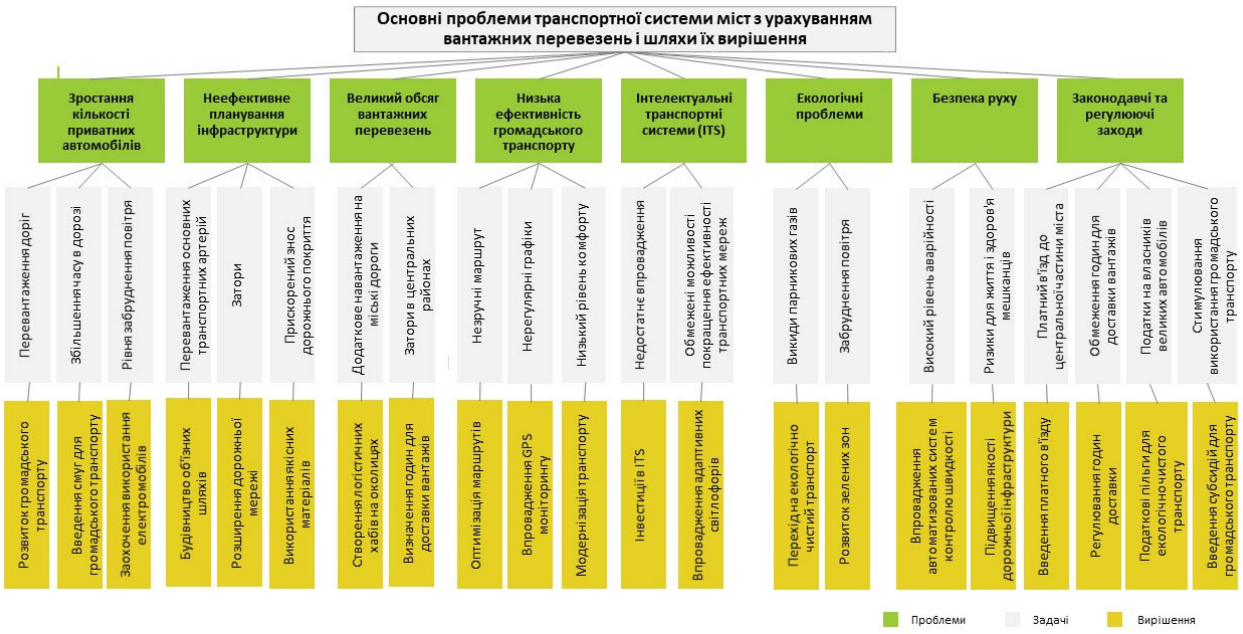


Рисунок 1 – Основні проблеми транспортної системи міст з урахуванням вантажних перевезень і шляхи їх вирішення

Figure 1 – The main problems of the urban transport system with regard to freight transportation and ways to solve them

Розвиток альтернативних видів транспорту – один із шляхів вирішення проблем заторів у містах. До них слід віднести створення та розвиток велосипедної інфраструктури (велодоріжки, велопарковки), підтримку каршерінгу та інших спільних транспортних послуг, а також впровадження електроскутерів та інших легких електротранспортних засобів.

Значну роль у зменшенні навантаження на вулиці міст відіграють регулювання і законодавчі заходи, а саме: запровадження платного в'їзду до центральної частини міста, введення податків на власників другого автомобіля або великих автомобілів, заохочення використання екологічно чистих транспортних засобів через податкові пільги або субсидії.

Затори на дорогах є однією з найгостріших проблем сучасних міст. Зростання кількості приватних автомобілів і обсягу вантажних перевезень погіршує ситуацію. Основні аспекти цієї проблеми включають зростання кількості приватних автомобілів, спричинене урбанізацією міст та збільшенням їхнього населення. Економічне зростання та розвиток промисловості призводять до підвищення доходів населення, що дозволяє більшості придбати власні автомобілі. Недостатньо розвинена мережа громадського транспорту також сприяє виникненню заторів.

Збільшення вантажних перевезень через розвиток електронної комерції, яка вимагає швидкої доставки товарів, а також погано сплановані логістичні маршрути та відсутність спеціалізованої інфраструктури для вантажного транспорту значно впливають на утворення заторів. Це призводить до економічних втрат, затримок у доставці вантажів та підвищення витрат на паливо. Також зростає негативний вплив на довкілля через значні викиди парникових газів і забруднення повітря. Не можна не згадати й соціальні наслідки, до яких відносяться стрес та втрачений час для водіїв і пасажирів.

До можливих шляхів вирішення цих проблем належать покращення громадського транспорту через розвиток та модернізацію мережі (автобуси, метро, трамваї), впровадження швидкісних автобусних коридорів та стимулювання використання громадського транспорту за рахунок зниження вартості проїзду або впровадження безкоштовного проїзду для певних категорій населення. Розумне планування міського простору, до якого входить створення зон з обмеженим рухом для приватних автомобілів, будівництво багаторівневих паркінгів та паркувальних майданчиків на околицях міста з можливістю пересадки на громадський транспорт, сприятиме зниженню кількості заторів.

Використання великого обсягу даних для аналізування та прогнозування транспортних потоків дозволяє ідентифікувати шаблони руху та виявляти потенційні проблеми їх виникнення. Дані можуть надходити з різних джерел, включаючи мобільні додатки та соціальні мережі. Використання алгоритмів машинного навчання для прогнозування заторів дозволить вжити заходів для їхнього запобігання. Це може бути зміна сигналів світлофорів, інформування водіїв про альтернативні маршрути тощо.

Вантажні перевезення в містах. Впровадження спеціалізованої транспортної інфраструктури для вантажних перевезень у містах є важливим кроком для зменшення заторів, покращення логістики та зниження екологічного навантаження. Давайте розглянемо доцільність, особливості, проблеми та можливі рішення цього підходу.

Так, одним серед можливих варіантів вирішення проблеми є виділення окремих смуг або маршрутів для вантажівок, що може зменшити навантаження на основні дороги, які використовуються для руху легкових автомобілів. Окремі смуги або коридори для вантажівок дозволяють уникнути змішування з основним потоком транспорту. Також, як варіант, можна встановити певні години для доставки вантажів до центру міста, щоб уникнути пікових навантажень. Крім того відокремлення руху вантажного та пасажирського транспорту значно сприятиме підвищенню безпеки на дорогах.

Спеціалізовані логістичні центри та хаби зможуть оптимізувати розподіл товарів у містах, зменшити час доставки та знизити витрати на логістику. Вони можуть бути розташовані на околицях міста або в стратегічних точках для консолідації вантажів і подальшого розподілу меншими транспортними засобами.

Розвиток інфраструктури передбачає значні витрати на будівництво нових логістичних центрів і виділених смуг. Як рішення може бути запропоновано залучення приватних інвестицій через державно-приватне партнерство або використання існуючих інфраструктурних об'єктів з їхньою модернізацією.

Розвиток транспортної інфраструктури міста може зіткнутися з опором з боку громадськості та бізнесу. Жителі міста та підприємства можуть бути проти змін через незручності, які можливо виникнуть в наслідок проведення робіт або побоювання щодо підвищення витрат. Для розв’язання цієї проблеми слід проводити громадські консультації, освітні кампанії щодо пояснення переваг впровадження нової інфраструктури та передбачити надання компенсацій або пільг.

Інтеграція транспортної інфраструктури для вантажних перевезень з існуючою транспортною системою також є складовою частиною вирішення проблеми, але можливе виникненя певних складнощів з інтеграцією нових елементів до існуючої транспортної системи міста. Тому слід проводити комплексне планування та моделювання транспортних потоків з поступовим впровадженням змін з моніторингом і коригуванням процесу.

Незважаючи на оптимізацію транспортної інфраструктури, яка враховує наявність вантажних перевезень, великоваговий транспорт все ще може мати значний вплив на екологію міста. Отже перехід на екологічно чисті види транспорту (електровантажівки, гібридні вантажівки), стимулювання використання таких транспортних засобів через субсидії та податкові пільги, сприятиме зменшенню забруднення довкілля.

Слід звернути увагу на необхідність координації між різними службами та приватними операторами, для чого необхідно впроваджувати централізовані системи управління логістикою, використовувати цифрові платформи для обміну даними між учасниками логістичного процесу.

Впровадження спеціалізованої транспортної інфраструктури для вантажних перевезень може значно покращити ситуацію на дорогах міст, зменшити затори та підвищити ефективність логістики. Однак це вимагає ретельного планування, значних інвестицій та співпраці між різними стейкхолдерами.

Моделювання та оптимізація транспортних потоків. Моделювання та оптимізація транспортних потоків у містах з урахуванням вантажних перевезень є критично важливими для забезпечення ефективності транспортної системи, зниження заторів та покращення загальної якості життя в міських районах.

Моделювання транспортних потоків включає створення математичних моделей, що відображають реальні умови руху транспортних засобів. Головна мета моделювання полягає у розумінні та передбаченні поведінки транспортної системи за різних умов, а також оцінюванні впливів різних факторів на транспортні потоки.

До основних типів моделей транспортних потоків можна віднести:

- макроскопічні моделі, які розглядають транспортні потоки в приведеному вигляді, з використанням середніх швидкостей та щільності потоку транспорту. Вони застосовуються для аналізу загального стану мережі доріг та виявлення вузьких місць;

- мікроскопічні моделі, які розглядають індивідуальну поведінку транспортних засобів і водіїв. Вони дозволяють моделювати взаємодію між транспортними засобами, включаючи розгін, гальмування та зміну смуги руху;

- мезоскопічні моделі, які поєднують елементи макроскопічних та мікроскопічних моделей, і дозволяють більш детально моделювати потоки на середньому рівні деталізації. Вони корисні для моделювання великих міських мереж.

Моделювання транспортних потоків складається зі збору даних про інтенсивність руху, швидкість, типи транспортних засобів, маршрути руху та інших параметрів, які збираються за допомогою датчиків, відеокамер, GPS-пристроїв тощо. Наступним етапом є калібрування моделей, коли модель налаштовується на основі зібраних даних для того, щоб відобразити реальні умови руху, та включає налаштування параметрів моделі для досягнення максимальної точності. На етапі аналізування та валідування модель перевіряють на відповідність реальним даним та за необхідності коригують. Це дозволяє переконатися, що модель адекватно відображає реальні умови. Прогнозування та симуляція моделі використовується для прогнозування транспортних потоків за різних сценаріїв, таких як зміни дорожньої інфраструктури, застосування нових транспортних засобів або впровадження змін у політиці управління рухом.

Розглянемо одну з можливих моделей для транспортного потоку, яка зводиться до квазілінійного рівняння першого порядку [9]. Припустимо, що рух автомобілів відбувається в одному напрямі по дорозі без з'їздів і виїздів. Позначимо щільність автомобілів (кількість автомобілів на одиницю довжини дороги) у точці x як $u(x, t)$, а потік автомобілів (кількість автомобілів, що проходять через точку x за одиницю часу) у точці x як $f(x, t)$. Тоді зміна кількості автомобілів за одиницю часу $N(x_1,x_2,t)$ на ділянці дороги від x_1 до x_2 дорівнює:

$$N(x_1,x_2,t)=\frac{d}{dt}\int_{x_1}^{x_2}u(x,t)dx\ . \tag{1}$$

З іншого боку, враховуючи фізичний зміст $f(x, t)$, можна записати $N(x_1,x_2,t)$ у вигляді:

$$N(x_1,x_2,t)=f(x_1,t)-f(x_2,t) \tag{2}$$

Прирівняємо праві частини рівнянь (1) і (2):

$$f(x_1,t)-f(x_2,t)=-\int_{x_1}^{x_2}\frac{dt}{dx}dx \tag{3}$$

Якщо фукції $u(t,x)$ і $f(t,x)$ диференційовані, то має місце співвідношення:

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{\partial f}{\partial x}=0\ . \tag{4}$$

З огляду на те, що f є функцією від щільності потоку u (тобто $f = f(u)$), рівняння (4) набуває вигляду:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + g(u)\frac{\partial u}{\partial x} = 0 \ , \tag{5}$$

де $g(u) = \frac{\partial f}{\partial u}$.

Рівняння (5) відноситься до квазілінійних рівнянь першого порядку [10].

Вигляд функції $f(u)$ обирають залежно від моделі транспортного потоку, яка відповідає характеру руху автомобілів на заданій ділянці дороги. Наприклад, при виникненні перешкод (світлофор, аварія тощо) функцію $f(u)$ можна прийняти у вигляді:

$$f(u) = Au(1-u) . \tag{6}$$

При збільшенні швидкостей автомобілей на заданій ділянці для функції $f(u)$ може бути використано:

лінійну залежність:

$$f(u) = k_1 u \ , \tag{7}$$

або квадратичну залежність:

$$f(u) = k_2 u^2 \ . \tag{8}$$

Коефіцієнти пропорційності A, k_1 та k_2 у моделях (6) – (8) обираються на основі експерементальних досліджень.

Таким чином задача визначення щільності транспортного потоку $u(x, t)$ зводиться до:

$$\begin{aligned} &\frac{\partial u}{\partial t} + g(u)\frac{\partial u}{\partial x} = 0 \, , \ t > 0 \, , \ x \in [x_1, x_2] \, ; \\ &u(x,0) = u_0(x) \, ; \\ &u(x_1,t) = u_1(t) \, , \end{aligned} \tag{9}$$

де $u_0(x)$ і $u_1(t)$ – задані функції;

$u_0(x)$ - початкова щільність розподілу автомобілів;

$u_1(t)$ - щільність розподілу автомобілів на початку дороги $x = x_1$.

З точки зору математичної фізики система (9) є задачею Коші (задача з початковими умовами) для відповідного диференційного рівняння. Числове вирішення задач подібного роду не становить особливої складності для реалізації у програмному комплексі Mathcad.

Висновки. Проблеми транспортних систем у містах є складними та багатогранними, основними з яких є затори, екологічні проблеми, безпека руху, комфортність користування громадським транспортом, інтеграція нових технологій, а також питання фінансування та інвестицій у транспортну інфраструктуру. Причинами виникнення цих проблем є зростання кількості приватних автомобілів, неефективне планування транспортної інфраструктури, велика кількість автомобілів на вулицях, низька ефективність використання палива, недотримання правил дорожнього руху, нерівномірний розподіл транспортних ресурсів, швидкий розвиток технологій, обмеженість бюджетів та висока вартість будівництва і обслуговування інфраструктури.

Вантажні перевезення також мають суттєвий вплив на транспортні потоки в міських районах. Вантажні автомобілі, через їхні великі розміри та меншу маневровість, часто спричиняють зниження швидкості руху та підвищують ризик виникнення заторів. Відсутність спеціалізованої інфраструктури для вантажних транспортних засобів та погано сплановані логістичні маршрути погіршують ситуацію.

Для вирішення цих проблем необхідні комплексні заходи, що включають розвиток громадського транспорту, впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS), покращення управління трафіком, перехід на екологічно чисті транспортні засоби, розвиток велоінфраструктури, підтримку екологічного громадського транспорту, впровадження автоматизованих систем контролю швидкості, покращення інфраструктури для пішоходів і велосипедистів, оптимізацію маршрутів і графіків руху, розвиток інтегрованих транспортних мереж, впровадження технологій "розумного міста", використання великого обсягу даних для управління транспортними потоками, розвиток систем автономного транспорту, залучення приватних інвестицій та розроблення нових моделей фінансування.

Регулювання і законодавчі заходи також відіграють важливу роль у зниженні навантаження на міські дороги. Це може бути запровадження платного в'їзду до центральної частини міста, введення податків на власників другого автомобіля або великих автомобілів, заохочення використання екологічно чистих транспортних засобів через податкові пільги або субсидії.

Отже, вирішення проблем транспортних систем у містах потребує комплексного підходу, що включає технічні, організаційні, економічні та екологічні заходи. Впровадження інноваційних технологій, розвиток екологічно чистих видів транспорту, оптимізація логістики та вдосконалення управління рухом є ключовими кроками до створення ефективних та стійких транспортних систем у міських умовах.

Перелік посилань

1. Chow, J.Y.J. (2018). Informed Urban Transport Systems: Classic and Emerging Mobility Methods toward Smart Cities.

2. Rodrigue, J-P (2024) The Geography of Transport Systems, Sixth Edition, New York: Routledge.. Routledge, https://transportgeography.org/.

3. Mahmassani, H.S. (2016). Transportation and Traffic Theory 2009: Golden Jubilee**. Springer. https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4419-0820-9

4. Papageorgiou, M., Diakaki, C., Dinopoulou, V., Kotsialos, A., & Wang, Y. (2003). Review of road traffic control strategies. *Proceedings of the IEEE*, 91(12), 2043-2067.

5. Woudsma, C. (2001). Understanding the movement of goods, not people: Issues, evidence and potential. *Urban Studies*, 38(13), 2439-2455.

6. Бойко В.В. «Інформаційна технологія організації логістичних систем автоматизованого управління та безпеки руху міського пасажирського транспорту» дис. канд. техн. наук., фак-т інф. техн. і сист., Черк. держ. тех. ун-т, Черкаси, 2021.

7. Л.С. Абрамова, «Теоретичні основи формування розподілених систем управління дорожнім рухом у містах.» дис. д-ра. техн. наук, м-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т, Харків, 2020.

8. L.M.K. Bento, “Intelligent traffic management algorithms for environmental impacts reduction at city centers aided GNSS positioning.” Ph. D. thesis, Dept. Elect. and Comp. Eng., Coimbra Univ., Coimbra, Portugal, 2016.

9. Smirnov, V.I. A Course of Higher Mathematics. Volume II: Advanced Calculus. Pergamon Press, 1964. P. 630

PROBLEMS OF THE URBAN TRANSPORT SYSTEM WITH REGARD TO FREIGHT TRANSPORT

Kostiantyn Medvediev, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, National Transport University, Department of Bridges, tunnels and hydraulic structures, Professor, e-mail: kvmedvediev@gmail.com, +380442807978, https://orcid.org/0000-0002-0704-7093.

Yurii Yevseichyk, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, National Transport University, Department of Bridges, tunnels and hydraulic structures, Associate Professor, e-mail:jura_ntu@ukr.net, +380442807978, https://orcid.org/0000-0002-3507-4734

Leonid Yanchuk, Candidate of Engineering Sciences, National Transport University, Department of Bridges, tunnels and hydraulic structures, Associate Professor, e-mail: leonid.ianchuk@gmail.com, +380442807978, https://orcid.org/0000-0003-1269-1251.

Oksana Parovenko, Candidate of Engineering Sciences, National Transport University, Department of Bridges, tunnels and hydraulic structures, Associate Professor, e-mail: olenik.lia@gmail.com, +380442807978, https://orcid.org/0000-0001-8872-8415.

Andriy Fal, Candidate of Engineering Sciences, Limited liability company international design institute, Chief Engineer e-mail: andrii.fal@idi.com.ua, +380443840417, https://orcid.org/0000-0003-3252-4952

Summary. The problems of transport systems in cities are complex and multifaceted, the main ones being congestion, environmental problems, traffic safety, comfort of using public transport, integration of new technologies, as well as issues of financing and investment in transport infrastructure. The reasons for these problems include the growing number of private cars, inefficient planning of transport infrastructure, a large number of cars on the streets, low fuel efficiency, non-compliance with traffic rules, uneven distribution of transport resources, rapid development of technology, limited budgets and high costs of infrastructure construction and maintenance.

Freight transport also has a significant impact on traffic flows in urban areas. Due to their large size and lower manoeuvrability, trucks often cause slower traffic speeds and increase the risk of congestion. The lack of specialised infrastructure for trucks and poorly planned logistics routes exacerbate the situation.

To address these issues, comprehensive measures are needed, including the development of public transport, the introduction of intelligent transport systems (ITS), improved traffic management, the transition to environmentally friendly vehicles, the development of cycling infrastructure, support for environmentally friendly public transport, the introduction of automated speed control systems, improved pedestrian and cycling infrastructure, optimised routes and timetables, the development of integrated transport networks, and the introduction of smart city technologies.

Regulation and legislative measures also play an important role in reducing the load on urban roads. This may include the introduction of tolls to enter the city centre, taxes on owners of second cars or large vehicles, and the promotion of environmentally friendly vehicles through tax breaks or subsidies.

Thus, solving the problems of transport systems in cities requires a comprehensive approach that includes technical, organisational, economic and environmental measures. The introduction of innovative technologies, development of environmentally friendly modes of transport, optimisation of logistics and

improvement of traffic management are key steps towards creating efficient and sustainable transport systems in urban areas.

Keywords: traffic flows, road network, transport system, specialized transport infrastructure, freight transportation.

References

1. Chow, J.Y.J. (2021). Informed Urban Transport Systems: Classic and Emerging Mobility Methods toward Smart Cities**. Elsevier.

2. Rodrigue, J-P., Comtois, C., & Slack, B. (2020). The Geography of Transport Systems (5th ed.). Routledge.

3. Mahmassani, H.S. (2016). Transportation and Traffic Theory 2009: Golden Jubilee**. Springer.

4. Papageorgiou, M., Diakaki, C., Dinopoulou, V., Kotsialos, A., & Wang, Y. (2003). Review of road traffic control strategies. *Proceedings of the IEEE*, 91(12), 2043-2067.

5. Woudsma, C. (2001). Understanding the movement of goods, not people: Issues, evidence and potential. *Urban Studies*, 38(13), 2439-2455.

6. Boiko V.V. «Informatsiina tekhnolohiia orhanizatsii lohistychnykh system avtomatyzovanoho upravlinnia ta bezpeky rukhu miskoho pasazhyrskoho transportu» dys. kand. tekhn. nauk., fak-t inf. tekhn. i syst., Cherk. derzh. tekh. un-t, Cherkasy, 2021.

7. L.S. Abramova, «Teoretychni osnovy formuvannia rozpodilenykh system upravlinnia dorozhnim rukhom u mistakh.» dys. d-ra. tekhn. nauk, m-vo osvity i nauky Ukrainy, Kharkiv. nats. avtomob.-dor. un-t, Kharkiv, 2020.

8. L. M. K. Bento, “Intelligent traffic management algorithms for environmental impacts reduction at city centers aided GNSS positioning.” Ph. D. thesis, Dept. Elect. and Comp. Eng., Coimbra Univ., Coimbra, Portugal, 2016.

9. Smirnov, V.I. A Course of Higher Mathematics. Volume II: Advanced Calculus. Pergamon Press, 1964. P. 630

УДК 656.1
UDC 656.1

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-062-071

МЕТОД ЗОН ДИЛЕМИ ЯК ОДИН З ІНСТРУМЕНТІВ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ РУХУ НА ОКРЕМИХ ДІЛЯНКАХ ДОРІГ

THE METHOD OF DILEMMA ZONES AS ONE OF THE TOOLS OF TRAFFIC SAFETY MANAGEMENT ON CERTAIN SECTIONS OF ROADS



***Мельниченко Олександр Іванович**, Заслужений працівник освіти України, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, завідувач кафедрою виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: melnichenko@ntu.edu.ua, тел. +380506562446, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омелянович-Павленко 1.*

https://orcid.org/0000-0001-9694-9824



***Осипов Валентин Олександрович,** кандидат технічних наук, Київський національний університет будівництва та архітектури, доцент кафедри міського господарства Osipov.valentin100@gmail.com, Україна, 03680, просп. Повітряних сил, 31.*

https://orcid.org/0000-0001-9284-7919

Анотація: В роботі запропоновано метод використання теорії зон дилем при прогнозуванні аварійності на ділянках автомобільних доріг з окремими дорожніми умовами, як регулятор роботи підсистеми «водій-дорога». Проведено класифікацію існуючих методів дослідження зіткнення автотранспорту. Визначено основні ділянки автомобільних доріг, які є потенційними місцями розташування зон дилеми (пропонується додати нові критерії до поняття), ділянки об'єднано в одне визначення: ТН – небезпечна точка, де водій буде змушений зробити управлінське рішення. На основі теоретичних досліджень змодельовано ситуації на місцях, де встановлено пристрої примусового зниження швидкості, та на місцях зупинки транспортних засобів загального користування. Запропоновано внести зміни до нормативної документації, що регулює сферу безпеки дорожнього руху в Україні.

Ключові слова: безпека руху, попутне зіткнення, транспортний засіб, дилема

Вступ. Відомо, що автомобільні дороги загального користування та вулиці і дороги населених пунктів мають неоднорідні дорожні умови з точки зору геометричних параметрів, якості покриття та елементів облаштування. Окремим суб'єктом є ділянки, які потребують від водіїв прийняття миттєвих

управлінських рішень (маневр, зменшення швидкості, гальмування, збільшення швидкості, рух без змін).

Серед інших, до таких ділянок можна віднести регульовані та нерегульовані перехрестя, зони зупинки транспортних засобів загального користування (автобусів, тролейбусів, трамваїв тощо) місць встановлення пристроїв примусового зниження швидкості (ППЗШ) тощо. Неправильність прийняття рішень водієм на вказаних ділянках, окрім іншого призводить до такого виду дорожньо-транспортних пригод (ДТП), як зіткнення транспортних засобів (ТЗ), що рухаються у попутному напрямку у складі транспортного потоку.

Аналіз публікацій. При підготовці роботи було вивчено публікації низки вітчизняних та закордонних дослідників. Окремі тезиси спирались на власні попередні дослідження. Для формулювання актуальності проблеми було використано дані з нормативних документів в сфері безпеки дорожнього руху України.

Метою публікації є пошук способів зменшення аварійності на окремих ділянках автомобільних доріг, використовуючи метод зон дилеми.

Виклад основного матеріалу. Сучасні методи дослідження зіткнення ТЗ, що рухаються у попутному напрямку можливо класифікувати, як вказано на рис. 1. Проте оптимальним методом для вивчення механізму зіткнення ТЗ, що рухаються в попутному напрямку у складі транспортного потоку, на думку автора, є метод зон дилеми.

За визначенням дослідників [1-6], зона дилеми - це ділянка дороги, на якій водій повинен зробити вибір - або пришвидшити рух ТЗ та проїхати небезпечну ділянку або різко загальмувати та зупинити автомобіль. Проте, на думку автора, допустимими в межах теорії будуть і такі дії, як маневр (контраварійні дії), зниження швидкості або навпаки, пришвидшення руху. В деяких дослідження застосовується термін «фізична зона дилеми»: ТЗ наближається до точки небезпеки (ТН) зі швидкістю v і знаходиться від неї на відстані S. В саме цей час водій через зорове сприйняття усвідомлює можливу небезпеку свого руху із заданою раніше швидкістю або траєкторією і повинен прийняти управлінське рішення (одно з тих, що перелічувалися раніше).

В залежності від відстані до ТН та швидкості руху у водія немає повної впевненості в тому, що він зможе безпечно зупинитись, здійснити маневр об'їзду перешкоди або проїхати ТН до того, як на нього надійде попутний транспортний потік другої фази. Якщо водій обиратиме зупинку, зниження швидкості або маневр, то відповідно він почне уповільнюватися протягом часу t (час реакції водія). Відстань, яку пройде ТЗ буде включати до себе: відстань, яка пройдена за час реакції водія плюс відстань за час уповільнення. Для того, щоб гарантувати безпечну і комфортну зупинку, або маневр повинна виконуватися рівність:

$$S_{TH} \geq v \cdot t_p + = \frac{v^2}{2 j_c}, \quad (1)$$

де S_{TH} - відстань до ТН в той час, коли водій її помічає, м;

v - швидкість автомобіля на підході до ТН, м/с;

t_p - час реакції водія, с;

j_c - технологічне уповільнення ТЗ, $м / с^2$.

Остання нерівність може використовуватися також для визначення мінімальної відстані до ТН ($S_{\min}$), при якому ще можлива зупинка ТЗ:

$$S_{\min} \geq v \cdot t_p + = \frac{v^2}{2j_a}, \quad (2)$$

де j_a - аварійне уповільнення ТЗ, $м/с^2$.

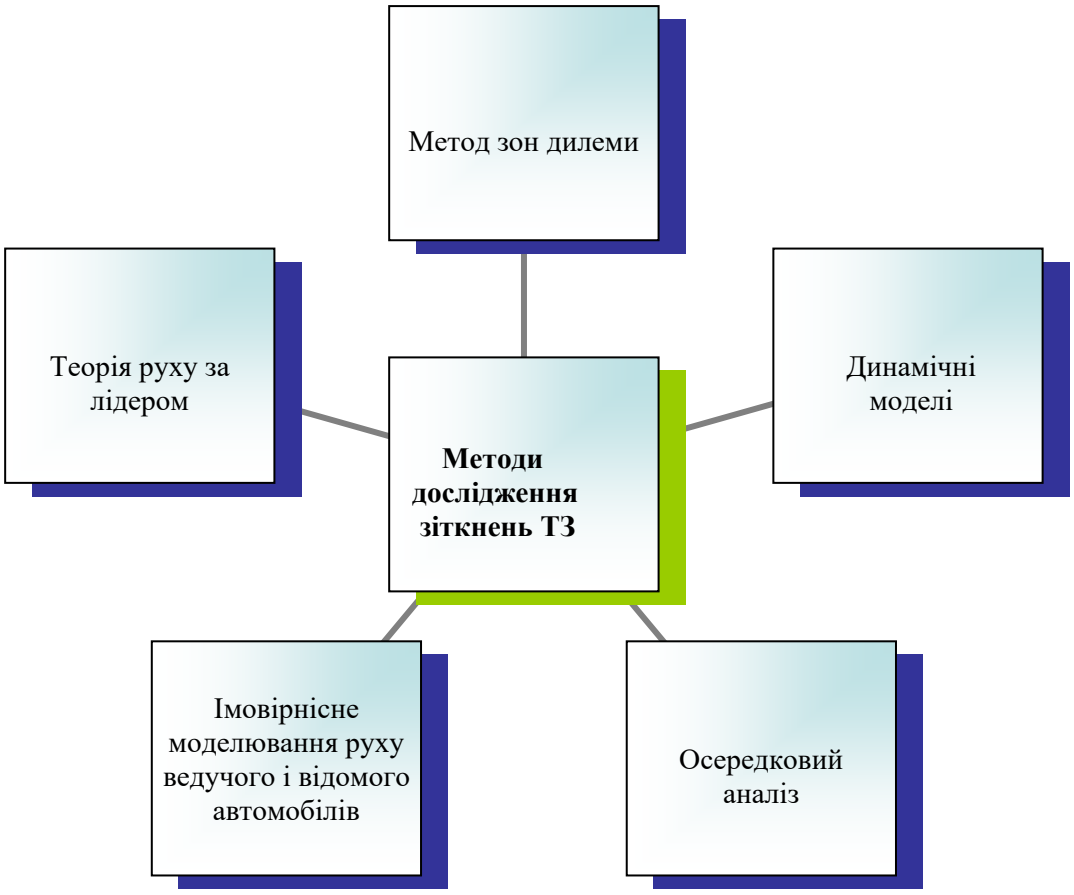


Рисунок 1 **–** Методи дослідження зіткнення транспортних засобів
Figure 1 – Methods of vehicle collision research

Тому, якщо ТЗ знаходиться на відстані, меншій від ТН, ніж відстань Smin, водій буде не в змозі безпечно зупинитися. Відповідно, ділянка автодороги від ТН до Smin - це область в якій водій з великим відсотком вірогідності не зможе безпечно зупинитися.

$$S_{\max} \leq (B+1) + v \cdot t_{np} + \frac{a \cdot (t_{np} - t_p)^2}{2}, \quad (3)$$

де В - ширина ділянки дороги, м;

1- довжина ТЗ, м;

t_{np} - протяжність перехідного інтервалу, с, (у випадках проїзду ТЗ регульованого перехрестя);

(В+1) - корегування за відстанню, щоб після проїзду ТН, задня частина ТЗ знаходилась поза неї, м.

У випадку, якщо водій знаходиться на відстані більшій від ТН, ніж $S_{\max}$, то він не зможе проїхати ТН за період t_{np}. Тому в ситуації, коли $S_T \rangle S_{\max}$, водій знаходиться в області, де він не зможе проїхати регульоване перехрестя без ризику скоїти зіткнення під прямим кутом з ТЗ, який починає рух.

Проектуючи цей метод на застосування наприклад пристроїв примусового зниження швидкості (ППЗШ) ми маємо справу з двома потенційними осередками прояви зон дилеми у ТН. У першому випадку водій, знижуючи швидкість перед дорожнім знаком 3.29 «Обмеження максимальної швидкості, передбаченим схемою організації дорожнього руху (ОДР), Рис. 1, не має чіткої уяви про зону його дії; примикання (перехрестя) - потенційна ТН, де згідно ПДР та ДСТУ 4100:2002 «Знакі дорожні» [7] завершується дія знаку, може знаходитися поза зоною видимості водія.

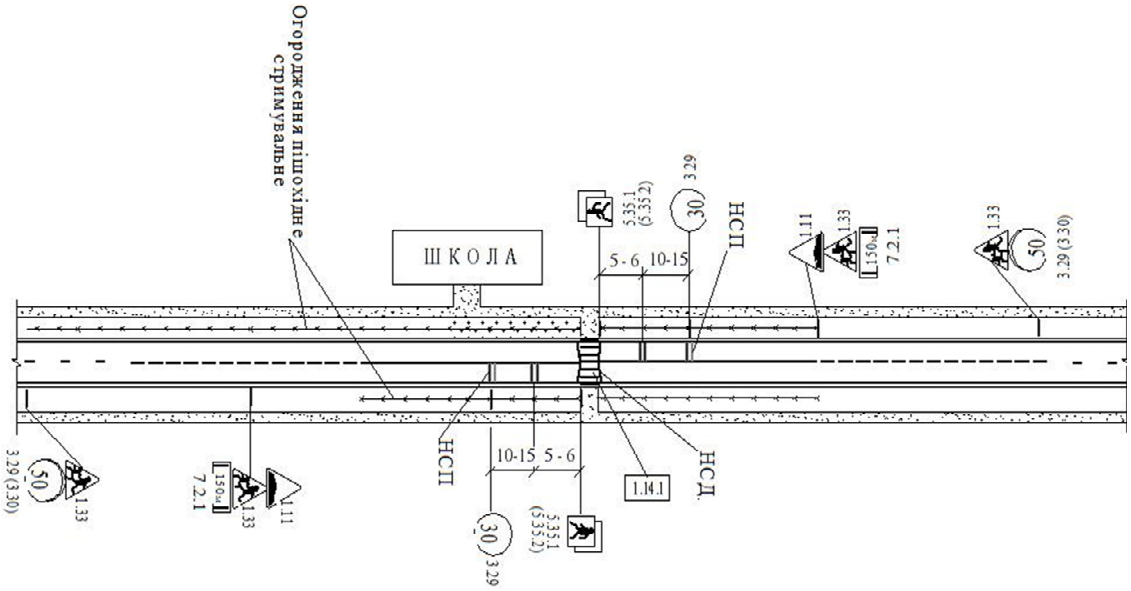


Рисунок 2 – Одна з типових схем ОДР, запропонованих Р В.2.3-218-03449261-507:2006 [8]

Figure 2 – One of the typical ODR schemes proposed by R V.2.3-218-03449261-507:2006

У такому разі водій, як правило, одразу після проїзду знаку 3.29 може ухвалити взаємовиключне рішення: продовжити рух на зниженій швидкості або почати її різкий набір. Слід зазначити, що перший осередок прояви зони дилеми на ТН малоймовірний, оскільки водій має візуальний контакт із ППЗШ, тобто бачить реальну перешкоду; схемою (рис. 2) передбачено відстань між знаком 3.29 та ППЗШ максимум 21 м - це і є перша зона дилеми.

У другому випадку дилема настає для водія відразу після проїзду засобу примусового зниження швидкості. Знову ж таки має місце взаємовиключна дія, що й у першому випадку. До того ж власні

дослідження автора показали [9], що водії часто взагалі не здійснюють зниження швидкості безпосередньо при перетині ППЗШ (рис. 3-4).

В результаті проведеного дослідження було виявлено, що затримки ТЗ на елементах ППЗШ, встановлених перед нерегульованими наземними пішохідними переходами в населених пунктах, несуттєво впливають на швидкість руху транспортного потоку, проте швидкість руху потоку може значно знижуватися при збільшенні висоти елементів та кута їх підйому. Визначити параметри другої зони дилеми неможливо, оскільки в кожному конкретному випадку вона буде залежати від таких факторів, як відстань до найближчого примикання (перетину) та рівня правосвідомості водія.

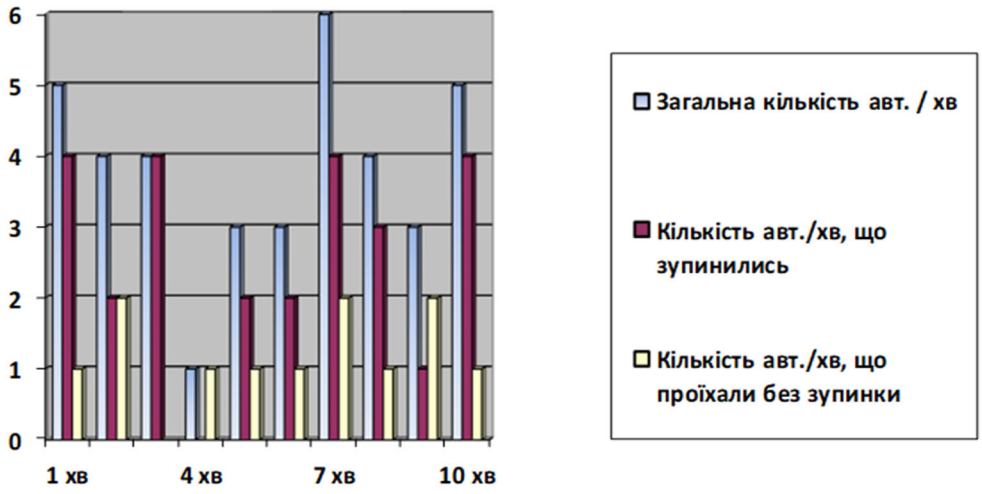


Рисунок 3 **–** Затримка автомобілів на вул. Ентузіастів, м. Київ
Figure 3 – Delay of cars on the Enthusiastiv Street, Kyiv

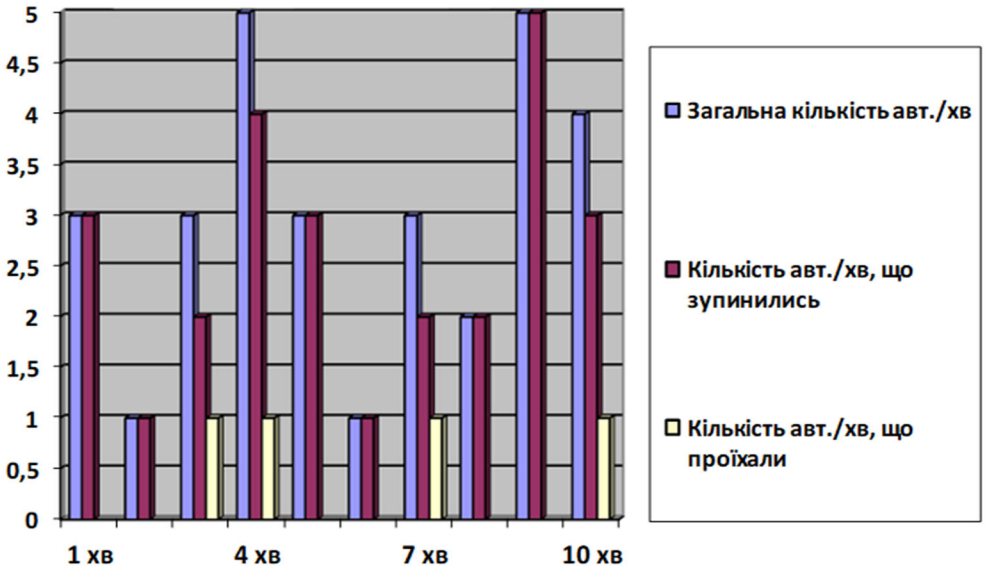


Рисунок 4– Затримка автомобілів на вул. Новогоспітальна, м. Київ
Figure 4 – Delay of cars on the Novohospitalna Street, Kyiv

Окремої уваги заслуговує питання використання методу зон дилеми на іншій типовій ТН - зоні зупинки транспорту загального користування та місць очікування пасажирами транспорту.

На сьогодні актуальною проблемою є забезпечення безпеки пасажирів, що очікують автомобільний транспорт загального користування на зупинках. Неочікуваний наїзд ТЗ, які за тих чи інших причин стали некерованими, або не встигли значно знизити швидкість призводить до тяжких травм та навіть людських втрат. На наш погляд, вирішення проблеми можливо, серед іншого, шляхом впровадження низки заходів, які фізично унеможливлять наїзд ТЗ. Комплекс заходів, що пропонуються до реалізації, зображені на рис. 5-7.

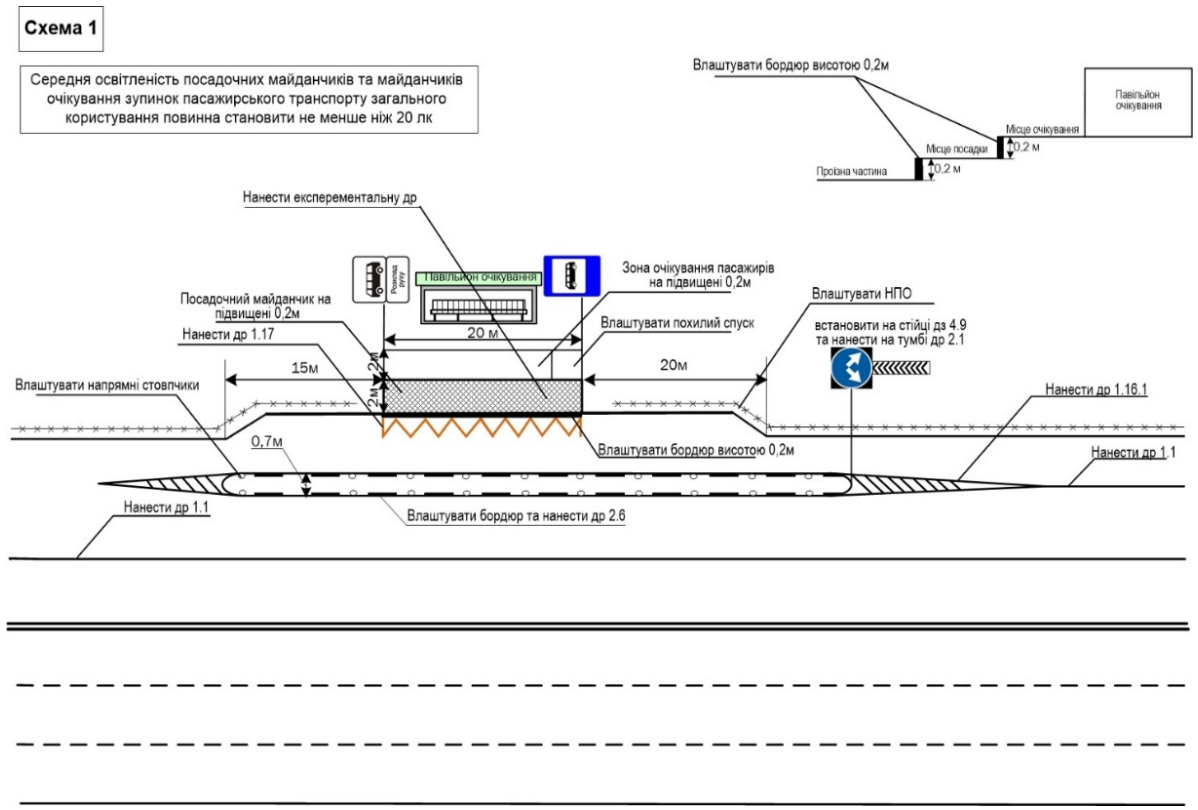


Рисунок 5– Облаштування магістральної вулиці для зупинки колісних ТЗ
Figure 5 – Arrangement of the main street for stopping wheeled vehicles

Суть пропозиції полягає у тому, щоб конструктивно відокремити пасажирів від ТЗ шляхом подвійного підвищення зони очікування останніх від проїзної частини, що на думку автора, мінімізує вплив фактору дилеми водія на безпеку потенційних пасажирів. У заходах пропонується поділити зону зупинки на дві частини: зону очікування ТЗ, та зону посадки/висадки пасажирів, на якій пропонується заборонити пішоходам очікувати громадський транспорт. У пропозиціях враховано пологі схили для пересування людей з обмеженими фізичними властивостями. У зоні зупинки рейкових ТЗ пропонуються додатково влаштовувати підвищені пішохідні переходи (більш прогресивний аналог ППЗШ, запропонований та реалізований автором) [10].

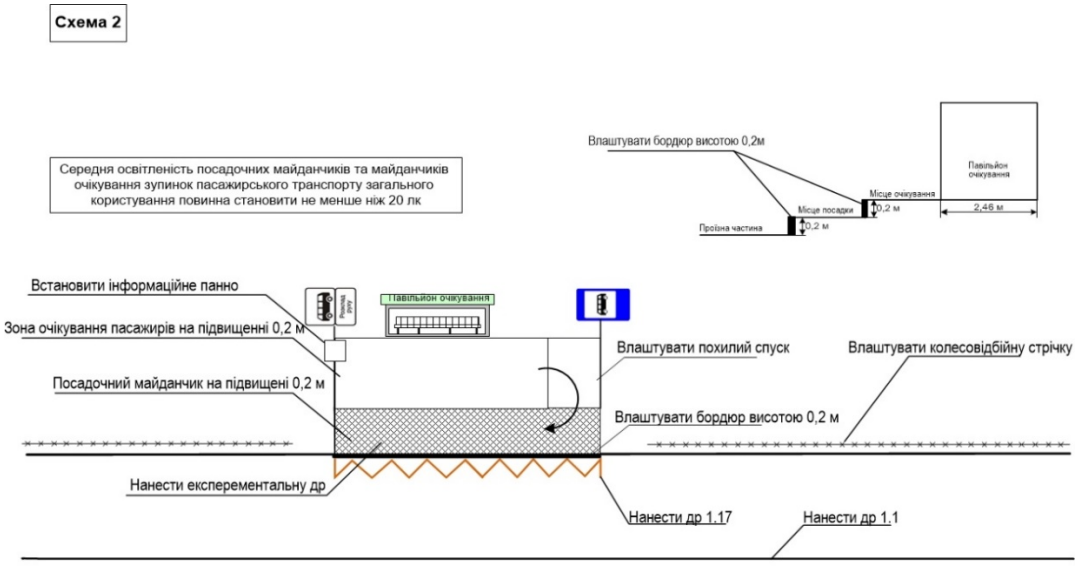


Рисунок 6– Облаштування вулиці місцевого значення для зупинки колісних ТЗ
Figure 6 – Arrangement of a street of local importance for stopping wheeled vehicles

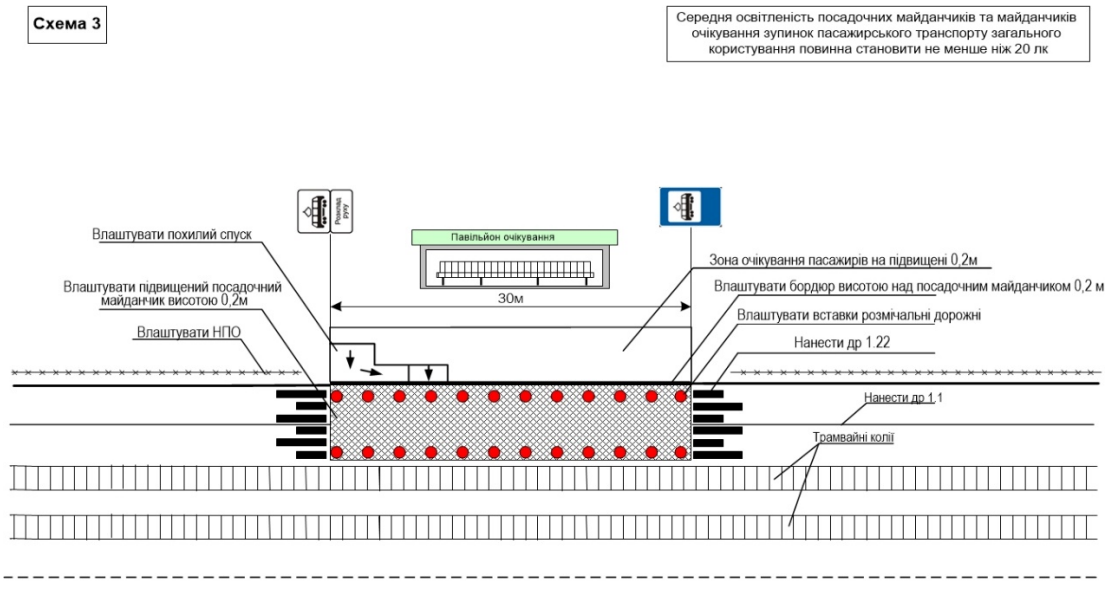


Рисунок 7– Облаштування вулиці місцевого значення для зупинки колісних ТЗ
Figure 7 – Arrangement of the street for stopping rail vehicles

Впровадження вказаних заходів потребує внесення змін у низку нормативних документів, а саме:

- ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів» доповнити пунктом 5.4.13 «Для створення додаткових заходів безпеки в межах зупинки громадського транспорту можуть

влаштовуватися острівці безпеки на вулицях і дорогах населених пунктів, де по 3 смуги в кожному напрямку, а крайня права смуга може бути виділена для руху маршрутних транспортних засобів. Приклад наведено у додатку «І». Доповнити ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів» додатком «І», а саме схемою влаштування острівця безпеки в межах зупинки громадського транспорту відповідно до наведеного рис. 1). Частину 1 пункту 5.4.9 ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів» викласти у наступній редакції «Посадкові майданчики безрейкового маршрутного транспорту улаштовуються на 20 см вище проїзної частини, а зона очікування може окремо влаштовуватися на 20 см вище посадкового майданчика, у таких випадках повинен передбачатися похилий спуск для осіб з порушенням опорно-рухового апарату.»;

- у пункті 5.2.2 ДСТУ 4123:2020 «Безпека дорожнього руху. Засоби заспокоєння руху. Загальні технічні вимоги» після слова «велосипедами» доповнити словами «зокрема дорожні пагорби можуть застосовувати в межах зупинки трамваю, полотно якого розташоване посередині проїзної частини»;

- пункт 7.4.3.2 ДСТУ 8751:2017 «Безпека дорожнього руху. Огородження дорожні і напрямні пристрої. Правила використання. Загальні технічні вимоги» доповнити підпунктом (в) наступного змісту: «в) фізичного убезпечення пасажирів на зупинках громадського транспорту на вулицях і дорогах населених пунктів, де по 3 смуги в кожному напрямку, а крайня права смуга може бути виділена для руху маршрутних транспортних засобів»;

- ДСТУ 2587:2021 «Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні вимоги. Методи контролювання. Правила застосування» доповнити пунктом 7.2.27 наступного змісту «Розмітка 1.31 у вигляді ромбів застосовується для позначення зони посадкового майданчика». Зразок застосування такої розмітки наведено у схемах 1, 2, 3. Таблицю 1 ДСТУ 2587:2021 «Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні вимоги. Методи контролювання. Правила застосування» доповнити наступними розмірами дорожньої розмітки 1.31: «ширина ліній повинна бути 10 см, а одна сторона ромбу має бути 50 см.»;

- ПДР доповнити пунктом 4.17 наступного змісту «Пішоходи під час очікування громадського транспорту на зупинці до прибуття такого транспорту зобов'язані перебувати у зоні очікування, якщо така існує. Пішоходам забороняється перебувати у зоні посадкового майданчика, позначеного дорожньою розміткою 1.31 під час очікування громадського транспорту на зупинці до прибуття такого транспорту». Пункт 1.10 ПДР доповнити терміном наступного змісту «Зона очікування - конструктивно виділене, по відношенню до посадкового майданчика місце, де пасажири зобов'язані очікувати на прибуття громадського транспорту» [11].

Висновки. У роботі проведена класифікація існуючих методів дослідження зіткнення ТЗ. Визначені основні ділянки автомобільних доріг які є потенційними місцями розташування зон дилеми (у поняття запропоновано додати нові критерії), ділянки об'єднані в одне визначення - ТН - точка небезпеки, де водій буде змушений приймати управлінське рішення. На основі теоретичних вишукувань змодельовані ситуації на ТН з ППЗШ та місцях зупинки ТЗ загального користування, запропоновано внесення змін до нормативної документації, що регулює сферу безпеки дорожнього руху в Україні.

Перелік посилань

1. Evaluation of advance warning signals on high speed signalized intersections (MPC-03-155).2. Traffic signal timing manual. P. N.: FHWA-HOP-08-024. JUNE 2008. -Washington: U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2008. - 274 p.

3. Zegeer C. V., Deen R. C. «Green-Extension Systems at High-Speed Intersections.» ITE Jornal. Institute of Transportation Engineers, Washington. D.C. November, 1978, pp. 19-24.

4. Chang V. S., Messer C. J., Santiago A. J. «Timing Traffic Signal Change Intervals Based on Driver Behavior» Transportation Research Record No 1027. Transportation Research Board. National Research Council, Washington, D.C., 1985, pp. 20-30.

5. A Policy on Geometric Design of Highways and Streers. American Association of State and Highway Transportation Officials, Washington, D.C., 2004.

6. Traffic detector handbook. P. N.: FHWA-HRT-06-108. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2006. - 243 p.

7. ДСТУ 4100-2020. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування. К. : Держстандарт України, 2020. 62 с.

8. Р В.2.3-218-03449261-732:2008. Рекомендації щодо забезпечення безпеки дорожнього руху у темну пору доби. К. : Укравтодор, 2008. 13 с.

9. Осипов В.О. Елементи примусового зниження швидкості та їх вплив на втрати руху транспорту / В.О. Осипов // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики», м. Євпаторія, 3 - 8 травня 2012 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, Східноукраїнський національний університет ім. В.Даля [та інш.]. - Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2012. - С. 191 - 193.

10. Пат. на корисну модель 86208 Україна, МПК, E01F11/00 (2013.01). Спосіб влаштування безпечного перетину інвалідами зору проїзної частини автодоріг / Осипов В.О.; заявник та патентовласник Луганський будівельний коледж. - № u 2013 04046 заявл. 01.04.2013; публікація 25.12.2013, Бюл. № 24.

11. Густєлєв О.О. До питання облаштування додатковими елементами безпеки зупинок громадського транспорту / О.О. Густєлєв, В.О. Осипов, В.П. Кульбако // Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 90-річчю кафедри автомобілів ім. А.Б. Гредескула Харківського автомобільно-дорожнього університету "Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців". - Харків, 27-29 жовтня 2021 року. - С. 284-287.

THE METHOD OF DILEMMA ZONES AS ONE OF THE TOOLS OF TRAFFIC SAFETY MANAGEMENT ON CERTAIN SECTIONS OF ROADS

Oleksand Melnichenko, Honored Worker of Education of Ukraine, Candidate of Science in Engineering, Professor, National Transport University, the Head of the Department Manufacturing, Repair and Materials Engineering, e-mail: melnichenko@ntu.edu.ua, tel. +38(050)6562446, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1, https//orcid.org/0000-0001-9694-9824

Valentin Osipov, Candidate of Science in Engineering, Kyiv National University of Construction and Architecture, Associate Professor of the Department of Urban Economy Osipov.valentin100@gmail.com, Ukraine, 03680, ave. Air Force, 31. https://orcid.org/0000-0001-9284-7919

Summary. The paper proposes a method of using the theory of dilemma zones when predicting accidents on highway sections with specific road conditions as a regulator of the "driver-road" subsystem.

The classification of existing methods of research on the collision of motor vehicles has been carried out. The main sections of highways that are potential locations of dilemma zones are identified (it is proposed to add new criteria to the concept), the sections are combined into one definition - TN - a point of danger,

where the driver will be forced to make a management decision. On the basis of theoretical investigations, the situations at the TN with PPZSh and the stopping places of public transport vehicles were simulated, it was proposed to make changes to the regulatory documentation regulating the sphere of road traffic safety in Ukraine.

Keywords: traffic safety, passing collision, vehicle, dilemma.

References

1. Evaluation of advance warning signals on high speed signalized intersections (MPC-03-155). [in English]

2. Traffic signal timing manual. P. N.: FHWA-HOP-08-024. JUNE 2008. -Washington: U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2008. - 274 p. [in English]

3. Zegeer C. V., Deen R. C. «Green-Extension Systems at High-Speed Intersections.» ITE Jornal. Institute of Transportation Engineers, Washington. D.C. November, 1978, pp. 19-24. [in English]

4. Chang V. S., Messer C. J., Santiago A. J. «Timing Traffic Signal Change Intervals Based on Driver Behavior» Transportation Research Record No 1027. Transportation Research Board. National Research Council, Washington, D.C., 1985, pp. 20-30. [in English]

5. A Policy on Geometric Design of Highways and Streers. American Association of State and Highway Transportation Officials, Washington, D.C., 2004. [in English]

6. Traffic detector handbook. P. N.: FHWA-HRT-06-108. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2006. - 243 p. [in English]

7. DSTU 4100-2020. Road signs. General technical conditions. Application rules. K.: Derzhstandard of Ukraine, 2020. 62 p. [in Ukrainian]

8. R V.2.3-218-03449261-732:2008. Recommendations for ensuring road traffic safety at night. K.: Ukravtodor, 2008. 13 p. [in Ukrainian]

9. Osypov V.O. Elements of forced speed reduction and their impact on traffic losses / V.O. Osypov // Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference "Problems of Development of Transport Systems and Logistics", Yevpatoria, May 3 - 8, 2012: collection of scientific works / Ministry of Education and Science, Youth and Sports of Ukraine, East Ukrainian National University named after V. Dalya [etc.]. - Luhansk: SNU named after V. Dalya, 2012. - P. 191 - 193. [in Ukrainian]

10. Pat. on utility model 86208 Ukraine, IPC, E01F11/00 (2013.01). The method of arranging the safe crossing of the roadway by the visually impaired / Osypov V.O.; applicant and patent holder Luhansk Construction College. - Application No. u 2013 04046 01.04.2013; publication 25.12.2013, Bull. No. 24. [in Ukrainian]

11. Gustelev O.O. On the issue of equipping public transport stops with additional security elements / O.O. Gustelev, V.O. Osypov, V.P. Kulbako // Scientific Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 90th Anniversary of the Automobile Department named after A.B. Graduate School of Kharkiv Automobile and Road University "Latest technologies in automobile construction, transport and training of specialists". - Kharkiv, October 27-29, 2021. - P. 284-287. [in Ukrainian]

УДК 624.7/8
UDC624.7/8

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-072-083

МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ЩОДО ОЦІНКИ ЕСТЕТИЧНИХ ЯКОСТЕЙ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

METHODOLOGICAL ASPECTS REGARDING THE EVALUATION OF AESTHETIC QUALITIESOF AUTOMOBILE ROADS



Кіяшко Ігор Володимирович*, кандидат технічних наук, доцент Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, професор кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг, вулиця Ярослава Мудрого, 25, Харків, Харківська область, 61002, e-mail: kiv62@ukr/net, тел. +380501784044,*

http://orcid.org/0000-0002-3250-0996

Анотація. У статті проаналізована існуюча система оцінки споживчих властивостей автомобільних доріг, при цьому виявлені показники, які на даний час не підлягають кількісній оцінці до яких належать естетичні якості доріг. Розглянуто вплив придорожнього простору на користувачів дорожніх послуг. В роботі проаналізована частка впливу людського фактору в забезпеченні безпеки транспортного руху. При проектуванні автомобільних доріг та організації дорожнього руху необхідно враховувати психофізіологічні можливості та стан водіїв, в тому числі і вплив ергономіки та естетики дорожніх умов на продуктивність і надійність діяльності водія. Для кількісної оцінки естетичного стану автомобільних доріг пропонується використовувати метод порівняння відповідних значень показників, які характеризують естетичний стан доріг з допустимими значеннями (нормативними вимогами) що стосуються даних показників. Якщо один із показників не відповідає допустимому значенню, його стан оцінюються відповідними балами та призначаються заходи щодо виправлення встановлених недоліків. Методика з оцінки естетичного стану автомобільної дороги та придорожнього простору складається з комплексу показників за трьома групами: техніко-експлуатаційні показники та елементи дороги; архітектурно-ландшафтне забезпечення та благоустрій; наявність та стан озеленення. Оцінка естетичного стану доріг за рівнями естетичної привабливості визначається відповідно до середньозважених значень результатів оцінки естетичного стану елементів або показників автомобільної дороги в балах.

Ключові слова: естетичний стан, обстеження доріг, техніко-експлуатаційні показники, архітектурно-ландшафтного забезпечення, озеленення, рівень естетичної привабливості.

Вступ. Стрімкий розвиток промисловості, що обумовлений використанням досягнень технічного прогресу, є головною характеристикою розвитку світового суспільства. Це стосується повною мірою і розвитку автомобілебудування, наслідком якого є постійно прогресуючий процес зростання автомобільного парку. Розширення обсягів та сфери застосування транспортних засобів підвищує ймовірність збільшення людських та матеріальних втрат, причиною яких є аварійність на дорогах.

Забезпечення безпеки дорожнього руху слід розглядати як важливе соціально-економічне завдання. Дорожньо-транспортні пригоди завдають значних збитків країні, викликають серйозні ускладнення у роботі автомобільного транспорту, представляють загрозу для життя й здоров'я людей. Кількість дорожньо-транспортних пригод зростає, особливо в країнах з низьким і середнім рівнем доходу, де воно вдвічі вище, ніж у країнах з високими доходами населення. Недостатній рівень безпеки дорожнього руху залишається серйозною проблемою в Україні.

Автомобільні дороги повинні не тільки забезпечувати умови для реалізації динамічних якостей автомобілів і економічності перевезень та безпеки дорожнього руху, а й задовольняти психофізіологічним і естетичним вимогам водіїв і пасажирів. Важливу роль в забезпеченні безпеки руху на автомобільних дорогах має зовнішнє середовище, *Зовнішнє середовище являє собою інформаційне поле, яке сприймається водієм, впливає а його психологічний стан.* Сприйняття користувачами естетичного стану автомобільних доріг залежить від цілісності архітектурно-ландшафтного забезпечення подорожного простору, наявності благоустрою та інформативності, відповідного нормативного транспортно-експлуатаційного стану дороги і дорожніх споруд, наявності та відповідних естетичних вимог до придорожніх насаджень, чистоти придорожньої смуги відведення, тощо. Привабливий ландшафт, плавна траса та виразні інформаційно-естетичні якості дороги не викликають перевтоми водіїв, сприяють отриманню позитивних емоцій, тим самим забезпечують передумови щодо попередження скоєння дорожньо-транспортних пригод.

Мета і методи. Застосування нових для дорожньої науки методів дослідження зажадало експериментальних пошуків показників, які відображають стан водія і процес сприйняття ним дорожніх умов. Насамперед були використані показники, які застосовуються в інженерній психології і показність яких визнається психологами, фізіологами і медиками. Контроль за транспортним рухом, оцінка дорожньо-транспортної ситуації повністю лежать на людині. Але вся сенсорна система, всі психічні функції людини формуються під впливом надходження до нього інформації та необхідної швидкості реакції у відповідь. Сенсорні і моторні можливості людини перевищують практично необхідні, створюючи певний запас у швидкості прийому інформації та швидкості реагування на неї, що дозволяє йому чинити опір зовнішньому середовищу в екстремальних умовах. *Зовнішнє середовище являє собою інформаційне поле, яке формує у водія емоційне напруження. Водій, аналізуючи дорожню ситуацію, обирає такі дії, які забезпечують безпеку руху і мінімальне емоційне напруження.*

Проблемою людського фактору в забезпеченні безпеки руху, з'ясуванню механізмів та визначенню обставин сприйняття і переробки водієм інформації про дорожню обстановку, встановленню міри впливу зовнішнього середовища на продуктивність і надійність діяльності водія, розробці показників і методів, що дозволяють враховувати психофізіологічні можливості водія, вивченню впливу естетичних якостей доріг на безпеку дорожнього руху посвячені наукові праці видатних вчених: О.К. Бируля, В.Ф. Бабкова, А.П. Васільєва, Е.В. Гаврилова, М.М. Девятова, Е.М. Лобанова, Н.П. Орнатского, С.А. Трескинского, Я.В. Хом'яка та інших.

Дослідження причин аварійності на автомобільних дорогах показує вирішальну роль дорожніх умов у забезпеченні безпеки руху, чим вище інтенсивність і швидкість транспортного руху, тим ця роль значніша. Інженерний аналіз даних обліку дорожньо-транспортних пригод свідчить, про те що людський фактор є причиною тільки одної третини від усієї кількості пригод, але навіть і ця цифра представляється завищеною.

Слід також розрізняти технічну та психологічну сторони забезпечення безпеки руху. Перша досліджується вже багато років, що призвело до створення досить досконалих методів, які використовуються при проектуванні доріг та організації руху. Критерії психологічної сторони забезпечення безпеки транспортного руху на даний час досліджені недостатньо.

Метою роботи є розробка методики кількісної оцінки естетичного стану автомобільних доріг загального користування за рівнями естетичної привабливості.

Об'єктом дослідження є автомобільні дороги загального користування України та їх придорожній простір.

Результати і пояснення. Під час керування транспортним засобом водієві доводиться безпосередньо стикатися з факторами емоційної напруги: небезпечна ситуація на дорозі, вимушене екстрене гальмування, під'їзд до перехрестя з інтенсивним рухом тощо. Досвідчені, впевнені водії діють в небезпечній ситуації вправно і швидко. На противагу їм недосвідчені водії проявляють розгубленість, не виконують необхідних дій або діють поспішно і нерозумно. Відомо що висока працездатність водія забезпечує його професійну надійність. Зниження працездатності водія може призвести до небезпечних прийомів керування транспортним засобом і, як наслідок, до ДТП. Надійність водія залежить і від його емоційного стану. Під впливом позитивних емоцій настрій людини стає бадьорим, її дії – впевнені, реакція швидка, а рух – координований. Негативні емоції (депресивний стан, важкі переживання) діють протилежно, викликаючи розгубленість і неуважність.

Якщо дорога раціонально вписана в ландшафт місцевості, видимість її забезпечена на великій відстані, при цьому досягнута зорова плавність, є внаявності та в доброму стані облаштування та озеленення, незабруднений придорожній простір, забезпечена можливість для пасажирів і водіїв милуватися красою пейзажу з яким поєднується дорога, присутня позитивна зміна вражень, то можна вважати, що задовольнивши естетичним вимогам, ми одночасно сприяли і психологічній безпеці тобто безпеці дорожнього руху. З естетичної точки зору дорогу можна назвати задовільною, якщо вона гармонійно поєднується з місцевістю, розкриває красу і різноманітність ландшафту і благотворно впливає на формування позитивного настрою у водія і пасажирів.

З першої половині минулого століття використовується поняття - ландшафтне проектування автомобільних доріг, яке успішно розвивається і вдосконалюється, займає провідне місце у світовій практиці дорожнього проектування. Визнано, що вдале поєднання дороги з ландшафтом, естетизація придорожньої смуги знижує стомлюваність водіїв, сприяє поліпшенню зручності та безпеки руху.

Ще з середини XX століття сформульовані дві основні вимоги до архітектурної організації автомобільних доріг: дорога з усіма складовими її елементами повинна скласти єдину архітектурну споруду; дорога, як цілісна архітектурна споруда, повинна правильно поєднуватися з навколишнім ландшафтом. Удосконалюючи принципи і методи ландшафтного проектування, особливу увагу в остане десятеліття стали приділяти зовнішньому вигляду доріг. Системи технічної естетики, ландшафтного проектування та ландшафтної архітектури складають систему проектування архітектурно-ландшафтного благоустрою автомобільних доріг.

Діюча нині система оцінки споживчих властивостей автомобільних доріг складається з дев'яти показників, які визначають вимоги користувачів до автомобільної дороги, як до об'єкта громадянських прав [5]. За положеннями зазначеного нормативного документа естетичний стан автомобільних доріг залежить від психофізіологічного сприйняття його користувачами, естетичної цілісності навколишнього ландшафту, транспортно-експлуатаційного стану дороги і дорожніх споруд, чистоти зовнішнього середовища тощо.

Для реалізації естетичних вимог користувачів автомобільних доріг необхідно уникати порушень естетичної цілісності ландшафту та впровадження чужорідних форм елементів в природний ландшафт. За положеннями [5] не всі показники піддаються кількісні оцінці, до яких належать наступні показники: рівень обслуговування учасників дорожнього руху, інформаційне забезпечення та естетичний стан дороги.



Рисунок 1 – Естетично привабливі ділянки автомобільних доріг.
Figure 1 – Aesthetically attractive road sections.

Визначення естетичного стану мережі автомобільних доріг, окремої автомобільної дороги чи ділянки дороги за рівнями естетичної привабливості проводиться при оглядах та обстеженнях [1,7]. Огляди та обстеження виконуються експертною комісією або спеціалізованими організаціями візуально з використанням засобів для отримання фото чи відео зображення, як портативних (переносних) так і встановлених на пересувні дорожні-лабораторії згідно вимог [6]

Для кількісної оцінки естетичного стану автомобільних доріг за рівнями естетичної привабливості пропонується використовувати метод порівняння значень відповідних показників, що характеризують естетичний стан доріг з допустимими значеннями (нормативним вимогами) за критерієм відсутності або наявності зазначених показників та їх відхилень.

Методика з оцінки естетичного стану автомобільної дороги та придорожнього простору складається з комплексу наступних показників за їх групами:

$$Ек = 1{,}0Рекс + 0{,}4Рблг + 0{,}6Роз / 2, \quad (1)$$

де: *Рекс* – техніко-експлуатаційні показники та елементи дороги;
Рблг − естетичний стан архітектурно-ландшафтного забезпечення та благоустрою;
Роз – естетичний стан озеленення.

Група показників, що стосуються оцінки техніко-експлуатаційних властивостей та елементів дороги складається з:

$$Рекс = P'1 + P'2 + P'3 + P'4 + P'5, \quad (2)$$

де *P'1* – техніко-експлуатаційний стан дорожнього покриття;
P'2 − техніко-експлуатаційний стан земляного полотна;
P'3 − техніко-експлуатаційний стан засобів організації дорожнього руху;
P'4 − техніко-експлуатаційний стан інженерне облаштування дороги;
P'5 – наявність засмічення та забруднення на поїзній частині і смузі відведення.

Техніко-експлуатаційний стан дорожнього покриття повинен відповідати нормативним вимогам що пред'являються до наявності руйнувань та деформацій дорожнього одягу, наявності ремонтних карт на покритті та його однорідності. Стан земляного полотна складається з відповідності нормативним вимогам щодо: укосів насипу та виїмок, розділювальної смуги та узбіччям (укріплення, якість планування та вертикальної відстань відносно проїзної частини). Технічно-експлуатаційний стан засобів організації дорожнього руху складається з наявності та стану дорожньої розмітки, знаків та огородження тощо. Стан інженерне облаштування дороги при його наявності, повинен відповідати нормативним вимогам що висуваються засобам освітлення, технологічного зв'язку, споруди водовідводу, примусового зниження швидкості руху тощо.

Вагомість впливу показників, що відповідає за технічно-експлуатаційний властивості основних елементів або контрольованих показників автомобільної дороги на загальну оцінку естетичного стану визначається за даними таблиці 1.

Таблиця 1 – Вагомість техніко-експлуатаційних показників та елементів автомобільної дороги
Table 1– Importance of technical and operational indicators and elements of the road.

Елементи чи контрольовані показники автомобільної дороги, що підлягають визначенню	Коефіцієнт вагомості, α
Дорожнє покриття	1,0
Земляне полотно	0,6
Засоби організації дорожнього руху	0,8
Інженерне облаштування дороги	0,5
Засмічення та забруднення	0,7

Оцінка показників техніко-експлуатаційного стану дорожнього покриття автомобільної дороги наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 − Показники техніко-експлуатаційного стану дорожнього покриття.
Table 2− Index estechnical operational condition of the road surface.

Оцінка	Показники техніко-експлуатаційного стану дорожнього покриття
Бал “5” (відмінно)	Дорожнє покриття повністю відповідає всім нормативним техніко-експлуатаційним показникам таким як: міцність, рівності, зчіпним якостям, без дефектів [1,2,4] та геометричним значенням [3].
Бал “4” (добре)	Дорожнє покриття відповідає техніко-експлуатаційним показникам: коефіцієнт рівності не менше 2 [1], відносний коефіцієнт зчеплення не менше 1,1 [1], коефіцієнт міцності не менше 1,2 [4], рівень дефектності не перевищує 10% [2], окремі геометричні значення відхилені не більш ніж на 5% [3].
Бал “3” (задовільно)	Дорожнє покриття частково відповідає техніко-експлуатаційним показникам: коефіцієнт рівності не менше 1,5 [1], відносний коефіцієнт зчеплення не менше 1 [1], коефіцієнт міцності не менше 1,0 [4], рівень дефектності не перевищує 25% [2], окремі геометричні значення відхилені не більш ніж на 10% [3].
Бал “2” (незадовільно)	Дорожнє покриття не відповідає техніко-експлуатаційним нормам: коефіцієнт рівності менше 1 [1], відносний коефіцієнт зчеплення менше 1 [1], коефіцієнт міцності менше 0,9 [4], рівень дефектності перевищує 50% [2], геометричні значення відхилені більш ніж на 10% [3].

Оцінка показників техніко-експлуатаційного стану земляного полотна автомобільної дороги наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 − Показники техніко-експлуатаційного стану земляного полотна.
Table 3 – Index estechnical operating condition of the ground surface.

Оцінка	Показники техніко-експлуатаційного стану земляного полотна
Бал “5” (відмінно)	Земляне полотно повністю відповідає нормативним значенням щодо техніко-експлуатаційним показникам [1,3].
Бал “4” (добре)	Земляне полотно не повністю відповідає нормативним значенням техніко-експлуатаційних показників та відхилені не більш ніж на 5%.
Бал “3” (задовільно)	Земляне полотно не повністю відповідає нормативним значенням техніко-експлуатаційних показників та відхилені не більш ніж на 10%.
Бал “2” (незадовільно)	Земляне полотно не відповідає нормативним значенням техніко-експлуатаційних показників та відхилені більш ніж на 10%.

Оцінка показників техніко-експлуатаційного стану засобів організації дорожнього руху автомобільної дороги наведено в таблиці 4.

Таблиця 4 − Показники техніко-експлуатаційного стану засобів організації дорожнього руху.
Table 4 – Index estechnical operational condition of means of traffic management.

Оцінка	Показники техніко-експлуатаційного стану засобів організації дорожнього руху
Бал “5” (відмінно)	Стан засобів організацій дорожнього руху відповідає всім нормативним вимогам [3, 6].
Бал “4” (добре)	Стан засобів організацій дорожнього руху не відповідає нормативним вимогам на 90%.
Бал “3” (задовільно)	Стан засобів організацій дорожнього руху не відповідає нормативним вимогам на 75%.
Бал “2” (незадовільно)	Стан засобів організацій дорожнього руху не відповідає нормативним вимогам на 50%.

Оцінка показників техніко-експлуатаційного стану інженерного облаштування автомобільної дороги наведено в таблиці 5.

Таблиця 5 − Показники техніко-експлуатаційного стану інженерного облаштування дороги.
Table 5 – Index estechnical operational condition of road engineering.

Оцінка	Показники техніко-експлуатаційного стану інженерного облаштування дороги
1	2
Бал “5” (відмінно)	Стан інженерного облаштування дороги відповідає всім нормам [3].
Бал “4” (добре)	Стан інженерного облаштування дороги не відповідає нормативним вимогам на 90%.
Бал “3” (задовільно)	Стан інженерного облаштування дороги не відповідає нормативним вимогам на 75%.
Бал “2” (незадовільно)	Стан інженерного облаштування дороги не відповідає нормативним вимогам на 50%.

Оцінка показників естетичного стану, щодо наявності засмічення та забруднення на поїзній частині і смузі відведення автомобільної дороги наведено в таблиці 6.

Група показників, що відповідає за естетичний стан архітектурно-ландшафтного забезпечення та благоустрою дороги складається з:

$$Рблг = P''1 + P''2 + P''3 + P''4 + P''5, \quad (3)$$

де $P''1$ – естетичний стан лінійних будівель та споруд в межах смуги відведення на автомобільної дороги [3];

$P''2$ − естетичний стан та оформлення майданчиків відпочинку, автобусних зупинок та туалетів [3];

P"3 − стан і зовнішній вигляд, а також ступінь архітектурної виразності мостових переходів, шляхопроводів і перетинань у різних рівнях [3];

P"4 – стан і зовнішній вигляд будівель і споруд з обслуговування учасників дорожнього руху;

P"5 – розміщення і стан пам'ятників та монументального оформлення дороги.

Таблиця 6 − Показники щодо наявності засмічення та забруднення.

Table 6 − Indicators regarding the presence of clogging and pollution.

Оцінка	Показники наявності засмічення та забруднення
Бал “5” (відмінно)	Поїзна частина очищена від бруду і снігу. Узбіччя очищені від сміття та снігу. Смуга відведення очищена від сміття.
Бал “4” (добре)	Поїзна частина очищена від бруду та снігу на 90%. Узбіччя очищені від сміття на 90% та снігу на 80%. Смуга відведення очищена від сміття на 80%.
Бал “3” (задовільно)	Поїзна частина очищена від бруду та снігу на 80%. Узбіччя очищені від сміття та снігу на 70%. Смуга відведення очищена від сміття на 70%.
Бал “2” (незадовільно)	Поїзна частина не очищена від бруду та снігу. Узбіччя не очищені від сміття та снігу . Смуга відведення не очищена від сміття.

Під архітектурно-ландшафтним забезпеченням та благоустроєм дороги розуміють: дотримання вимог щодо поєднання елементів траси в просторі, відносно її плавності і ясності напряму для водія, зручності та безпеки дорожнього руху; сукупність систем зорових орієнтирів, які дозволяють водіям передбачити ситуацію на великій відстані, в тому числі за межами видимості, зміни напрямку дороги і дорожніх умов, можливість вибрати безпечний режим руху; вписування дороги і всіх її елементів в ландшафт для поліпшення зручності руху і розкриття краси навколишньої місцевості; стан і зовнішній вигляд майданчиків відпочинку, автобусні зупинки, розміщення і стан монументального оформлення дороги; стан і зовнішній вигляд, ступінь архітектурної виразності мостових переходів, шляхопроводів і перетинань у різних рівнях; стан і зовнішній вигляд будівель та споруд дорожньої служби, будівель з обслуговування учасників дорожнього руху тощо.

Вагомість впливу показників архітектурно-ландшафтного забезпечення та благоустрою на загальну оцінку естетичного стану визначають за даними таблиці 7.

Таблиця 7 − Вагомість впливу архітектурно-ландшафтних показників автомобільної дороги.

Table 7 − Weight of influence of architectural and landscape indicators of the road.

Елементи чи контрольовані показники автомобільної дороги, що підлягають визначенню	Коефіцієнт вагомості, α
Лінійні будівлі та споруди	1,0
Майданчики відпочинку, автобусні зупини та туалети	0,8
Мостові переходи і перетинань у різних рівнях	0,7
Будівлі і споруди обслуговування учасників дорожнього руху	0,6
Пам'ятники та монументальне оформлення дороги	0,5

Група показників, що відповідає за естетичний стан озеленення складається:

$$Роз = P'''1 + P'''2 + P'''3, \quad (4)$$

де $P'''1$ – наявність, та естетично-декоративний стан, рівень оформлення дороги за допомогою посадок озеленення [3,7];

$P'''2$ – наявність та стан порослі і чагарникової рослинності на узбіччі, відкосах та смузі відведення [7];

$P'''3$ − наявність та стан трав'яної рослинності на узбіччі, відкосах та смузі відведення [7].

Ще одна важлива складова естетичних властивостей доріг, це наявність та стан придорожніх насаджень. Декоративні якості придорожньої рослинності оцінюють за ступенем їх впливу на водіїв, на траєкторію і режими руху, а також як естетичної складової дороги. Посадки дерев, які призначені для зорового орієнтування, можуть бути розбиті на три групи: напрямні, бар'єрні і декоративні. Напрямні посадки вказують на зміну напряму руху, здалеку підказують водію ступінь крутизни повороту. Вони можуть бути тільки лінійними, розташованими паралельно осі проїзду, за межами земляного полотна. Бар'єрні посадки підказують водієві неможливість продовжувати рух у тому ж напрямку, вони потрібні головним чином на перехрестях, зупинках автобусів, транспортних розв'язках, але можуть бути використані і на майданчиках відпочинку і в комплексах обслуговування учасників дорожнього руху.

Вагомість впливу показників що характеризують естетичний стан озеленення на загальну оцінку естетичного стану визначають за даними таблиці 8.

Таблиця 8 – Вагомість впливу естетичного стану озеленення автомобільної дороги.

Table 8 – Weight of the influence of the aesthetic condition of landscaping of the highway.

Елементи чи контрольовані показники автомобільної дороги, що підлягають визначенню	Коефіцієнт вагомості, α
Естетично-декоративний стан посадок озеленення	0,8
Поросль і чагарникова рослинність	1,0
Наявність трав'яної рослинності	0,7

Декоруючі або акцентуючі посадки дерев та чагарників мають за ціль не допустити відволікання уваги водія від найбільш важливої або потенційно небезпечної частини дороги або ж, навпаки, привернути увагу, акцентувати його на точках, важливих або для безпеки руху, або для архітектурної організації дороги. Окремо виділяють снігозахістні посадки дерев та чагарнику що можуть бути поєднані з напрямними посадками.

Визначення та оцінка естетичного стану автомобільної дороги (ділянки дороги) здійснюється:

– за окремою групою кожного елементу та показнику;

– за всіх елементами та показниками з урахуванням їх диференційованої вагомості.

Як що при оцінці естетичного стану один з елементів або показників відсутній його значення приймається за «нуль».

Естетична якість окремого (*i*-го) елементу чи контрольованого показника автомобільної дороги або ділянки дороги (P_1) визначається за формулою (6).

$$P_1 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} K_i, \quad (5)$$

де: n – загальна кількість ділянок;

K_i – оцінка окремого елементу чи показника на *i*-ій ділянці дороги.

Загальний показник естетичного стану автомобільної дороги або ділянки дороги визначається за формулою (7):

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i \cdot \alpha_i}{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i}, \quad (6)$$

де: P_i – якість *i*-го елементу чи контрольованого показника автомобільної дороги;

α_i – коефіцієнт вагомості *i*-го елементу чи контрольованого показника автомобільної дороги;

n – кількість елементів чи контрольованих показників, що оцінюються.

Якщо один з елементів або показників дороги, коефіцієнт вагомості якого має значення 0,7 і вище, чи два елемента, що мають значення коефіцієнта вагомості менше 0,7, оцінені незадовільно, то автомобільна дорога або ділянка дороги в цілому оцінюється незадовільно, в “2” бали.

Оцінка естетичного стану доріг за рівнями естетичної привабливості визначається відповідно до середньозважених значень оцінок естетичного стану елементів та показників автомобільної дороги або ділянки дороги, які отримані при розрахунках та наведені в таблиці 9.

Таблиця 9 – Оцінка естетичного стану доріг за рівнями естетичної привабливості.

Table 9 – Assessment of the aesthetic condition of roads by levels of aesthetic appeal.

Середньозважені значення оцінки естетичної якості, бал	Рівні естетичної привабливості доріг
від 4,51 до 5,00 – (“5”) відмінно	високий
від 3,51 до 4,50 – (“4”) добре	середній
від 3,00 до 3,50 – (“3”) задовільно	допустимий
менше 3,00 – (“2”) незадовільно	недопустимий

Висновки. Для підвищення безпеки руху на автомобільній дорозі, при проектуванні нових та ремонті або реконструкції існуючих доріг необхідно враховувати не тільки технічний рівень, експлуатаційний стан, необхідність застосування та наявність інженерного облаштування, засобів організації дорожнього руху, озеленення дороги, архітектурно-ландшафтного забезпечення та благоустрою а також і вимоги користувачів до показників естетичних якостей доріг. За результатами дослідження запропоновані наступні рекомендації: для кількісній оцінки естетичного стану автомобільних доріг за рівнями естетичної привабливості можливо використовувати методику яка пропонується; для забезпечення естетичних якостей автомобільних доріг потребує максимальне застосування елементів та засобів щодо архітектурно-ландшафтного забезпечення та благоустрою та безпеки руху, які передбачені законодавчими актами, нормами та правилами; при оформлені зупинок

громадського транспорту, майданчиків відпочинку тощо, пропонується використовувати народно-етнічні мотиви та елементи напрямків промислів регіону в якому проходить дорога; при проектуванні доріг максимально використовувати привабливі природно-ландшафтні та туристичні об'єкти, культурно-історичні пам'ятки, тощо; передбачити більш жорсткі вимоги законодавчих актів щодо підвищення міри покарання за допущення засмічення смуги відведення автомобільних доріг.

Перелік посилань

1. ДСТУ 3587:2022 Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. [Чинний від 2022-01-12]. Київ, 2022. 40с.

2. ДСТУ 8954:2019 Автомобільні дороги. Оцінювання рівня дефектності дорожнього одягу. [Чинний від 2019-01-12]. Київ, 2019. 46с.

3. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. затверджений наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово господарства України. від 21.09.2015 № 234. Київ, 2015. 98с.

4. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. затверджений наказом Міністерства інфраструктури України від 22.02.2019 №120. Київ, 2019. 63с.

5. СОУ 45. 2-00018112-077:2012 Автомобільні дороги. Споживчі властивості автомобільних доріг загального користування. Київ: Укравтодор, 2012. 28с.

6. СОУ 45.2-00018112-080:2011 Автомобільні дороги. Оцінка та реєстрація стану дорожніх покриттів та технічних засобів автомобільних доріг автоматизованими системами відеодіагностики. Київ: Укравтодор, 2011. 31с.

7. П Г.1-218-113-2009. Технічні правила ремонт та утримання доріг загального користування України. Київ: Укравтодор, 2009. 82с.

METHODOLOGICAL ASPECTS REGARDING THE EVALUATION OF AESTHETIC QUALITIESOF AUTOMOBILE ROADS

Ihor Kiyashko, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor of the Kharkiv National Automobile and Road University, Professor of the Department of Highway Construction and Operation, 25 Yaroslav Mudry Street, Kharkiv, Kharkiv Region, 61002,e-mail:kiv62@ukr/net,tel. +380501784044, http://orcid.org/0000-0002-3250-0996

Summary. In Articlethe existing system of evaluating the consumer properties of roads was analyzed, while the indicators that are not subject to quantitative assessment were identified, which also include the aesthetic qualities of roads. The influence of the roadside space, including the aesthetic qualities of the roads, on the users of road services is considered.It is analyzed in the workthe share of the influence of the human factor in ensuring traffic safety, the speed of processing by the driver of information about the road situation, the impact of ergonomics and aesthetics of road conditions on the productivity and reliability of the driver's activity, which allows taking into account the psychophysiological capabilities of the driver when designing highways and organizing traffic on the existing road network. For the quantitative assessment of the aesthetic condition of highways, it is proposed to use the method of comparing the corresponding ones values of indicators characterizing the aesthetic condition of roads with permissible values (normative requirements) based on the criterion of the absence or presence of the indicated indicators and their deviations. If one of the indicators does not correspond to the permissible value, defects are determined according to the level of aesthetic appeal, which are evaluated by the corresponding points. The methodology for assessing the aesthetic condition of the road and roadside space consists of a set of the following indicators in three groups: technical

and operational indicators and road elements; architectural and landscape support and beautification; availability and condition of landscaping. The assessment of the aesthetic condition of roads according to the levels of aesthetic appeal is determined according to the weighted average values of the assessment of the aesthetic condition of the elements or indicators of the road in points obtained by calculations.

Keywords: aesthetic condition, survey of roads, technical and operational indicators, architectural and landscape support, landscaping, level of aesthetic appeal.

References

1. DSTU 3587:2022 Road traffic safety. Roads, streets and railway crossings.[Valid from 2022-01-12]. Kyiv, 2022. 40 p.

2.DSTU 8954:2019 Roads. Evaluation of the level of defectiveness of road clothing.[Valid from 2019-01-12]. Kyiv, 2019. 46p.

3. DBN V.2.3-4:2015 Motor roads. Part I. Design. Part II. Construction. approved by order of the Ministry of Regional Development, Construction and Housing of Ukraine. dated 09/21/2015 No. 234. Kyiv, 2015. 98 p.

4. GBN V.2.3-37641918-559:2019 Motor roads. Road clothes are not stiff. Designing. approved by order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine dated February 22, 2019 No. 120. Kyiv, 2019. 63 p.

5. SOU 45. 2-00018112-077:2012 Motor roads. Consumer properties of public highways. Kyiv: Ukravtodor, 2012. 28p.

6. SOU 45.2-00018112-080:2011 Motor roads. Evaluation and registration of the state of road surfaces and technical means of highways by automated video diagnostic systems. Kyiv: Ukravtodor, 2011. 31p.

7. P G.1-218-113-2009. Technical rules for repair and maintenance of public roads of Ukraine. Kyiv: Ukravtodor, 2009. 82p.

УДК 691.322.7 **DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-084-095**
UDK 691.322.7

ЗАСТОСУВАННЯ ВІДСІВІВ КАМЕНЕПОДРІБНЕННЯ В ЯКОСТІ ДРІБНОГО ЗАПОВНЮВАЧА ТОВАРНОГО БЕТОНУ

UTILIZING GRANITE CRUSHED STONE SCREENINGS AS FINE AGGREGATE FOR COMMERCIAL CONCRETE



Кузло Микола Трохимович, *доктор технічних наук, професор, Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне), завідувач кафедри автомобільних доріг, основ і фундаментів, e-mail: kuzlo-@ukr.net, тел. +380966890792,*

https://orcid.org/0000-0001-9242-2478



Скрипник Микола Михайлович, *кандидат технічних наук, Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне), старший викладач кафедри автомобільних доріг, основ і фундаментів, e-mail: m.m.skrypnyk@nuwm.edu.ua, тел.+380966558818*

https://orcid.org/0000-0003-4947-3477

Анотація. В роботі розглянуто актуальну проблему сьогодення для промислового комплексу та будівельної галузі України, а саме забезпечення раціонального застосування матеріалів та енергоресурсів. До 50% матеріальних ресурсів, що споживає будівельна галузь припадає на продукцію промислових нерудних матеріалів (щебінь та пісок). Технологія переробки природного каменю на кінцеві продукти супроводжується виходом 25-30% відходів кам'яних відсівів каменеподрібнення. Велику кількість відсівів направляють у відвали. Досить потужні відвали відсівів накопичені на кар'єрах Рівненської обл. Перешкодою для широкого використання відсівів подрібнення є перш за все велика кількість частинок менше 0,16 мм, яка у вивержених гірських породах може досягати 25%, в тому числі глинистих частинок, які визначаються методом відмулювання – до 12%, що тягне за собою збільшення водопотреби від 9 до 18 % і перевитрати цементу до 20%, а також неправильна форма зерен і шорстка поверхня.

Поряд з цим будівельна галузь відчуває гостру потребу в кондиційних заповнювачах. Зокрема, в Рівненській області піски для бетонів і розчинів переважно дрібні, що викликає значну перевитрату цементу при виготовленні бетону.

У статті запропоновано ефективний шлях вирішення цієї проблеми, а саме забезпечення безвідходного застосування кам'яних відсівів, при виготовленні важкого бетону. Впроваджуються

також технології збагачення відсівів і вироблення на їх основі штучного піску. Досліджено, що підвищений вміст частинок менше 0,16 мм в ряді випадків може створювати позитивний вплив.

Ключові слова: гранітний відсів, природній пісок, суперпластифікатор.

Вступ. Використання в якості заповнювача цементних бетонів відходів переробки гірських порід на щебінь (відсівів) мало практикується через наявність у їх гранулометричному складі значної кількості (до 20 %) пилуватих частинок, які підвищують водопотребу бетонної суміші. Навіть при видаленні цих частинок, відсіви не можуть бути використані для отримання звичайним способом якісних бетонів через високий вміст лещадних та голчатих зерен [1] та відсутності зерен середніх фракцій (0,63…0,315 мм). Через це вони здебільшого використовуються як добавка у дрібні піски, а також в дорожньому будівництві – як заповнювач асфальтових бетонів та як матеріал для влаштування основ дорожніх покриттів [2, 3].

На окремих підприємствах за допомогою спеціалізованих комплексів проводиться класифікація відсівів за фракціями. Однак ця технологія є досить енергоємною. В даний час актуальним є завдання комплексного вивчення відсівів подрібнення різних порід із метою широкого їх застосування в будівництві.

Основними споживачами на даний момент є дорожньо-будівельні організації. Застосування відсівів подрібнення в дорожньому будівництві відображено в ряді діючих нормативних документів [4]. В основному відсіви подрібнення використовують для приготування асфальтобетонних сумішей, що дає можливість значно знизити вартість будівництва. Піски із відсівів подрібнення успішно застосовуються для будівництва автомобільних доріг в США, Німеччині та низці інших країн. Крім того, відсіви подрібнення із вивержених гірських порід, можуть застосовуватися для приготування піщаних сумішей, оброблених цементом і для пристрою дренуючих та протиморозних шарів, а також як посипання при ожеледиці [5].

Використання пісків із відсівів подрібнення передбачено ДСТУ Б В.2.7-210:2010 «Пісок із відсівів подрібнення вивержених гірських порід для будівельних робіт» [6]. У бетонах різного призначення відсіви, велика частина яких відноситься до крупних і дуже крупних пісків (із модулем крупності $M_{кр}$ = більше 2,5 до 3,2 – 3,6), застосовуються як укрупнююча добавка до природних дрібних і дуже дрібних пісків. Така укрупнююча добавка дає можливість замінити до 50 % піску відсівами подрібнення і знизити витрату в'яжучого на 15 – 20 %.

Згідно [6] за погодженням зі споживачем виробники піску з відсівів можуть постачати матеріал з підвищеним вмістом пилуватих і глинистих домішок. За умови, що дані домішки представлені більше пилуватими частинками вихідних гірських порід і не містять значної кількості глини, використання таких відсівів можливе, однак більш раціонально одночасно використовувати методи, що дозволяють нівелювати негативний вплив дисперсних частинок на водопотребу бетонної суміші.

Перспективним, на думку багатьох дослідників, є використання відсівів в якості дрібного заповнювача для бетонів після додаткової переробки – збагачення з виділенням частинок менше 0,16 мм, а в деяких випадках також частинок менше 0,315 мм. Однак також відзначено погіршення морозостійкості бетонів на митих відсівах подрібнення. За іншими даними міцність бетонів на відсівах подрібнення практично не відрізняється від міцності бетону на природному кварцовому піску [7].

Матеріали та методи дослідження. В дослідах використовувався портландцемент ПЦ II/А-Ш-500Р-Н (ПРАТ «Дікергофф Цемент Україна»), добавка суперпластифікатор нафталін формальдегідного типу (СП-1), добавка лігносульфонатного типу (ЛСТМ) та полікарбоксилатного

типу (Melflux 2651F), а також мінеральна добавка – зола виносу з Ладижинської ТЕС. В якості дрібного заповнювача застосовували пісок Славутського родовища з $М_{кр}$=1,68 та незбагачені відсіви подрібнення граніту з $М_{кр}$=3,23 та вмістом частинок <0,16 мм 17% з Клесівського родовища.

Метою роботи є обґрунтування застосування відсівів подрібнення граніту із значним вмістом частинок <0,16 мм в якості дрібного заповнювача важкого бетону або часткової його заміни.

Виклад основного матеріалу. Визначення можливості використання гранітних відсівів в якості заповнювача важкого бетону для заміни частки природного піску було проведено плановий експеримент за планом $В_3$. Умови планування експерименту наведені в табл.1.

В якості варійованих факторів прийняті наступні:

X_1 – водоцементне відношення (В/Ц);

X_2 – частка відсіву ($n_в$) ,% від маси дрібного заповнювача;

X_3 – частка дрібного заповнювача в суміші заповнювачів (r), %.

Таблиця 1 – Умови планування експерименту

Table 1 – Experiment planning conditions

№	Фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	Натуральні	Кодовані	-1	0	1	
1	Водоцементне відношення (В/Ц)	X_1	0,35	0,4	0,45	0,05
2	Частка відсіву($n_в$) ,% від маси дрібного заповнювача	X_2	0	50	100	50
3	Частка дрібного заповнювача в суміші заповнювачів (r), %	X_3	30	45	60	15

Математичні моделі:

$$Rст_7 = 38{,}74 - 2{,}48x_1 - 1{,}39x_2 - 5{,}18x_3 + 3{,}28x_{12} - 0{,}6x_{22} + 0{,}61x_{32} + 4{,}2x_1x_2 + 0{,}11x_1x_3 - 1{,}06x_2x_3$$

$$Rст_{28} = 41{,}34 - 11{,}41x_1 - 2{,}1x_2 - 3{,}9x_3 + 6{,}22x_{12} - 2{,}34x_{22} + 0{,}18x_{32} + 2{,}22x_1x_2 + 1{,}9x_1x_3 - 2{,}67x_2x_3$$

$$\rho = 2{,}33 + 0{,}007x_1 + 0{,}018x_2 - 0{,}034x_3 + 0{,}027x_{12} - 0{,}013x_{22} + 0{,}01x_{32} + 0{,}019x_1x_2 + 0{,}014x_1x_3 - 0{,}008x_2x_3$$

Провівши аналіз математичних моделей міцності бетону у віці 7 діб (рисунку 1) наглядно видно, що при зростанні В/Ц та збільшення частки дрібного заповнювача в суміші заповнювачів міцність бетону на стиск у віці 7 діб спадає. Також до спаду міцності призводить зростання взаємодії факторів: частка відсіву ($n_в$) від маси дрібного заповнювача та частка дрібного заповнювача в суміші заповнювачів (r). Даний ефект обумовлений неоднорідністю бетонної суміші, що призводить до збільшення парового простору між частинками заповнювача, а це в свою чергу до суттєвого зниження міцності бетону.

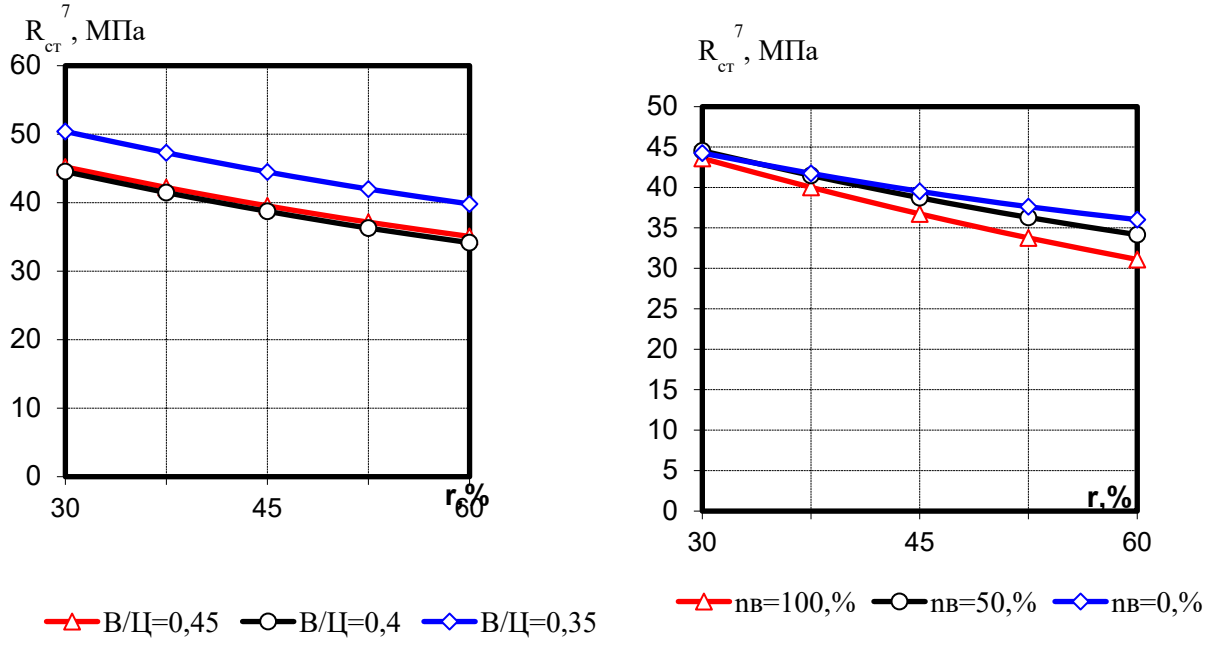


Рисунок 1 – Діаграма впливу технологічних факторів на міцність бетону на стиск у віці 7 діб.

Figure 1 – Diagram of the influence of technological factors on the compressive strength of concrete at the age of 7 days.

На рисунку 2 проілюстровано, що зростання водоцементного відношення та збільшення частки дрібного заповнювача в суміші веде до спаду міцності бетону на стиск у віці 28 діб. Деякий позитивний ефект від часткової заміни піску відсівом спостерігається при збільшенні частки відсіву в заповнювачі від 0% до 50%, при В/Ц=0,45, коли частка дрібного заповнювача в суміші заповнювачів становить 30%. На міцність бетону при стиску найбільший вплив чинить водоцементне відношення та взаємодія $n_в$ та r.

Також слід відмітити вплив частки відсіву ($n_в$) від маси дрібного заповнювача та частка дрібного заповнювача в суміші заповнювачів (r) на густину бетонну. Як видно з рис. 3.3 при збільшенні частки дрібного заповнювача в суміші заповнювачів (r) з 30% до 60% призводить до суттєвого зниження густини бетону з 2380 кг/м^3 до 2300 кг/м^3 і в свою чергу це негативно впливає на міцність бетону у віці 7 і 28 діб. Даний ефект обумовлюється збільшення міжзернового простору між частинками заповнювача за рахунок неоптимального їх компонування.

При збільшенні частки відсіву ($n_в$) від маси дрібного заповнювача у варійованих межах спостерігається певне зростання густини бетону. Це обумовлюється наявністю значної кількості пилуватих частинок у складі відсіву, що дозволяю закуповувати міжзерновий простір. Цей ефект спостерігається лише при використанні добавки суперпластифікатора, за рахунок зниження водопотреби бетонної суміші.

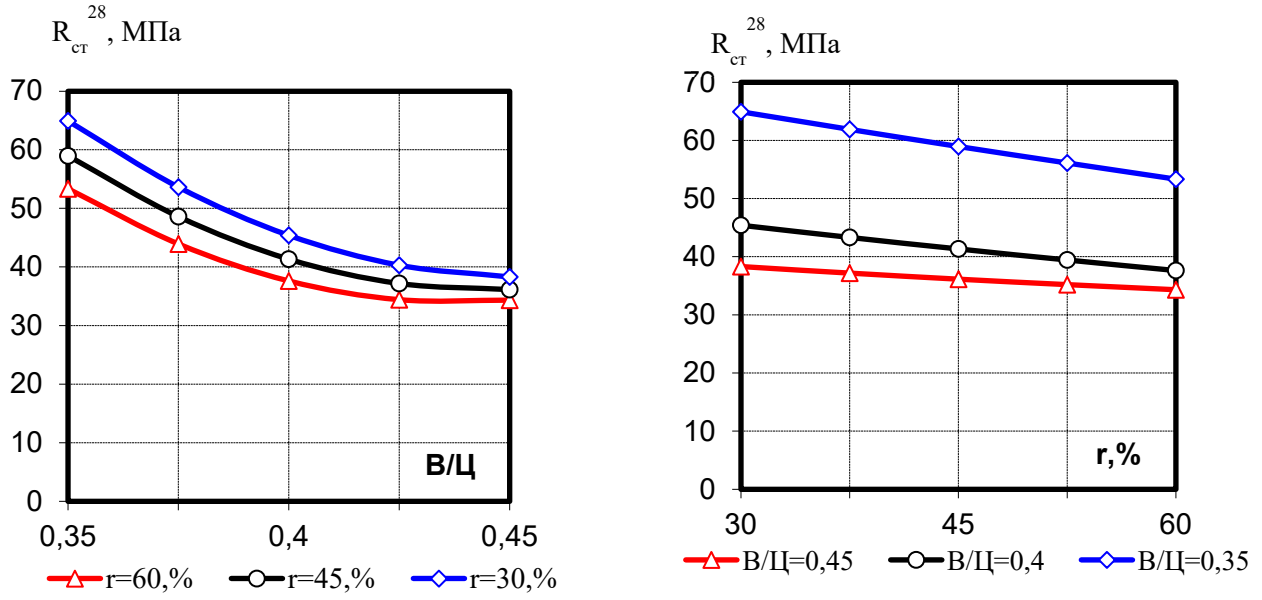


Рисунок 2 – Діаграма впливу технологічних факторів на міцність бетону на стиск у віці 28 діб.
Figure 2 – Diagram of the influence of technological factors on the compressive strength of concrete at the age of 28 days.

Для підтвердження можливості застосування відсівів дроблення граніту як дрібного заповнювача для заміни частки природного щільного піску на підприємстві було проведено ряд досліджень:

1. Визначено модуль крупності та зерновий склад піску та відсіву дроблення граніту.
2. Для покращення показників відсів каменеподрібнення було збагачено шляхом просіювання та відмивання.
3. Виконаний підбір складів бетону на різних варіантах дрібного заповнювача.

Варіанти підборів

1. Бетон з відсівом каменеподрібнення граніту (100%);
2. Бетон з відсівом каменеподрібнення граніту відмитим (100%);
3. Бетон з піском природним щільним (100%);
4. Бетон з відсівом каменеподрібнення граніту (50%) + піском природним щільним (50%);
5. Бетон з відсівом каменеподрібнення граніту відмитим (50%) + піском природним щільним (50%).
6. Бетон з фракціонованим відсівом каменеподрібнення граніту (20%) + піском природним щільним (80%).

На першому етапі дослідження розглядалась можливість повної або часткової заміни піску відсівом каменеподрібнення граніту. Для цього були виконані підбори з повною заміною піску відсівом та підбори з заміною половини піску на відсів. Для чистоти експерименту хімічні добавки на даному етапі не застосовувались, також додатково використовували золу виносу. Результати досліду наведені в таблицях 3-5.

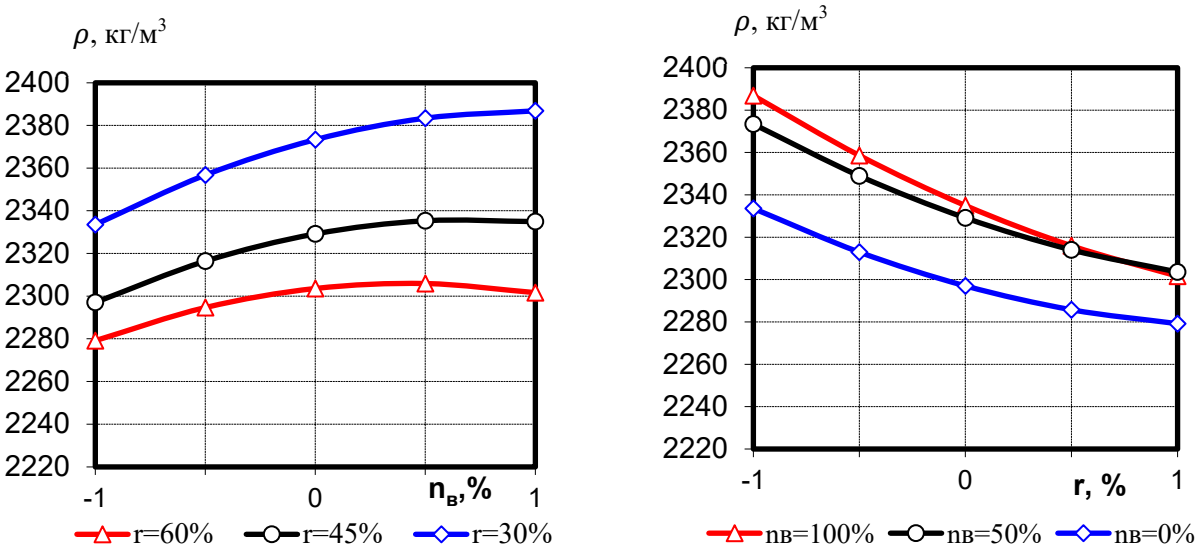


Рисунок 3 – Діаграма впливу технологічних факторів на густину бетону.
Figure 3 - Diagram of the influence of technological factors on the density of concrete.

Таблиця 3 – Склад бетонної суміші (етап 1):
Table 3 – Concrete mix composition (stage 1):

№ п/п	Цемент, кг	Зола виносу, кг	Щебінь 5-20, кг	Дрібний заповнювач, кг			Вода, кг
				Відсів гранітний	Відсів гранітний митий	Пісок кварцовий природній	
1	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***
1.	260	85	1200	670	-	-	180
2.	260	85	1200	-	670	-	180
3.	260	85	1200	-	-	670	170
4.	260	85	1200	335	-	335	175
5.	260	85	1200	-	335	335	175

В результаті проведеного експерименту було отримано такі результати:

- бетонні суміші на відсіві подрібнення граніту володіють поганою зв'язністю, важкоукладальні, мають значне водовідділення та потребують більшої кількості води (5%) для рівнорухомих сумішей у порівнянні з сумішшю на піску;

- бетонні суміші з частковою заміною (50%) піску на відсів володіють дещо кращою зв'язністю, але не достатньою, щоб отримати технологічну суміш, мають незначне водовідділення;

- бетонні суміші з застосуванням відмитого відсіву у порівнянні з іншими мають найбільше водовідділення;

- застосування відсіву дроблення в цілому негативно впливає на міцність бетону, міцність знижується на 16-20% при повній заміні піску відсівом та на 6-12% при використанні суміші (50/50) піску з відсівом.

Таблиця 4 – Характеристика бетонної суміші (етап 1)
Table 4 – Characteristics of the concrete mixture (stage 1)

№ п/п	Назва	Зовнішній вигляд	Осадка конуса, см
1	2	3	4
1.	Бетон з відсівом подрібнення граніту	Бетонна суміш на вигляд щебениста, тяжка у роботі, погана зв'язність суміші	5,5
2.	Бетон з відмитим відсівом подрібнення граніту	Бетонна суміш на вигляд щебениста, тяжка у роботі, погана зв'язність суміші	5,0
3.	Бетон з піском природнім щільним	Бетонна суміш на вигляд має оптимальну кількість піску, зв'язність суміші добра	6,0
4.	Бетон з відсівом подрібнення граніту + піском природнім щільним	Бетонна суміш на вигляд має достатню кількість піску, зв'язність суміші недостатня	5,5
5.	Бетон з відмитим відсівом подрібнення граніту + піском природнім щільним	Бетонна суміш на вигляд має достатню кількість піску, зв'язність суміші недостатня	5,5

Таблиця 5 – Міцність бетону з різними типами дрібного заповнювача (етап 1)
Table 5 – Strength of concrete with different types of fine aggregate (stage 1)

№ п/п	Назва	Після ТВО		28 діб піля ТВО		28 діб твердіння в нормальних умовах	
		МПа	%	МПа	%	МПа	%
1	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***
1.	Бетон з відсівом подрібнення граніту	14,63	93,7	29,65	84,2	30,74	84,6
2.	Бетон з відмитим відсівом подрібнення граніту	14,73	94,4	29,39	83,5	29,02	79,9
3.	Бетон з піском природнім щільним	15,61	100	35,21	100	36,32	100
4.	Бетон з відсівом подрібнення граніту + піском природнім щільним	14,71	94,2	31,97	90,8	31,95	88,0
5.	Бетон з відмитим відсівом подрібнення граніту + піском природнім щільним	15,76	101	34,35	97,6	33,96	93,5

На другому етапі дослідження проведено експеримент із застосуванням в якості дрібного заповнювача суміші піску та відсіву подрібнення граніту з використанням різних типів хімічних добавок (полікарбоксилатної, лігносульфонатної та нафталінформальдегід сульфонатної). Результати досліду наведені в таблицях 6-8.

Таблиця 6 – Склад бетонної суміші (етап 2):
Table 6 – Concrete mix composition (stage 2):

№ п/п	Цемент, кг	Зола виносу, кг	Щебінь 5-20, кг	Хімічна добавка, кг			Дрібний заповнювач, кг			Вода, кг
				MelFlux 2651 f	ЛСТМ	СП 1	Відсів дроблення	Відсів дроблення відмитий	Пісок кварцовий природній	
1	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***	***9***	***10***	***11***
1.	260	85	1220	1,3	-	-	335	-	335	160
2.	260	85	1200	1,3	-	-	-	345	345	155
3.	260	85	1200	-	2,1	-	335	-	335	165
4.	260	85	1200	-	2,1	-	-	335	335	165
5.	260	85	1210	-	-	1,6	335	-	335	162
6.	260	85	1210	-	-	1,6	-	335	335	162

Таблиця 7 – Характеристика бетонної суміші (етап 2)
Table 7 – Characteristics of the concrete mixture (stage 2)

№ п/п	Назва	Зовнішній вигляд	ОК, см
1	***2***	***3***	***4***
1.	Бетон з відсівом подрібнення граніту + пісок природній щільний, хім.доб. полікарбоксилатна	Не вистачає зв'язності бетонної суміші, водовідділення	осипався
2.	Бетон з відсівом подрібнення граніту, відмитим + піском природнім щільним, хім.доб. полікарбоксилатна	Розшарування бетонної суміші, велике водовідділення, біла плівка на поверхні бетону	осипався
3.	Бетон з відсівом подрібнення граніту + піском природнім щільним,хім.доб. ЛСТМ	Бетонна суміш відповідає вимогам	6,5
4.	Бетон з відсівом подрібнення граніту, відмитим + піском природнім щільним ,хім.доб. ЛСТМ	Незначне водовідділення	8,0
5.	Бетон з відсівом подрібнення граніту + піском природнім щільним + хім.доб. нафталінформальдегід сульфонатна	Дещо не вистачає зв'язності бетонної суміші, незначне водовідділення	9,5 (просів)
6.	Бетон з відсівом подрібнення граніту, відмитим + піском природнім щільним, хім.доб. нафталінформальдегід сульфонатна	Не вистачає зв'язності бетонної суміші, водовідділення	осипався

Таблиця 8 – Міцність бетону з різними типами дрібного заповнювача (етап 2)
Table 8 **–** Strength of concrete with different types of fine aggregate (stage 2)

№ п/п	Назва	Після ТВО		28 діб піля ТВО		28 діб твердіння в нормальних умовах	
		МПа	%	МПа	%	МПа	%
1	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***
1.	Бетон з відсівом подрібнення граніту + піском природнім щільним,хім.доб. полікарбоксилатна	27,8	174,8	47,6	135,4	46,5	128,7
2.	Бетон з відсівом подрібнення граніту, відмитим + піском природнім щільним, хім.доб. полікарбоксилатна	26,8	171,6	45,7	129,9	45,0	123,9
3.	Бетон з відсівом подрібнення граніту + піском природнім щільним, хім.доб. ЛСТМ	22,7	145,6	38,6	108,4	37,2	102,4
4.	Бетон з відсівом подрібнення граніту, відмитим + піском природнім щільним,хім.доб. ЛСТМ	22,4	145,7	39,9	112,2	38,1	106,0
5.	Бетон з відсівом подрібнення граніту + піском природнім щільним,хім.доб. нафталінформальдегід сульфонатна	22,7	141,4	42,3	119,6	43,6	120,5
6.	Бетон з відсівом подрібнення граніту, відмитим + піском природнім щільним, хім.доб. нафталінформальдегід сульфонатна	20,2	132,7	38,5	108,3	37,5	102,3

В результаті проведеного експерименту було отримано такі результати:

- – полікарбоксилатний суперпластифікатор внаслідок високої водоредукуючої здатності незадовільно реагує на заміну піску відсівом. Так, при використанні незбагаченого відсіву спостерігається водовідділення, суміш володіє поганою зв'язністю. А при використанні збагаченого відсіву суміш повністю розшаровується, спостерігається значне водовідділення, добавка виділяється на поверхні суміші;
- – при застосуванні лігносульфонату бетонна суміш – технологічна;
- – застосування нафталінформальдегід сульфонатної добавки (СП 1) у бетонних сумішах з відсівом каменеподрібнення спостерігається недостатня зв'язність та незначне водовідділення, а на збагаченому відсіві дані недоліки спостерігаються більш чітко;
- – застосування добавок дещо зменшує негативну тенденцію до зниження міцності, але на перший план виходить технологічність бетонних сумішей при застосуванні відсівів дроблення.

На третьому етапі дослідження проведено експеримент із застосуванням в якості дрібного заповнювача суміші піску (80%) та фракціонованого відсіву каменеподрібнення (0,63-2,5 мм) (20%) з використанням різних типів хімічних добавок (полікарбоксилатної, лігносульфонатної та нафталін формальдегід сульфонатної). Результати досліду наведені в таблицях 9-11.

Таблиця 9 – Склад бетонної суміші (етап 3):
Table 9 – Concrete mix composition (stage 3):

№ п/п	Цемент, кг	Зола виносу, кг	Щебінь 5-20, кг	Хімічна добавка, кг			Дрібний заповнювач, кг		Вода, кг
				Melflux 2651 f	ЛСТМ	СП 1	Відсів каменеподрібнення 0,63-2,5 мм	Пісок кварцовий природній	
1	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***	***10***	***11***
1.	260	85	1180	2,1	-	-	140	570	155
2.	260	85	1190	-	5,25	-	135	545	165
3.	260	85	1190	-	-	4,2	135	545	160

Таблиця 10 – Характеристика бетонної суміші (етап 3)
Table 10 – Characteristics of the concrete mixture (stage 3)

№ п/п	Назва	Зовнішній вигляд	Осадка конуса, см
1	***2***	***3***	***4***
1.	Бетон з відсівом каменеподрібнення фракціонованим + піском природнім щільним, хім.доб. полікарбоксилатна	Не вистачає зв'язності бетонної суміші, водовідділення	осипався
2.	Бетон з відсівом каменеподрібнення фракціонованим + піском природнім щільним, хім.доб. ЛСТМ	Бетонна суміш відповідає вимогам	10
3.	Бетон з відсівом каменеподрібнення фракціонованим + піском природнім щільним + хім.доб. нафталінформальдегідсульфонатна	Не вистачає зв'язності бетонної суміші, водовідділення	осипався

В результаті проведеного експерименту було отримано такі результати:

6. – застосування фракціонованого відсіву каменеподрібнення в бетонах потребує значної корекції в рецептурах в бік зменшення кількості щебня та збільшення кількості піску, що в результаті не призводить до економії дефіцитного матеріалу;

7. – хімічні добавки неоднозначно реагують на введення 20% фракціонованого відсіву у бетонну суміш: так полікарбоксилатні та нафталін-формальдегід сульфонатні добавки роблять бетонну суміш нетехнологічною. Для роботи з даними сумішами можна застосовувати лише невибагливі лігносульфонати.

Висновки

1. В бетонних сумішах можливо застосовувати відсів каменеподрібнення лише на заміну частини природного піску (не більше 50%).

2. При цьому значну увагу необхідно приділити застосуванню хімічних добавок:

– нафталінформальдегід сульфонати мають обмежене використання – не більше 30% відсіву дроблення в дрібному заповнювачі;

– найкраще з відсівами дроблення працюють лігносульфонати у бетонах до 50% відсіву дроблення в дрібному заповнювачі.

3. Відсіви каменеподрібнення значно знижують початкову та кінцеву міцність бетону, так як потребують більшої кількості води для отримання рівнорухомих сумішей. Для отримання бетонів на

відсівах каменеподрібнення рівних за міцністю з бетонами на природних пісках необхідно підвищити кількість в'яжучого, що збільшує собівартість бетону.

4. Значну увагу необхідно приділити кількості пиловидних частинок у відсіві, так як надлишковий пил суттєво знижує міцність бетону.

5. Фракціонований відсів дроблення 0,63-2,5 мм не дає економії дрібного заповнювача.

Перелік посилань

1. Дворкін Л. Й. Основи бетонознавства / Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін // - К.: Основа, 2007. – 616 с. ISBN 978-966-699-298-0.

2. 2. Солодкий С.Й., Гуняк О. М., Марків Т. Є. Тріщиностійкість модифікованих високоміцних бетонів// Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : науково-технічний збірник. – 2016. – Т.98. – С. 247–255.

3. Духовний І. З. Застосування місцевих кам'яних матеріалів при будівництві автомобільних доріг України / І. З. Духовний // Автошляховик України - 1996. - №1. – С. 29 – 32.

4. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану: ДСТУ 3587–97 [Чинний від 1998–01–01]. – К.: Держстандарт України.

5. Карабан Г. Л. / Использование отсевов дробления гранитного щебня при борьбе со скользкостью / Г. Л. Карабан, Н. В. Борисюк // Автомобильные дороги. – 1994. – №10-11– С. 13 – 14.

6. ДСТУ БВ.2.7-210:2010. Національний стандарт України. Будівельні матеріали. Пісок із відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови.

7. Джигид С. Г. Использование отходов камнедробления для сборных конструкций // Бетон и железобетон. – 1987. - №7. – С. 38-39.

UTILIZING GRANITE CRUSHED STONE SCREENINGS AS FINE AGGREGATE FOR COMMERCIAL CONCRETE

Mykola Kuzlo, Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Water Management and Environmental Engineering (Rivne, Ukraine), Head of the Department of Automobile Roads, Bases and Foundations, e-mail: *kuzlo-@ukr.net*, +380966890792, https://orcid.org/0000-0001-9242-2478

Mykola Skrypnyk, Ph.D., National University of Water Management and Environmental Engineering (Rivne, Ukraine), Senior Lecturer at the Department of Automobile Roads, Bases, and Foundations. e-mail: m.m.skrypnyk@nuwm.edu.ua, +380966558818, *https://orcid.org/0000-0003-4947-3477*

Summary. The work deals with the current problem of the industrial complex and the construction industry of Ukraine, namely ensuring the rational use of materials and energy resources. Up to 50% of the material resources consumed by the construction industry are produced by industrial non-metallic materials (crushed stone and sand). The technology of processing natural stone into final products is accompanied by the output of 25-30% of stone screening waste from stone crushing. A large number of screenings are sent to landfills. Quite powerful tailings dumps are accumulated in the quarries of the Rivne region. An obstacle to the widespread use of grinding sieves is primarily the large number of particles smaller than 0.16 mm, which in igneous rocks can reach 25%, including clay particles, which are determined by the desilting method - up to 12%, which entails an increase in water consumption from 9 to 18% and overspending of cement up to 20%, as well as irregular grain shape and rough surface.

Along with this, the construction industry feels an acute need for conditioned aggregates. In particular, in the Rivne region, sand for concrete and mortar is mostly fine, which causes a significant overspending of cement in the production of concrete.

The article proposes an effective way to solve this problem, namely ensuring the waste-free use of stone screenings in the production of heavy concrete. Technologies for enriching screenings and producing artificial sand on their basis are also being introduced. It has been studied that the increased content of particles smaller than 0.16 mm can create a positive effect in some cases.

Key words: granite screening, natural sand, superplasticizer.

References

1. Dvorkin, L.Y. Fundamentals of concrete science / L.Y. Dvorkin, O.L. Dvorkin // - K.: Osnova, 2007. – 616 p. ISBN 978-966-699-298-0.

2. Solodkyi S.Y., Gunyak O.M., Markiv T.E. Crack resistance of modified high-strength concrete// Automobile roads and road construction: scientific and technical collection. – 2016. – T.98. – C. 247–255.

3. I. Z. Dukhovnyi Application of local stone materials in the construction of Ukrainian highways / I. Z. Dukhovnyi // Highway of Ukraine - 1996. - №1. - P. 29 - 32.

4. Traffic safety. Roads, streets and railway crossings. Requirements for operational condition: DSTU 3587–97 [Effective from 1998–01–01]. - K.: State Standard of Ukraine.

5. G. L. Karaban / The use of screenings for crushing granite rubble in the fight against slippage / G. L. Karaban, N. V. Borysyuk // Automobile roads. – 1994. – No. 10-11 – P. 13 – 14.

6. DSTU BV.2.7-210:2010. National standard of Ukraine. Building materials. Sand from screenings of crushed erupted rocks for construction works. Specifications.

7. Dzhigid S.G. Use of stone crushing waste for precast structures // Concrete and concrete concrete. – 1987. - No. 7. - P. 38-39.

УДК 539.3
UDK 539.3
DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-096-106

ЕФЕКТИВНІСТЬ АЛГОРИТМУ РОЗВ'ЯЗАННЯ СИСТЕМ НЕЛІНІЙНИХ РІВНЯНЬ НА ОСНОВІ ЕКСТРАПОЛЯЦІЇ ПЕРЕМІЩЕНЬ

EFFICIENCY OF THE ALGORITHM FOR SOLVING SYSTEMS OF NONLINEAR EQUATIONS BASED ON EXTRAPOLATION OF DISPLACEMENTS



Кузьмінець Микола Петрович, *доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою комп'ютерної, інженерної графіки та дизайну, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: kuzminecmp@ukr.net, тел. +380983600812, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 40 А.*

https://orcid.org/0000-0002-9636-919X



Максим'юк Юрій Всеволодович, д*октор технічних наук, професор, професор кафедри будівельної механіки, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна, e-mail: maksymiuk.iuv@knuba.edu.ua, тел. +380672309472, Україна, 03680, м. Київ, проспект Повітряних Сил, 31.*

https://orcid.org/0000-0002-5814-6227



Мартинюк Іван Юрійович, к*андидат технічних наук, докторант кафедри будівельної механіки, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна, e-mail: ivan.martinyuk@gmail.com, тел. +380960680029, Україна, 03680, м. Київ, проспект Повітряних Сил, 31.*

https://orcid.org/0000-0001-7957-2068

Анотація. Моделювання тривалих процесів фізично і геометрично нелінійного деформування потребує використання крокових алгоритмів. Такі алгоритми можуть були побудовані на основі зазначеної викладеної в роботах [2-5, 8-10] ітераційної процедури. При його реалізації підвищення ефективності може бути здійснено шляхом зміни матриці жорсткості за рахунок переобчислення координат компонент тензора миттєвих жорсткостей пружнопластичного матеріалу або проведенням екстраполяції переміщень на наступному кроці розв'язання задачі. В зв'язку з цим в даній статті проведено дослідження достовірності і ефективності результатів розв'язання фізично і геометрично нелінійних задач із використанням вищезгаданих підходів. Це реалізовувалось шляхом розв'язання ряду тестових прикладів, і аналізом похибок відносно еталонних та експериментальних даних, та обчислювальні витрат, потрібних для розв'язання задач.

Ключові слова: фізично нелінійне деформування, геометрично нелінійне деформування, чисельні методи, деформації повзучості з урахуванням пошкодженості матеріалу, метод скінчених елементів (МСЕ), плоско-деформовані та вісесиметричні тіла, формозмінення, в'язкопружнопластичність, покроковий алгоритм.

Вступ. Велику кількість просторових конструкцій представляють призматичні тіла, геометричні та фізико-механічні характеристики яких змінні за всіма трьома напрямками. Об'єкти виділеного класу використовуються як природні конструкції, вузли і деталі в будівництві та різних галузях машинобудування. Наприклад, до них відносяться фундаменти промислових та цивільних будівель, елементи перекриттів та покриттів, арочні греблі, кронштейни, різці, зуби косозубих коліс тощо [1, 6, 7, 9-11]. Деформування конструкцій, що розглядаються, відбувається під дією силових і температурних факторів, причому, через наявність суттєвих перепадів температур можлива зміна фізико-механічних характеристик матеріалу. На сучасному рівні розвитку техніки та технології в окремих елементах конструкцій допускається виникнення пластичних деформацій. Для ряду деталей у процесі експлуатації та виготовлення розвиток пластичних деформацій супроводжується суттєвою зміною первісної форми. Це характерно для процесів обробки металів тиском, наприклад, при виготовленні штампових підборів, протяжці смуг. Подальше вдосконалення конструктивних рішень розробки відповідальних вузлів і технологічних процесів багато в чому залежить від повноти та достовірності інформації про особливості зміни картини напружено-деформованого стану в процесі навантаження. У зв'язку з цим, розробка методів дослідження виділеного класу об'єктів є актуальною проблемою.

Виклад основного матеріалу. В загальному випадку при розв’язанні системи нелінійних рівнянь, використано кроковий алгоритм за параметрами навантаження і часу в поєднанні з ітераційною процедурою Ньютона-Кантаровича по формулі:

$$\{u\}_n^m = \{u\}_{n-1}^m + \{\Delta u\}_n^m = \{u\}_{n-1}^m + \left[\overset{*}{K}\right]^{-1}\left(\{Q\}^m - \{R\}_n^m\right) \qquad (1)$$

де $\left[\overset{*}{K}\right]$ – лінералізована матриця жорсткості в системі рівнянь МСЕ, обчислена в проміжній відрахунковій конфігурації з урахуванням корекції тензора пружних констант згідно формули (тензор миттєвих констант) і координат вузлів дискретної моделі по формулі $z_m^{\alpha} = z_{m-1}^{\alpha'} + \Delta u_m^{\alpha}$; $\{Q\}^m$, $\{R\}_n^m$ – вектори вузлових зусиль і реакцій, визначені в актуальній конфігурації. Компоненти вектора вузлових реакцій обчислюються з урахуванням, як фізичної так і геометричної нелінійності, на початку кожної ітерації n кроку m компоненти тензора напружень $\left(\tilde{\sigma}^{ij}\right)_n^m$, що входять до використовуваного в (1) вектора вузлових реакцій, обчислюються за формулою:

$$\left(\tilde{\sigma}^{ij}\right)_n^m = \left(\tilde{\sigma}^{ij}\right)_{n-1}^m + \left(\Delta\tilde{\sigma}^{ij}\right)_n^m, \qquad (2)$$

де $\left(\Delta\tilde{\sigma}^{ij}\right)_n^m$ – прирощення напружень, які визначаються згідно з законом Гука (3)

$$d\sigma^{ij} = \left[\ \mu\left(g^{jl}g^{ik} + g^{il}g^{jk}\right) + \lambda\, g^{ij}g^{kl}\ \right] d\varepsilon_{kl}^{e}\ . \qquad (3)$$

за величиною прирощення повних деформацій, які обчислюються за формулами (4), (5).

$$\left\{\overset{\circ}{\varepsilon}\right\} = \left[\overline{B}\right]\left\{u_{(s_1,s_2)}\right\}, \quad \left\{\overset{\circ}{\varepsilon}_{,1}\right\} = \left[\overline{B}_1\right]\left\{u_{(s_1,s_2)}\right\}, \quad \left\{\overset{\circ}{\varepsilon}_{,2}\right\} = \left[\overline{B}_2\right]\left\{u_{(s_1,s_2)}\right\}, \quad (4)$$

де $$\left\{ u_{(s_1,s_2)} \right\} = \begin{Bmatrix} u^{1'}{}_{(s_1,s_2)} \\ u^{2'}{}_{(s_1,s_2)} \end{Bmatrix}. \qquad (5)$$

Дійсні значення напружень $\left(\tilde{\sigma}^{ij}\right)_n^m$, при наявності фізично нелінійних деформацій, що використовуються для визначення компонент вектора вузлових реакцій $\left\{R\right\}_n^m$, обчислюються за формулою:

$$\left(\tilde{\sigma}^{ij}\right)_n^m = \frac{1}{3}\delta^{ij}\left(\tilde{\sigma}^{ij}\right)_n^m + \left(\overline{s^{ij}}\right)_n^m = \left(\sigma_o\right)_n^m + \left(\overline{s^{ij}}\right)_n^m, \qquad (6)$$

де $\left(\overline{s^{ij}}\right)_n^m$ – компоненти девіатора напружень, що враховують наявність деформацій пластичності або повзучості.

Визначення компонент девіатора $\left(\overline{s^{ij}}\right)_n^m$ тензора дійсних напружень, що входять до формули (6), при розв'язку задачі пластичності, здійснюється з урахуванням поточних значень межі текучості τ_s [1, 7, 9-10]:

$$\left(\overline{s^{ij}}\right)_n^m = \left(s^{ij}\right)_n^m \frac{\tau_s}{\tau} \qquad (7)$$

де $\tau = \sqrt{s_{ij}s^{ij}/2}$ – поточне значення інтенсивності дотичних напружень.

Далі проводиться обчислення дійсних значень прирощень деформацій пластичності $\left(\Delta\varepsilon_{ij}^p\right)_m$:

$$\left(\varepsilon_{ij}^p\right)_m = \left(\varepsilon_{ij}^p\right)_{m-1} + \left(\Delta\varepsilon_{ij}^p\right)_m = \left(\varepsilon_{ij}^p\right)_{m-1} + \left(1 - \frac{\tau_s}{\tau_i}\right)\left(\overline{s_{ij}}\right)_m / G_1 . \qquad (8)$$

При розв'язку задачі в'язкопружного деформування на кожній ітерації n кроку m компоненти тензора напружень σ_{ij} також обчислюються за формулами (2), (6) з урахуванням наявності деформацій повзучості, в даному випадку виконуємо:

$$\left(\overline{s^{ij}}\right)_n^m = \left(s^{ij}\right)_n^m - G_1\left(\Delta\varepsilon_{ij}^c\right)_n^m, \qquad \left(\Delta\varepsilon_{ij}^c\right)_n^m = \left(\xi_{ij}^c\right)_n^m \Delta t_m , \qquad (9)$$

де $G_1 = E/(1-2\nu)$; $\left(\xi_{ij}^c\right)_n^m = \frac{3}{2}\left[\xi_i^c\left(\sigma_i\right)\right]_m^n \frac{\left(s_{ij}\right)_n^m}{\left(\sigma_i\right)_m^n}$;

Δt_m – величина кроку за часом.

Після виконання умови збіжності ітераційного процесу проводиться обчислення прирощень деформацій повзучості $\left(\Delta\varepsilon_{ij}^{c}\right)_m$ і пошкодженості $\left(\Delta\omega\right)_m$ із використанням напружень, отриманих на останній ітерації кроку, і відповідних накопичених величин $\left(\varepsilon_{ij}^{c}\right)_m$ і ω_m:

$$\left(\varepsilon_{ij}^{c}\right)_m = \left(\varepsilon_{ij}^{c}\right)_{m-1} + \left(\Delta\varepsilon_{ij}^{c}\right)_m = \left(\varepsilon_{ij}^{c}\right)_{m-1} + \left(\dot{\xi}_{ij}^{c}\right)_m \Delta t_m, \qquad (10)$$

$$\omega_m = \omega_{m-1} + \left(\Delta\omega\right)_m = \omega_{m-1} + \left(\Delta\dot{\omega}\right)_m \Delta t_m,$$

У кінці кожного кроку для всіх точок тіла здійснюється перевірка умови локальної втрати несучої здатності матеріалу:

$$\omega \geq \omega^*, \qquad (11)$$

де ω^* – критичне значення параметра пошкодженості, що відповідає моменту руйнування матеріалу, ω^*=1 [1, 7, 9].

При чисельному розв'язанні задачі в'язкопружнопластичності відповідно до викладеного алгоритму стан повного руйнування матеріалу ω^*=1 в дійсності не досягається. У зв'язку з цим, в чисельних розв'язках приймається ω^*<1 (ω^*=0,9, ω^*=0,95…0,96, ω^*=0,99).

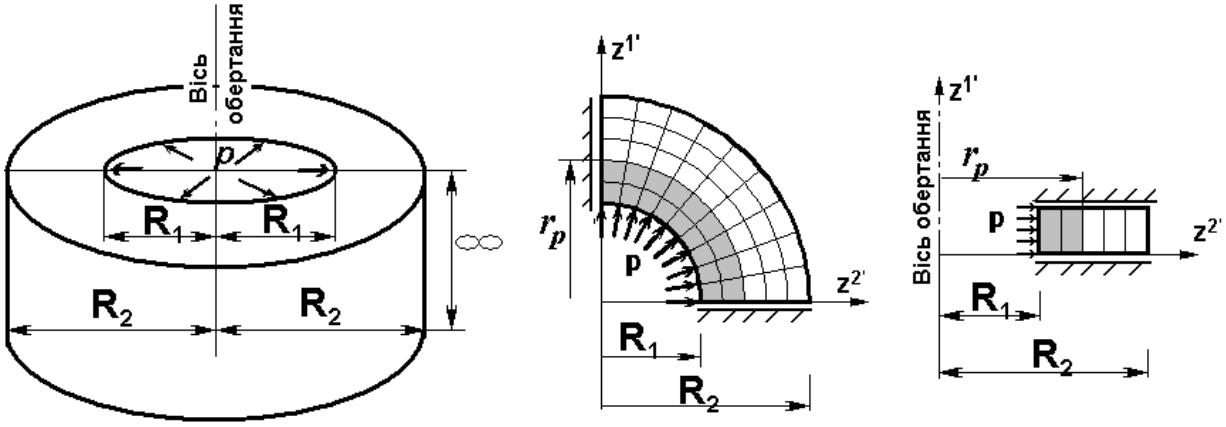
При одночасному розвитку деформацій пластичності і повзучості їх обчислення здійснюється за формулами (8), (9) послідовно.

Для зменшення обчислюваних витрат при розв'язку задач пружно-пластичності, пов'язаних з необхідністю перерахунку на кожному кроці коефіцієнтів матриці жорсткості, широко використовується спрощений алгоритм (12), з матрицею жорсткості, елементи якої обчислюються без урахування корекції тензора пружних постійних. Тоді формулу (1) можна записати у вигляді:

$$\left\{u\right\}_n^m = \left\{u\right\}_{n-1}^m + \left\{\Delta u\right\}_n^m = \left\{u\right\}_{n-1}^m + \left[K\right]^{-1}\left(\left\{Q\right\}^m - \left\{R\right\}_n^m\right), \qquad (12)$$

де матриця $\left[K\right]$ обчислюється один раз на першому кроці з використанням тензора пружних констант C^{ijkl}.

Для дослідження характеру збіжності і достовірності результатів, та порівняння ефективності використання викладених алгоритмів обчислення напружень при наявності деформацій пластичності розглянемо приклад про деформування нескінченної товстостінної труби під впливом внутрішнього тиску, який змінюється від 0 до p_{max}= 0.07 МН/м^2 , характеристики матеріалу: E = 1 МПа, ν = 0.3, відношення межі текучості при чистому зсуві τ_s до модуля пружності E становить 1:5.



(а) (б) (в)

Рисунок 1. Пружно-пластичне деформування товстостінної труби: розрахункова схема (а), дискретні моделі МСЕ (б, в)

Figure 1. Elastic-plastic deformation of a thick-walled pipe: design scheme (a), discrete FEM models (b, c)

Розрахунок проведено для фрагмента труби, обмеженого двома перпендикулярними до осі обертання поперечними перерізами, дискретна модель якого побудована із використанням плоских (рис.1,б) вісесиметричних (рис.1,б) СЕ.

В таблиці 1 показано залежність величини максимального кільцевого напруження $\sigma_{3'3'\max}$ від інтенсивності внутрішнього тиску p.

Таблиця 1 – Залежність величини максимального кільцевого напруження $\sigma_{3'3'\max}$ від інтенсивності внутрішнього тиску p.

Table 1 - Dependence of the maximum annular stress $\sigma_{3'3'\max}$ on the internal pressure intensity p.

p,МН/м^2	0,037	0,051	0,059	0,064	0,07
$\sigma_{3'3'\max}$, МПа [еталон]	0,0613	0,0648	0,0717	0,0795	0,0873
$\sigma_{3'3'\max}$, МПа (1, 12)	0,0609	0,0644	0,0711	0,0789	0,0865
Похибка	0,64%	0,69%	0,83%	0,71%	0,91%

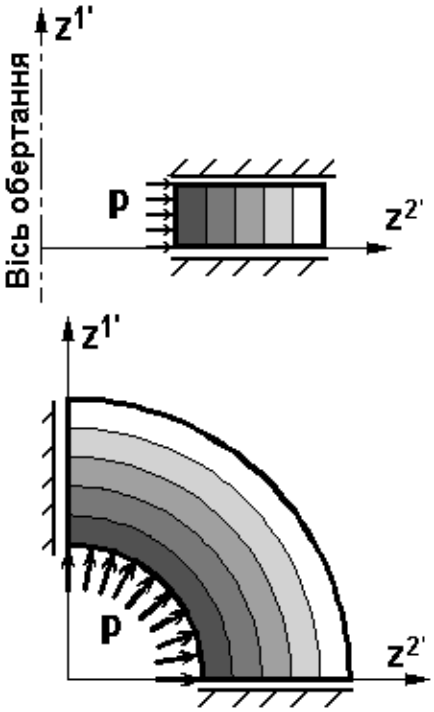
Протягом всього процесу деформування спостерігається збіг результатів, отриманих в вісесиметричній і плоскій постановках за розробленими алгоритмами, з розв'язком наведеним в книзі Соколовського.

При зростанні навантаження від 0 до $p_1 = 0{,}037$ МН/м^2 на внутрішній поверхні труби виникає зона пластичних деформацій (зона пластичності), діаметр якої збільшується із зростанням навантаження.

При розв'язанні задачі покрокове змінення навантаження p в інтервалі $p_1 \le p \le p_{\max}$ проводилось так, щоб на кожному з кроків за навантаженням прирощення радіуса зони пластичності становило 1/5 товщини стінки труби ($p_1 = 0{,}037$, $p_2 = 0{,}051$, $p_3 = 0{,}059$, $p_4 = 0{,}064$, $p_5 = p_{\max} = 0{,}07$ МН/м^2) рис.2. Для дослідження збіжності отримуваних результатів розв'язання задачі здійснювалось при

вдвічі менших кроках за навантаженням. Розбіжність величин напружень і деформацій пластичності, одержаних у цих двох випадках становила менше 1%.

Як показали чисельні дослідження, незважаючи на зменшення обчислюваних витрат для визначення коефіцієнтів матриці жорсткості, загальна ефективність алгоритму (12) виявилась значно гіршою порівняно з алгоритмом (1), що показано на графіках рис.3.



p ,(МН/м^2)	$\rho = r_p / R$	Зображення
0,037	0,5	
0,051	0,6	
0,059	0,7	
0,064	0,8	
0,07	0,9	

Рисунок 2. Розповсюдження зони пластичності в товстостінній трубі
Figure 2. Plasticity zone propagation in a thick-walled pipe

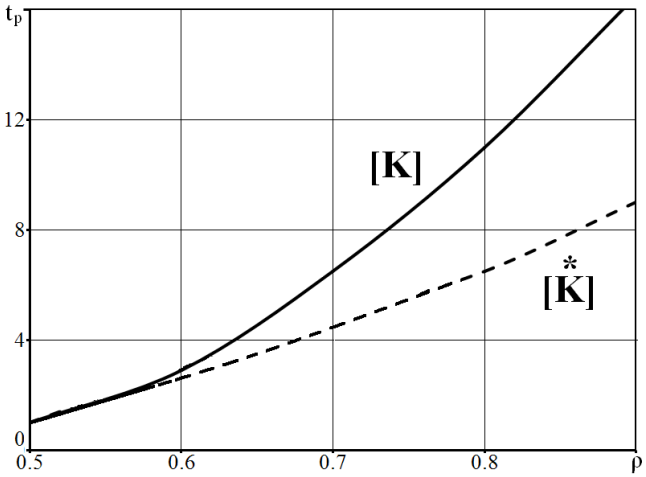


Рисунок 3. Пружно-пластичне деформування товстостінної труби: порівняння обчислювальних витрат при використанні алгоритму (1) і (12)
Figure 3. Elastic-plastic deformation of a thick-walled pipe: comparison of computational costs using algorithms (1) and (12)

Суттєво поліпшити ефективність алгоритму (12) дозволяє виконання процедури екстраполяції переміщень за формулою:

$$\{\Delta u^m\} = \frac{\{\Delta u^{m-1}\}\Delta p^m}{\Delta p^{m-1}}. \qquad (13)$$

Величини напружень уточнюються на кожній ітерації кроку в залежності від поточного рівня деформацій пластичності і повзучості. В кінці кожного кроку здійснюється обчислення величини повних напружень на кроці m.

Ефективність розробленої модифікації алгоритму (12) з екстраполяцією переміщень по формулі (13) показано на (рис. 4) у вигляді графіків залежності кількості ітераційних затрат, необхідних для розв'язання задачі при різних розмірах зони пластичного деформування, границя якої відповідає координаті $\rho = r_p / R$ (рис. 2), де R – зовнішній радіус циліндра. Як видно з наведених графіків екстраполяція переміщень суттєво зменшує обчислювальні витрати (12) і його ефективність не поступається алгоритму (1).

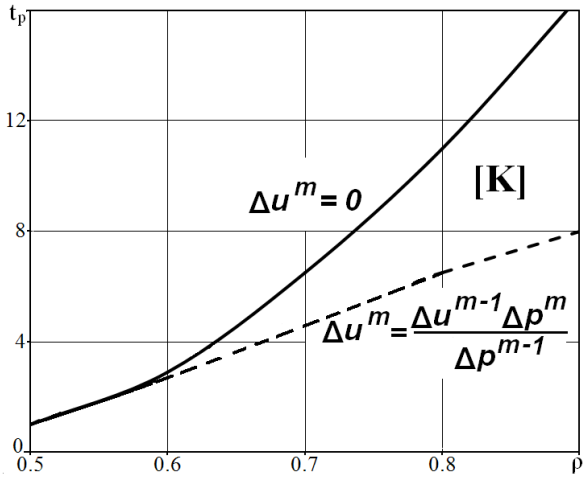


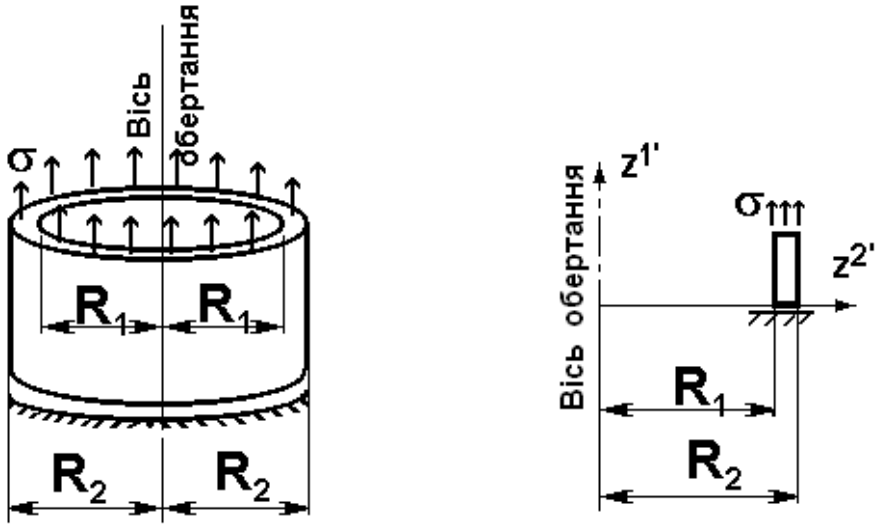
Рисунок 4. Ефективність розробленої модифікації алгоритму (12) з екстраполяцією.
Figure 4. Efficiency of the developed modification of the algorithm (12) with extrapolation

Розв'язання даного тестового прикладу засвідчило, що кількість ітерацій розв'язання задачі МСЕ із застосуванням суміщення ітераційних процесів розв'язання нелінійної систем рівнянь дозволяє скоротити обчислювальні витрати майже на порядок (рис. 2).

В умовах повзучості, значення приросту вектора переміщень на «m» кроці визначається таким чином:

$$\{\Delta u^m\} = \frac{\{\Delta u^{m-1}\}\Delta t^m}{\Delta t^{m-1}}. \qquad (14)$$

Для дослідження ефективності розробленої модифікації алгоритму (12) з екстраполяцією переміщень при повзучості по формулі (14), розглянуто тестовий приклад про розтяг в умовах повзучості тонкостінної труби (рис. 5).



а) б)

Рисунок 5. Тонкостінна труба: розрахункова схема (а), дискретна модель МСЕ (б)
Figure 5. Thin-walled pipe: design scheme (a), discrete FEM model (b)

Деформування в умовах повзучості описується системою рівнянь:

$$\frac{d\varepsilon_{ic}}{dt} = A\frac{Sh\left(\sigma/c\right)}{\left(1-\omega\right)^{k_1}}, \qquad \frac{d\omega}{d\,t} = B\left(\frac{\sigma}{1-\omega}\right)^{k_2}, \tag{15}$$

де $A = 3{,}12\cdot10^{-4}$ год$^{-1}$,
$k_1 = 2{,}36$, $c = 20.5$ МПа,
$B = 0{,}58\cdot10^{-7}$ МПа$^{-3.17}$год$^{-1}$,
$k_2 = 3{,}17$ – константи матеріалу, радіуси труби дорівнюють $R_1 = 5{,}5$ мм,
$R_2 = 6$ мм. Деформування відбувалося під впливом постійного розтягуючого навантаження, що створює в трубці напруження $\sigma = 60$ МПа.

Величини деформацій повзучості, наведені в таблиці 2, добре узгоджуються з експериментальним результатом Локощенка та Шестиракова.

Таблиця 2 – Величини деформацій повзучості
Table 2 - Creep deformation values

t, год	2,5	5	7,5	10	12,5
ε_c % [експеремент]	0,625	1,270	2,221	3,603	5,000
ε_c % (1),(12)	0,631	1,286	2,259	3,675	5,121
похибка	0,99%	1,28%	1,72%	2,00%	2,42%

Ефективність розробленої модифікації алгоритму (12) з екстраполяцією переміщень по формулі (15) показано на рис. 6 у вигляді графіків залежності кількості ітераційних затрат, необхідних для розв'язання задачі при різних значеннях деформацій повзучості ε_c.

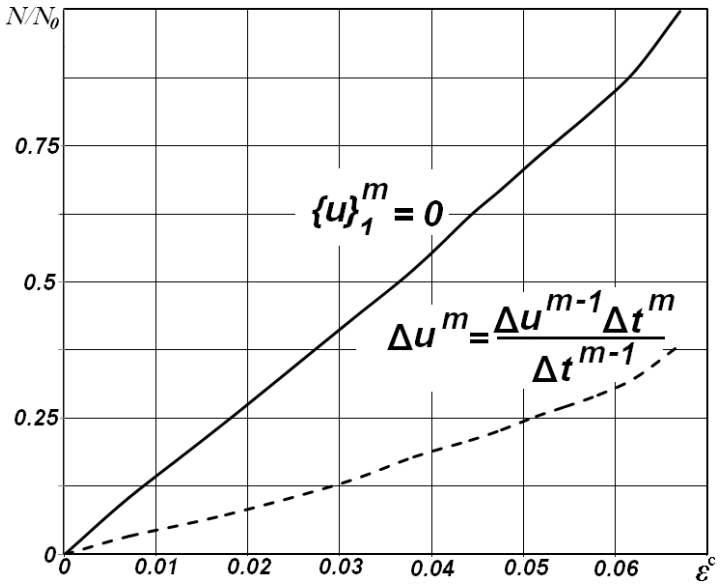


***Рисунок* 6.** Ефективність алгоритму (3.8), (3.10)
Figure 6.The efficiency of the algorithm (3.8), (3.10)

Як видно, застосування початкового наближення прирощень переміщень дозволяє зменшити обчислювальні витрати в три рази.

Висновки. В статті представлений крокoвий блочно-ітераційний алгоритм моделювання еволюційного процесу фізично- і геометрично нелінійного деформування, що ґрунтується на ітераційній процедурі Ньютона-Канторовича. Розглянуті модифікації алгоритма, згідно до яких розв'язання задачі проводиться або із обчисленою на кожному кроці матрицею жорсткості, компоненти якої враховують корекцію тензора пружних констант відповідно до властивостей пластичності і повзучості матеріалу, або із матрицею жорсткості, обчисленою за вихідними величинами тензора пружних констант та початковими наближеннями переміщень, на кожному кроці. Застосування зазначених модифікацій алгоритму має майже однакову ефективність і дозволяє зменшити обчислювальні витрати для розв'язанні задач на основі МСЕ приблизно в два-три рази. Описані алгоритми розв'язання задач континуального руйнування дозволяють досліджувати процес зростання зон континуального руйнування з урахуванням пластичності, повзучості і накопичення пошкодженості матеріалу. Вірогідність отримуваних на основі розроблених алгоритмів результатів підтверджується їх збіжністю при послідовному збільшенні параметрів дискретних моделей, а також незначним відхиленням від отриманих іншими авторами експериментальних і чисельних результатів.

Перелік посилань

1. Баженов В. А. Напіваналітичний метод скінчених елементів в задачах руйнування просторових тіл: Монографія / [Баженов В.А., Гуляр О.І., Пискунов С.О., Сахаров О.С.] – К. : КНУБА, 2005. – 298 с.
2. Баженов В.А. Алгоритм розв'язання просторової задачі термов'язко-пружнопластичності призматичних тіл з урахуванням пошкодженості / Баженов В.А., Гуляр О.І., Пискунов С.О., Андрієвський В.П. // Опір матеріалів і теорія споруд, № 78, 2006. – С.3-17.
3. Баженов В.А. Дослідження континуального, дискретного та дисперсного руйнування просторових тіл на основі напіваналітичного методу скінченних елементів / Баженов В.А., Гуляр О.І., Пискунов С.О., Сахаров О.С., Ільченко О.М, Рутковський В.А. // "Опір матеріалів і теорія споруд", 2002. – №70. – С.3-32.

4. Баженов В.А. Ефективність розв'язання просторових задач теорії повзучості / Баженов В.А., Гуляр О.І., Пискунов С.О., Рутковський В.А. // Опір матеріалів і теорія споруд № 74, 2004 С.3–13.
5. Баженов В.А. Напружено-деформований стан і формозмінення в тілах обертання складної структури / В.А. Баженов, Ю.В Максим'юк // Опір матеріалів і теорія споруд – 2019. – Вип. 102. – С. 3–12.
6. Баженов В.А. Розрахункові співвідношення НМСЕ просторової задачі термов'язкопружнопластичності для неоднорідних тіл обертання / Баженов В.А., Гуляр О.І., Пискунов С.О., Остапенко Р.М // Опір матеріалів і теорія споруд № 82, 2008. – С.3-29.
7. Баженов В. А. Напіваналітичний метод скінченних елементів в задачах континуального руйнування просторових тіл : Монографія / [Баженов В. А., Гуляр О. І., Пискунов С. О., Сахаров О. С.]. – К. : Каравела, 2014. – 235 с.
8. Іванченко Г.М. Побудова розв'язувальних рівнянь напіваналітичного методу скінченних елементів для призматичних тіл складної форми / Г.М. Іванченко, Ю.В. Максим'юк, А.А. Козак, І.Ю. Мартинюк // Управління розвитком складних систем: Наук.-техн. збірн. – К.: КНУБА, 2021 – Вип.46 – С. 55-62.
9. Метод скінченних елементів у задачах деформування та руйнування тіл обертання при термосиловому навантаженні / [Баженов В.А., Пискунов С.О., Максим'юк Ю.В.] – Київ: Вид-во "Каравела", 2018. – 316с.
10. Напіваналітичний метод скінченних елементів в просторових задачах деформування, руйнування та формозмінення тіл складної структури / [Баженов В.А., Максим'юк Ю.В., Мартинюк І.Ю., Максим'юк О.В.] – Київ: Вид-во "Каравела", 2021. – 280с.
11. Чисельне моделювання процесів нелінійного деформування тіл з урахуванням великих пластичних деформацій / [Баженов В.А., Максим'юк Ю.В., Солодей І.І., Стригун Р.Л.] – Київ: Вид-во "Каравела", 2019. – 223с.

EFFICIENCY OF THE ALGORITHM FOR SOLVING SYSTEMS OF NONLINEAR EQUATIONS BASED ON EXTRAPOLATION OF DISPLACEMENTS

Mykola Kuzminets, doktor tekhnichnykh nauk, profesor, zaviduvach kafedroyu komp'yuternoyi, inzhenernoyi hrafiky ta dyzaynu, Natsional′nyy transportnyy universytet, Kyyiv, Ukrayina, e-mail: kuzminecmp@ukr.net, tel. *+380983600812*, Ukrayina, 01103, m. Kyyiv, vul. M. Boychuka, 40 A. https://orcid.org/0000-0002-9636-919X

Yuriy Maksymyuk, doktor tekhnichnykh nauk, profesor, profesor kafedry budivel′noyi mekhaniky, Kyyivs′kyy natsional′nyy universytet budivnytstva i arkhitektury, Kyyiv https://orcid.org/0000-0002-5814-6227

Ivan Martynyuk, kandydat tekhnichnykh nauk, doktorant kafedry budivel′noyi mekhaniky, Kyyivs′kyy natsional′nyy universytet budivnytstva i arkhitektury, Kyyiv https://orcid.org/0000-0001-7957-2068

Oleksandr Maksymyuk, aspirant kafedry budivel′noyi mekhaniky, Kyyivs′kyy natsional′nyy universytet budivnytstva i arkhitektury, Kyyiv https://orcid.org/0000-0002-2367-3086

Summary. Simulation of long-term processes of physically and geometrically nonlinear deformation requires the use of step algorithms. Such algorithms can be constructed on the basis of the iterative procedure described in [2-5, 8-10]. When it is implemented, the efficiency can be increased by changing the stiffness matrix by recalculating the coordinates of the components of the instantaneous stiffness tensor of the elastoplastic material or by extrapolating the displacements in the next step solution of the problem. In this regard, this article conducts a study of the reliability and efficiency of the results of solving physically and geometrically nonlinear problems using the above-mentioned approaches. This was done by solving a number of test cases, and by analyzing the errors relative to the reference and experimental data, and the computational costs required to solve the problems.

Keywords. physically nonlinear deformation, geometrically nonlinear deformation, numerical methods, creep deformations taking into account material damage, finite element method (MSE), plane-deformed and axisymmetric solids, form change, viscoelasticity, step-by-step algorithm.

References

1. Bazhenov V.A., Gulyar O.I., Piskunov S.O., Sakharov O.S.] Kyiv: KNUBA, 2005. – 298 p.
2. Bazhenov, V.A., Gulyar, O.I., Piskunov, S.O., Andrievsky, V.P. "Algorithm for solving the spatial problem of thermovisco-elastic plasticity of prismatic bodies taking into account damage" // Resistance of materials and theory of structures, No. 78, 2006. – P.3-17.
3. Bazhenov V.A., Gulyar O.I., Piskunov S.O., Sakharov O.S., Ilchenko O.M., Rutkovsky V.A. // "Strength of Materials and Theory of Structures", 2002. – №70. – P.3-32.
4. Bazhenov V.A., Gulyar O.I., Piskunov S.O., Rutkovsky V.A. // Resistance of Materials and Theory of Structures No 74, 2004 P.3–13.
5. Bazhenov V.A., Maksymiuk Yu.V. Stress-strain state and form-change in the bodies of rotation of a complex structure // Resistance of materials and theory of structures – 2019. – Vyp. 102, pp. 3–12.
6. Bazhenov V.A., Gulyar O.I., Piskunov S.O., Ostapenko R.M. Calculated ratios of NMSE spatial problem of thermoviscoelasticity for inhomogeneous bodies of rotation / Bazhenov V.A., Gulyar O.I., Piskunov S.O., Ostapenko R.M. // Resistance of materials and theory of structures No 82, 2008. – P.3-29.
7. Bazhenov, V. A., Gulyar, O. I., Piskunov, S. O., Sakharov, O. S., [Bazhenov V. A., Gulyar O. I., Piskunov S. O., Sakharov O. S.]. Kyiv: Karavela, 2014. – 235 p.
8. Ivanchenko, H.M., Maksymiuk Yu.V., Kozak A.A., Martyniuk I.Yu. Born. – K.: KNUBA, 2021 – Issue 46 – P. 55-62.
9. Finite Element Method in Problems of Deformation and Destruction of Bodies of Rotation under Thermoforce Load / [Bazhenov V.A., Piskunov S.O., Maksymyuk Yu.V.] – Kyiv: Karavela Publishing House, 2018. – 316 p. (in Russian).
10. Semi-Analytical Method of Finite Elements in Spatial Problems of Deformation, Destruction and Shape Change of Bodies of Complex Structure / [Bazhenov V.A., Maksymyuk Yu.V., Martyniuk I.Yu., Maksymiuk O.V.] – Kyiv: Karavela Publishing House, 2021. – 280 p.
11. Numerical modeling of the processes of nonlinear deformation of bodies taking into account large plastic deformations / [Bazhenov V.A., Maksymyuk Yu.V., Solodey I.I., Strigun R.L.] – Kyiv: Karavela Publishing House, 2019. – 223 p.

УДК 624.21
UDC 624.21

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-107-120

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛПИВУ КОРОЗІЇ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІНГІБІТОРІВ ТА МЕТОДУ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

RESEARCH ON THE IMPACT OF CORROSION ON THE DURABILITY OF TRANSPORTATION STRUCTURES USING INHIBITORS AND THE ACOUSTIC EMISSION METHOD



Онищенко Артур Миколайович, *доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com,*

https://orcid.org/ 0000-0002-1040-4530



Башкевич Ірина Василівна, *кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: iv.bashkevych@gmail.com,*

https://orcid.org/ 0000-0001-7640-4317



Янчук Леонід Леонідович, *кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: leonid.ianchuk@gmail.com,*

https://orcid.org/0000-0003-1269-1251



Горюнов Антон Андрійович, *магістрант кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, Київ, Україна,*
e-mail: gorunoffbox@gmail.com,

https://orcid.org/0009-0005-3339-1073

Анотація. У роботі розглянуто вплив корозії металу на довговічність транспортних споруд. Експлуатаційний стан транспортних споруд визначається їхньою здатністю витримувати робочі навантаження та вплив факторів зовнішнього середовища протягом запланованого строку служби. Корозія елементів може суттєво вплинути на характеристики конструкції і призвести до зниження їхньої міцності та стійкості до навантажень. Зокрема, уражені корозією елементи можуть втрачати свої конструктивні властивості, що може сприяти появі тріщин, виникненню деформацій та інших дефектів. Такі дефекти погіршують експлуатаційний стан споруди та підвищують ризики аварій і знижують загальний рівень безпеки.

У роботі розглянуто результати проведеного експериментального дослідження впливу інгібіторів корозії на тріщиностійкість транспортних конструкцій. Дослідження проводилось з використанням сучасних інгібіторів, які показали свою ефективність за різних умов експлуатування. Отримані дані дозволяють зробити висновок про можливість значного подовження терміну служби транспортних споруд при використанні інгібіторів корозії.

Для експериментального дослідження впливу інгібіторів корозії було використано метод акустичної емісії. Цей метод дозволяє реєструвати та аналізувати акустичні хвилі, у матеріалі конструкції, які набувають змін в наслідок розсіювання від тріщиноутворення або корозії. Використання методу акустичної емісії дозволяє отримати точні дані про розвиток корозійних процесів і ефективність застосованих інгібіторів.

Отримані результати мають важливе практичне значення для забезпечення безпеки та надійності транспортних споруд, а також для зниження витрат на їхнє обслуговування і ремонтування. Підтримання належного експлуатаційного стану транспортних споруд є критично важливим для забезпечення їхньої функціональності та безпеки, особливо в умовах інтенсивного використання та агресивного впливу зовнішніх факторів.

Ключові слова: транспортні споруди, довговічність, тріщиностійкість, корозія, інгібітори корозії, акустична емісія

Вступ. Транспортні та гідротехнічні споруди є найскладнішими і найбільш коштовними елементами автомобільних доріг. Аварії або обмеження руху через незадовільний стан транспортної споруди завдають величезних матеріальних і соціальних збитків суспільству. Згідно з чинними нормами України строк служби елементів мостів має бути 70-100 років залежно від типу конструкції [1]. Переважну кількість мостів в Україні побудовано за технічними нормами 1948 - 1963 рр., станом на цей час вони не відповідають вимогам чинних норм як за вантажопідйомністю, так і за пропускною здатністю. Середній вік мостів на дорогах загального користування становить 53 роки [2]. Ресурс конструкцій мостів, вік яких понад 80 років (це приблизно 12%), близький до вичерпання. Показано, що 94% мостів на автомобільних дорогах загального користування збудовано до 1989 року і значна частина з них – 63,5%, не відповідає вимогам чинних норм. Понаднормативні навантаження та збільшення концентрації агресивних компонентів у навколишньому середовищі прискорюють деградацію елементів мостів, особливо збільшується руйнація за рахунок корозії.

Основним показником для кожного моста є його експлуатаційний стан. Згідно з чинними державними нормами [3] встановлено 5 експлуатаційних станів мостів: 1 – справний; 2 – обмежено справний; 3 – працездатний; 4 – обмежено працездатний; 5 – непрацездатний. Експлуатаційне оцінювання моста в цілому є узагальненою характеристикою експлуатаційної придатності з урахуванням стану всіх його елементів. Кількісним показником експертного визначення технічного

стану споруди (мостового переходу в цілому) є формалізована експертна оцінка (рейтинг), яка визначається за шкалою безрозмірних коефіцієнтів *E* у балах від 100 до 20. Загальний технічний стан мостової споруди визначають за станом семи груп елементів: 1 – прогонова будова; 2 – опора та опорні частини; 3 – фундамент; 4 – проїзна частина; 5 – підходи; 6 – підмостове русло; 7 – регуляційні споруди. У роботах [4-6] наведено аналітичні залежності, які дозволяють визначити ймовірність знаходження конструкції в кожному із станів, функцію надійності в цілому для довільного часу експлуатації, а також визначити залишковий ресурс конструкції і навіть для мостів, які зазнали впливу військових дій.

Значна частина існуючих мостів експлуатується з різноманітного роду ушкодженнями і дефектами. Після обстеження близько 1800 мостів встановлено, що найбільш поширеними є такі дефекти: руйнування плити проїзної частини через дефекти гідроізоляцію – 77 % мостів, сколи захисного шару бетону з оголенням і корозією арматури несних конструкцій – 70%, руйнування деформаційних швів через недосконаліть конструкцій – 68 %, руйнування покриття проїзної частини – 60 %, сколи та раковини в залізобетонних конструкціях – 65 %, недостатній захисний шар арматури – 60 %, розлад об'єднання діафрагм у прогонових будовах, руйнування захисного покриття і корозія металу сталевих мостів – 41 %, дефекти підводної частини опор – 40 % [7]. На одній споруді зможе бути декілька дефектів, наведених вище, які взаємно впливають на стан конструкції в цілому. Найбільше дефектів, незалежно від статичної схеми і матеріалу прогонових будов, як правило, з'являється на мостовому полотні, яке знаходиться під безпосереднім впливом тимчасового навантаження і впливом довкілля.

Виклад основного матеріалу. На довговічність мостових конструкцій істотно впливає навколишнє середовище, тобто інтенсивність опадів і відлиг, тиск вітру, наявність агресивних речовин в атмосфері. У роботах [8-10], присвячених дослідженню особливостей експлуатації бетонних та залізобетонних конструкцій в агресивних середовищах показано, що вирішальний вплив на швидкість протікання корозійних процесів чинить температура навколишнього середовища. Показано, що температура впливає на хід електрохімічної корозії, оскільки вона змінює розчинність вторинних продуктів корозії, на швидкість дифузійних процесів тощо. Все це створює досить несприятливі умови для довговічності бетонних конструкцій. Слід зазначити, що капітальний ремонт таких конструкцій після тривалої дії корозії потребує значних фінансових витрат.

На рисунку 1 показано сценарії зміни клімату для прогнозування майбутніх концентрацій парникових газів, які були зроблені для регіону в Італії [8]: на 1*а* показано результуючий тренд зміни середньорічних температур, на 1*б* – відповідне збільшення швидкості корозії у відсотках. Наприкінці століття прогнозується зміна швидкості корозії до 14%, якщо враховувати лише річні коливання, але ще більші зміни очікуються, якщо в аналізі враховувати добові коливання.

Арматурна сталь у бетоні природним чином захищена від корозії завдяки високій лужності бетонного середовища. Однак, у результаті процесу карбонізації або впливу хлоридів захисний бар'єр зникає і метал піддається корозії. Існує багато різних способів захисту арматурних стержнів транспортних споруд. Одним з них, є використання певних хімічних субстанцій (інгібітори корозії), які додаються на етапі бетонування, захищаючи арматурну сталь шляхом утворення захисного шару на поверхні металу.

Основною метою дослідження було експериментальне визначення ефективності застосування інгібіторів корозії та їхнього впливу на довговічність транспортних конструкцій. Із сучасних методів для експериментального дослідження впливу інгібіторів корозії використано метод акустичної емісії. Акустична емісія (АЕ) – це явище, що полягає у випромінюванні пружних хвиль у твердих тілах

при їх деформації. Перші роботи про застосування акустичної емісії у дослідженні корозійних процесів матеріалів з'явились у 70-их роках XX століття. Дослідженням займались Муравін Г.Б., Финкель В.М., Симкин Я.В., Бакулин А.В., Попов В.І., Реттінг Т., Мансфілд Ф., Стокер Р., Рогерс Л., Друченко В.А., Новаковский В.М., Скот І., Вільсон Л., Сигенори Ю., Венг М., Непман Р., Сіерадський К., Юяма С., Кіші Т., Стороженко Н.А., Дробот Ю.Б., Баранов В.М., Панасюк В.В., Коваль П.М., Фаль А.М. та інш.

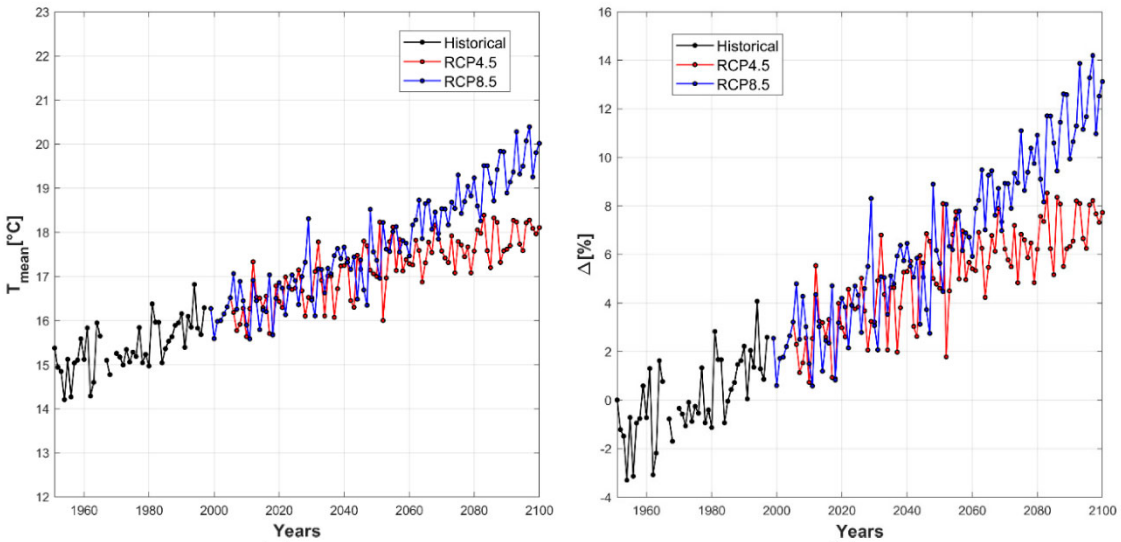


Рисунок 1 – Тенденція зміни температури (a) і відсоткова зміна швидкості корозії для провінції Італії (b) [8]

Figure 1 – Temperature evolution trend (a) and percentage variation in corrosion rate for the province of Italy (b) [8]

Точкове джерело АЕ випромінює сферичну хвилю, поздовжнього або поперечного типу. При падінні на поверхню матеріалу, вона відбивається й трансформується, в результаті виникають нормальні хвилі, амплітуда яких знижується із збільшенням відстані значно повільніше.

Задача ідентифікації сигналів АЕ від тріщин у роботі [11] вирішується на основі аналізування форми обвідної АЕ сигналу. Автором показано, що сигнали АЕ від тріщини при деформуванні можна виділяти за ступенем зміни густини енергії в них. Введено критеріальну оцінки K_p виявлення сигналів АЕ від тріщин для визначення якої використовують формулу:

$$K_{pj} = lg\left(\frac{E_{cj}}{\tau_j^2}\right) + B + C \qquad (1)$$

де E_{cj} – енергія від j-го зареєстрованого сигналу АЕ;

τ_j – тривалість зареєстрованого сигналу АЕ;

B – поправочний коефіцієнт чутливості АЕ-апаратури;

C – поправочний коефіцієнт порогу амплітудної дискримінації.

Експериментальне дослідження проведено двома серіями: з використанням традиційних методик (перша серія) і з використанням АЕ (друга серія). Для прискорення процесів корозії матеріалів проводилось вивчення електрокорозії дослідних зразків на основі методів, що базуються на законах електролізу (перший та другий закони Фарадея) і направлених на визначення закономірностей втрат маси зразків від кількості електричного струму, що проходить через них.

В залізобетонних конструкціях транспортних споруд часто використовується бетон не нижче класу С25/30 та арматурна сталь у вигляді стержневої арматури класу А400С (А-ІІІ) без термічного зміцнення. Для збільшення чутливості зразків до процесів корозії в дослідженнях використовувався дрібнозернистий бетон класу С25/30 та арматура В-І.

Співвідношення між основними лінійними розмірами зразка – заввишки h і сторонами основи a – залежить від методу вимірювань механічних характеристик. Співвідношення між h і a прийнято, виходячи з таких умов:

- під час випробувань у середній частині зразка має бути зона, напружений стан якої можна вважати однорідним;
- її розмір має дозволяти вимірювати деформаційні характеристики матеріалу;
- при дослідженні зразків різних абсолютних розмірів співвідношення між загальним обсягом зразка й обсягом його середньої зони має бути завжди однаковим.

Теоретичними й експериментальними дослідженнями встановлено, що у зразку біля торців є зони заввишки (0,5 - 1,0)a, що перебувають в умовах неоднорідного напруженого стану, викликаного опорним тертям і деформацією опорних плит випробувальної машини. Тому для отримання порівняльних результатів прийнято відношення (h/a), рівне 4.

Мінімальний розмір сторони основи вибрано з умови, що напружено-деформований стан у перерізі можна вважати однорідним для матеріалу певної структури. У звичайних важких і легких бетонах за неоднорідність приймають зерна грубого наповнювача, а в порожнистих – великі пори. Виходячи з цієї передумови, відношення (d_3/a) має не перевищувати 1/5.

Експеримент складався з двох серій по 12 зразків в кожній в формі призм розміром 40х40х160 мм із встановленням у центрі сталевого стержня (для більш достовірного оцінювання процесів електрокорозії). При виготовленні 6 зразків було використано 3% добавки інгібітору Ferrogard 901 від ваги цементу. Інші 6 зразків були контрольні – тобто без добавки інгібітору.

Складові частини бетону в перерахунку на 1 м^3 бетону:

- пісок $М_{кр}$ 1,4 – 1450 кг;
- цемент М 400 Кам'янець-Подільського заводу – 450 кг;
- вода – 420 л.

Центральні сталеві стержні було виготовлено з дроту ∅5В-І завдовжки 159 мм. Поверхню стержня було очищено та відшліфовано від корозії, бруду і мастила. Після цього їх зважували і вкладали в форму для бетонування.

Ураховуючи той факт, що процеси пропарювання бетону вкрай негативно впливають на активність інгібітора корозії Ferrogard 901, процес твердіння зразків відбувався у природних умовах. Для прискорення твердіння бетону в суміш додавався пластифікатор Sikament PC-143 у кількості 2,0% від маси цементу. Початок першої серії випробувань співпадав із моментом, коли бетон набував 70% проєктної міцності. Після закінчення процесу формування зразки прогрівали до температури 30°С протягом 24 годин, а потім добу витримували на відкритому повітрі.

Далі зразки поміщали у контейнер розміром 300х300х150 мм і засипали зволоженим піском. Бокові площини зразків обертали алюмінієвою фольгою, яка виконувала функцію катода. Зволожений

пісок щільно притискав фольгу до поверхні зразків. Для надійного контакту фольги з провідником («мінус» джерела живлення) поверх фольги намотувався алюмінієвий провід ∅3 мм, який також виконував функцію катода. Всі катоди зразків були з'єднанні паралельно мідним провідником до клеми «мінус» джерела живлення. «Плюс» джерела живлення через комутатор припаювався до центрального сталевого стержня зразка. Другий кінець ізолювався епоксидною смолою. Розміщення зразків у пластиковому контейнері наведено на рисунку 2, 3.

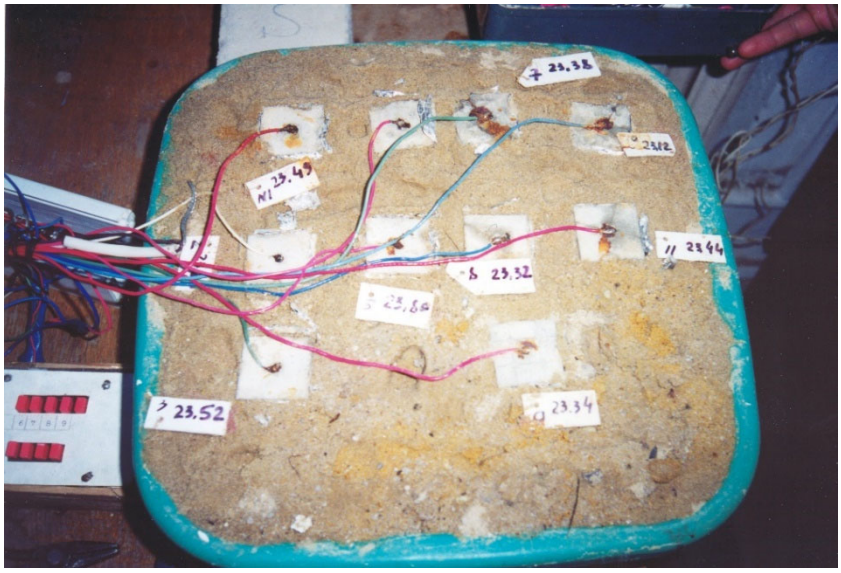


Рисунок 2 – Розміщення зразків у контейнері (перший етап досліджень)
Figure 2 – Placing samples in a container (first stage of research)

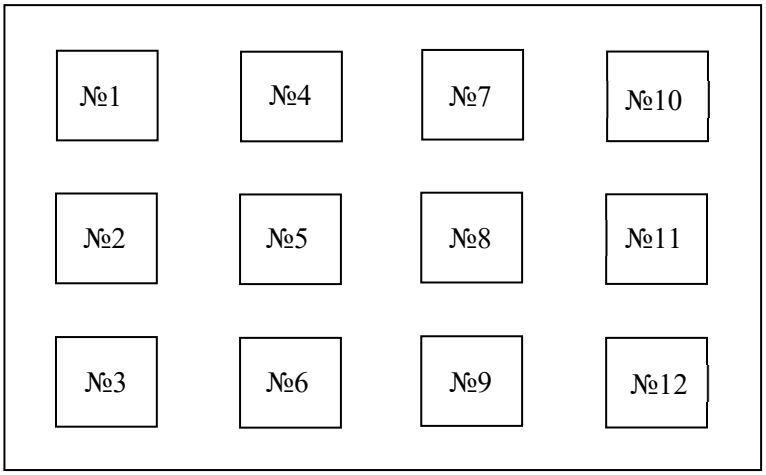


Рисунок 3 – Схема розміщення зразків в контейнері при випробуваннях,
де №1-№6 – з інгібітором, №7-№12 – без інгібітору (контрольні)
Figure 3 – Scheme of sample placement in container during test,
where №1-№6 - with inhibitor, №7-№12 - without inhibitor (control)

При дослідженні зразків першої серії визначали залежність впливу величини електричного струму (А*год), що проходив через одиницю площі арматурного стержня, та втрати маси зразка (гр.) в результаті електричної корозії залежно від наявності інгібітора корозії. Також визначалась можлива втрата міцності бетону через утворення тріщин.

Як відомо, при окисленні сталевого стержня об'єм продуктів корозії більший ніж об'єм чистого металу, і тому всередині зразка розвивається тиск, величина якого може досягати до 150-300 кг/см^2 [12]. Такі зусилля призводять до появи в бетонних зразках спочатку мікротріщин, а пізніше з ростом продуктів корозії й макротріщин з подальшою втратою міцності зразка. Крім того через тріщини до середини зразка може потрапляти волога, електричний струм проходить через рідину в тріщинах, а не через бетон, що значно зменшує електричний опір.

Під час досліджень другої серії зразків вимірювали електричний опір, питомий електричний опір бетону, визначали як різницю електродного потенціалу системи «арматура – електролітичне середовище – мідносульфатний електрод порівняння» та досліджували акустичну емісію, що супроводжувала процес електрохімічної корозії. Вік зразків становив 200 діб. Вимірювання питомого електричного опору досліджуваних зразків проводилось за допомогою приладу «RESI» (рисунок 4).



Рисунок 4 – Обладнання для проведення досліджень другої серії зразків
Figure 4 – Equipment for the testing of the second series of samples

Результати випробування першої серії лабораторних випробувань.

У процесі утворення тріщини, волога потрапляла до середини зразка, що спрощувало шляхи протікання електричного струму не через товщу бетону, а через тріщини.

Підрахунок втраченої маси Δm на одиницю площі 1 м^2 проводився за формулою:

$$\Delta M = \frac{\Delta m}{S} \quad (2)$$

де S – площа сталевого стержня, м^2.

Швидкість електрокорозії стальної арматури знаходили за формулою:

$$V = \frac{\Delta M}{T} \quad (3)$$

де Т – кількість ампер-годин спожитих залізобетонним зразком.

Результати досліджень наведено в таблиці 1 і 2.

Таблиця 1 – Зміна величини електричного опору зразків з інгіботором №1 та №2 з часу
Table 1 – Changes in electrical resistance of samples with inhibitors №1 and №2 over time

	Величина опору, відповідно до терміну (доби), R, Ом							
Доби:	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Зразок №1	*286*	*513*	*741*	*1071*	*1636*	*2444*	*2857*	*3333*
Зразок №2	*381*	*637*	*800*	*1154*	*1636*	*2209*	*2414*	*2817*
Доби:	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**
Зразок №1	*4102*	*6666*	*6780*	*8000*	*8500*	*7500*	*7816*	*8333*
Зразок №2	*2666*	*3896*	*4266*	*4507*	*4533*	*4500*	*3980*	*3921*
Доби:	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
Зразок №1	*7368*	*6198*	*5000*	*3888*	*1750*	*1298*	*1444*	*1454*
Зразок №2	*3684*	*3000*	*1666*	*1458*	*1707*	*1852*	-	-

Таблиця 2 – Зміна величини електричного опору контрольних зразків №7 та №8 з часу
Table 2 – Changes in electrical resistance of control samples №7 and №8 over time

	Величина опору, відповідно до терміну (доби), R, Ом							
Доби:	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Зразок №7	*340*	*555*	*579*	*625*	*857*	*1208*	*1233*	*1212*
Зразок №8	*355*	*704*	*909*	*909*	*923*	*740*	*982*	*1012*
Доби:	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**
Зразок №7	*1185*	*1250*	*1523*	*1730*	*1818*	*2045*	*2210*	*2307*
Зразок №8	*1010*	*1250*	*1410*	*1488*	*1726*	*1956*	*1562*	*2222*
Доби:	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
Зразок №7	*2500*	*2678*	*2678*	*3684*	*4275*	*4425*	*2888*	*1485*
Зразок №8	*2414*	*2613*	*3409*	*4375*	*5185*	*5555*	-	-

Результати випробування другої серії лабораторних випробувань.

На рисунку 5 представлено зміну питомого опору бетону досліджуваних зразків з добавкою інгібітору і без нього. Оскільки зразки знаходяться в одному і тому ж середовищі, можна стверджувати, що швидкість електрокорозії зразка з інгібітором (Б2І) менша у порівнянні із контрольним зразком (Б6К). Згідно тарувальних таблиць приладу на рисунку зонами позначено границі ймовірності виникнення корозії арматури. Зона І – корозії немає, ІІ – існує ймовірність виникнення корозії, ІІІ – висока ймовірність виникнення корозії.

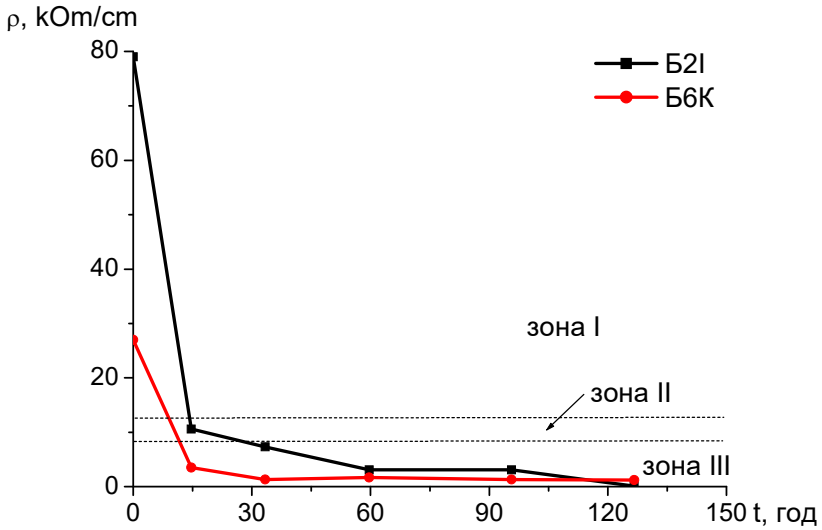


Рисунок 5 – Зміна питомого опору зразка з інгібітором (чорна лінія) та контрольного (червона лінія) з часом (годин)

Figure 5 – Change in resistivity of sample with inhibitor (black line) and control (red line) over time (hours)

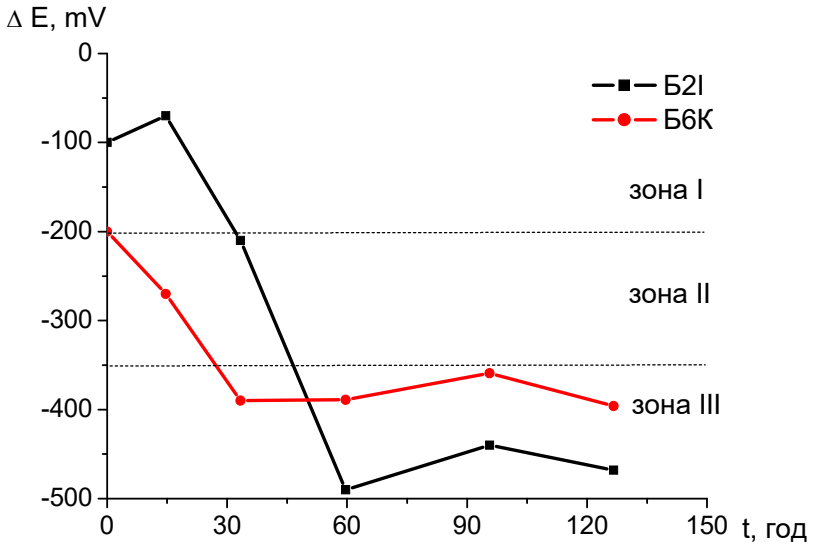


Рисунок 6 – Зміна різниці електродного потенціалу системи «арматура – електролітичне середовище – мідносульфатний електрод порівняння» зразка з інгібітором (чорна лінія) та контрольного зразка (червона лінія) з часом (годин)

Figure 6 – Change in resistivity of sample with inhibitor (black line) and control (red line) over time (hours)

На рисунку 6 представлено зміну різниці між електродним потенціалом «арматура – електролітичне середовище» та мідносульфатним електродом порівняння. Аналогічно до питомого опору бетону зонами позначено границі ймовірності виникнення корозії арматури. Зона І – ймовірність

корозії складає менше 10%, II – проміжна зона, III – ймовірність виникнення більше 90%. Наявність інгібітору корозії в бетоні, як помітно із рисунків 7 і 8, на перших етапах випробування стримує падіння питомого опору бетону зразків та електродного потенціалу металу арматура-електролітичного середовища бетону.

У процесі аналізування було помічено схожість процесів у зразках з інгібітором та без нього залежно від накопичення кількості та енергії сигналів акустичної емісії (АЕ) у зразках під впливом електрохімічної корозії.

У таблиці 3 наведено результати оброблення експериментальних данних спожитої кількості струму (ампер-годин), характер тріщиноутворення та втрат маси сталевих зразків (гр.) за результатами першої серії випробувань. У наведеній таблиці зразки з 1 по 6 мають домішки інгібітору, зразки з номеру 7 по 12 – контрольні.

Таблиця 3 – Результати споживання кількость струму (ампер-годин) і втрат маси сталевих стержнів

Table 3 – Results of current consumption (ampere-hours) and weight loss of steel bars

№ зраз-ка	Кількість спожитих ампер-годин, а·год	Втрата маси, гр.	Втрата маси на 1 м^2 площі, гр/м^2	Швидкість корозії в гр/м^2×а.г	Кількість ампер-годин до тріщин	Примітки
1	3	4	5	6	8	9
1	7,76	1,36	544	70,1	6,357	Зразки з інгібітором
2	10,462	2,31	924	88,3	5,418	
3	3,56	0,22	88	24,7	-	
4	4,088	0,2	80	19,6	-	
5	2,47	0,18	72	29,15	-	
6	2,54	0,26	104	40,9	-	
7	12,468	2,75	1100	88,2	4,114	Контрольні зразки
8	12,062	2,95	1180	97,8	5,1	
9	8,65	1,79	716	82,8	4,923	
10	6,953	0,94	376	54,1	5,675	
11	4,16	0,24	96	23,1	3,024	
12	2,924	0,12	48	16,4	-	

Величина внутрішніх додаткових зусиль, що виникає в зразках у процесі електрохімічної корозії арматури, пропорційна кількості спожитих цим зразком ампер-годин. У результаті досліджень було визначено, що різниця між середнью кількістю спожитих одним зразком ампер-годин з інгібітором і контрольних складає 29,1%. Це дозволяє говорити про те, що зразки з інгібітором мають більшу корозійну тріщиностійкість, ніж контрольні зразки.

На рисунку 7 показано діаграму зміни залежності величини втрати маси стальрних стрижнів дослідних зразків за результатами випробування.

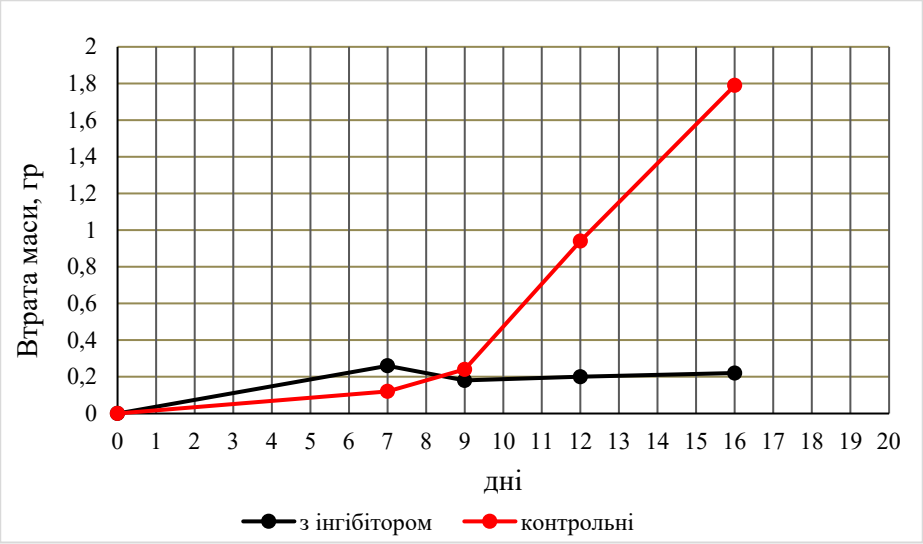


Рисунок 7 – Діаграма залежності величини втрати маси стальних стрижнів зразків з інгібітором (чорна лінія) та контрольного (червона лінія) з часом (дні)

Figure 7 – Graph of mass loss of steel bars from inhibitor (black line) and control (red line) samples over time (days)

Як видно з рисунку 7, за однаковий період досліджень врати маси стальних стрижнів в зразках із домішками інгібітору в 9 разів менші за аналогічні втрати в контрольних зразках.

Висновки. Основною проблемою довговічності транспортних споруд є корозія окремих елементів. Наявність інгібітора корозії сповільнює зменшення питомого опору бетону досліджуваних зразків та стримує падіння електродного потенціалу системи «арматура-електролітичне середовище».

Електрохімічна корозія арматури в залізобетонних зразках сприяє виникненю випромінювання сигналів акустичної емісії АЕ, що має два чітко виражених етапи. Перший етап перебігу процесу випромінювання сигналів АЕ, що свідчить про руйнування оксидних плівок у разках із інгібітором, відбувається повільніше і є більш тривалим. На першому етапі перебігу процесу випромінювання сигналів АЕ відбувається зміщення максимального значення параметру K_p, що має найбільшу кількість сигналів АЕ, у бік менших значень. Аналіз значень параметра K_p сигналів АЕ встановив, що початок процесу мікротріщиноутворення у зразках із інгібітором розпочинається після 84 годин, а у контрольних зразках – після 57 годин електрокорозії.

Тріщиностійкість зразків із інгібітором значно вища за зразки без інгібітора. Величина швидкості протікання процесів корозії в зразках без інгібітора практично в три рази більша, ніж аналогічна в зразках із інгібітором.

В цілому, застосування інгібіторів корозії є ефективним і вирішує проблему захисту арматури в прикордонній з відремонтованою зоні при ремонті залізобетонних мостових конструкцій, які тривалий час знаходилися в експлуатації. Застосування інгібіторів корозії також доцільне в конструкціях транспортних споруд, які знаходяться в зонах блукаючих струмів та на яких розташовані комунікації з електричними мережами постійного струму.

Перелік посилань

1. ДБН В.2.3-22:2009. Мости та труби. Основні вимоги проектування. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 73 с.

2. Боднар Л.П., Коваль П.М., Степанов С.М., Панібратець Л.Г. Експлуатаційний стан мостів України. Науково-виробничий журнал Автошляховик України, 2019, №2, С. 57-67. https://doi.org/10.33868/0365-8392-2019-2-258-57-68

3. ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 49 с.

4. Башкевич І.В., Євсейчик Ю.Б., Медведев К.В., Фаль А. Є., Янчук Л.Л. Аналітична модель експертної оцінки стану мостів. Науково-технічний збірник Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, 2022, Вип. 112, С.154-162. https://doi.org/10.33744/0365-8171-2022-112-154-162

5. Башкевич І.В., Євсейчик Ю.Б., Медведев К.В., Янчук Л.Л. Визначення функції інтенсивності відмов на основі марківського процесу. Науково-технічний збірник Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, 2021, №109, С. 79-87. https://doi.org/10.33744/0365-8171-2021-109-079-087

6. Медвєдєв К.В., Євсейчик Ю.Б., Янчук Л.Л., Корецький А.С., Рубльов А.В., Паровенко О.М. Визначення пріорітетності відновлення об'єктів транспортної інфрастуркури з урахуванням експертного оцінювання. Науково-технічний збірник Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, 2023, Вип. 114. Частина 2, С.68-80 https://doi.org/10.33744/0365-8171-2023-114.2-068-080

7. Онищенко А.М., Янчук Л.Л., Башкевич І.В., Найдьонова З.М., Коротич А.В., Здольник О.В. Методи підвищення корозійної стійкості та довговічності транспортних і гідротехнічних споруд. – К.: НТУ, 2023. – 152 с.

8. Zucca M., Landi F., Puppio ML., Mistretta F., Formichi P., Croce P. Climate Change Impact on Corrosion of Reinforced Concrete Bridges and Their Seismic Performance. Applied Sciences. 2024, 14(1): 60. https://doi.org/10.3390/app14010060

9. Болотов М., Болотов Г., Прибитько І., Корзаченко М. Шляхи підвищення корозійної стійкості залізобетону. Науковий журнал Технічні науки та технології, 2019, №4(18), С.247-258. https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-4(18)-247-258

10. Hua-Peng Chen, Jaya Nepal. Evolution of structural behaviour of corrosion damaged reinforced concrete bridges. The 15th International Conference on Structural Faults & Repair, 2014, https://www.researchgate.net/publication/280100478

11. Філоненко С.Ф. Акустична емісія. Вимірювання, контроль, діагностика. К.: КМУЦА МОН Украины, 1999. – 304 с.

12. ДСТУ Б В.2.7-171:2008. Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови. – К. : Мінрегіонбуд України, 2008. – 35 с.

STUDY OF THE IMPACT OF CORROSION ON THE DURABILITY OF TRANSPORT STRUCTURES WITH THE USE OF INHIBITORS USING THE METHOD OF ACOUSTIC EMISSION

Artur Onyshchenko, D.Sc. (Doctor of Engineering Sciences), Professor, Head of the Department of Bridges, Tunnels and Hydraulic structures, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, tel.+380442807978, https://orcid.org/0000-0002-1040-4530.

Iryna Bashkevych, PhD (Candidate of Engineering Sciences), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Bridges, Tunnels and Hydraulic structures, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: iv.bashkevych@gmail.com, tel.+380442807978, https://orcid.org/0000-0001-7640-4317.

Leonid Yanchuk, PhD (Candidate of Engineering Sciences), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Bridges, Tunnels and Hydraulic structures, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: leonid.ianchuk@gmail.com, +380442807978, https://orcid.org/0000-0003-1269-1251.

Anton Horiunov, master's student of the Department of Bridges, Tunnels and Hydraulic structures, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: gorunoffbox@gmail.com, +380442807978, https://orcid.org/0009-0005-3339-1073.

Summary. This article examines the effect of metal corrosion on the durability of transport structures. The operational condition of transport structures is determined by their ability to withstand working loads and environmental factors over their design life. Corrosion of elements can significantly affect the characteristics of the structure, leading to a reduction in its strength and resistance to loads. In particular, corroded elements can lose their structural properties, contributing to the appearance of cracks, deformations, and other defects. Such defects deteriorate the serviceability of the structure, increase the risk of accidents, and reduce the overall level of safety.

This article presents the results of an experimental study on the effect of corrosion inhibitors on the crack resistance of transport structures. The study was carried out using modern inhibitors that have demonstrated their effectiveness under various operating conditions. From the data obtained, it can be concluded that the use of corrosion inhibitors can significantly extend the service life of transport structures.

The method used to experimentally study the effect of corrosion inhibitors was the acoustic emission method. This method allows for the recording and analysis of acoustic waves in the material of the structure as they change due to scattering from cracking or corrosion. The use of the acoustic emission method provides accurate data on the development of corrosion processes and the effectiveness of the applied inhibitors.

The results obtained have important practical implications for ensuring the safety and reliability of transport structures, as well as for reducing maintenance and repair costs. Maintaining the proper operational condition of transport structures is crucial for ensuring their functionality and safety, especially under conditions of intensive use and aggressive environmental impact.

Keywords: transport structures, durability, crack resistance, corrosion, corrosion inhibitors, acoustic emission

References

1. DBN B.2.3-22:2009. Bridges and pipes. Basic design requirements. – K. : Minregionstroi Ukraine, 2009. – 73 p.

2. Bodnar L., Koval P., Stepanov S., Panibratets L. Operational state of bridges of Ukraine. A Scientific and Industrial Journal the Avtoshliakhovyk Ukrayiny, 2019, №2, P. 57-67. https://doi.org/10.33868/0365-8392-2019-2-258-57-68

3. DSTU-H B V.2.3-23:2009. Guidelines for assessing and forecasting the technical condition of road bridges. – K. : Minregionstroi Ukraine, 2009. – 49 p.

4. Bashkevych I., Evseichyk Y., Medvediev K., Fal A., Yanchuk L. Analytical model expert assessment condition of bridges. Scientific and technical collection Automobile roads and road construction, 2022, Issue 112, P.154-162. https://doi.org/10.33744/0365-8171-2022-112-154-162

5. Bashkevych I., Evseichyk Y., Medvediev K., Yanchuk L. Determination of failure function on the basis of the markovian process. Scientific and technical collection Automobile roads and road construction, 2021, №109, P. 79-87. https://doi.org/10.33744/0365-8171-2021-109-079-087

6. Medvediev K., Evseichyk Y., Yanchuk L., Koretsky A., Rublev A., Parovenko O. Determination of the priority of transportation infrastructure objects taking into account expert assesment. Scientific and technical collection Automobile roads and road construction, 2023, Issue 114. Part 2, P.68-80 https://doi.org/10.33744/0365-8171-2023-114.2-068-080

7. Onyshchenko A., Yanchuk L., Bashkevych I., Naydenova Z.M., Korotych A.V., Zdolnyk O.V. Methods of increasing corrosion resistance and durability of transport and hydraulic structures. – K.: NTU, 2023. – 152 p.

8. Zucca M., Landi F., Puppio ML., Mistretta F., Formichi P., Croce P. Climate Change Impact on Corrosion of Reinforced Concrete Bridges and Their Seismic Performance. Applied Sciences. 2024, 14(1): 60. https://doi.org/10.3390/app14010060

9. Bolotov M., Bolotov G., Prybytko I., Korzachenko M. Ways of increasing of reinforced concrete's corrosion strenght. Technical sciences and technology, 2019, №4(18), P.247-258. https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-4(18)-247-258

10. Hua-Peng Chen, Jaya Nepal. Evolution of structural behaviour of corrosion damaged reinforced concrete bridges. The 15th International Conference on Structural Faults & Repair, 2014, https://www.researchgate.net/publication/280100478

11. Filonenko S.F. Acoustic emission. Measurement, control, diagnostics. K.: CMUCA of the Ministry of Education and Science of Ukraine, 1999. – 304 p.

12. DSTU B V.2.7-171:2008. Construction materials. Additives for concrete and mortars. General technical conditions. – K. : Minregionstroi Ukraine, 2008. – 35 p.

УДК 624.014.27-422.12:624.21:625.745.2 **DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-121-136**
UDC624.014.27-422.12:624.21:625.745.2

ПІДВИЩЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ОСНОВ ПРИ БУДІВНИЦТВІ СПОРУД ІЗ МЕТАЛЕВИХ ГОФРОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ ЗАЛЯГАННЯ СЛАБКИХ ГРУНТІВ

INCREASING THE BEARING CAPACITY OF THE FOUNDATION IN THE CONSTRUCTION OF STRUCTURES FROM METAL CORRUGATED STRUCTURES IN THE CONDITIONS OF WEAK SOILS



Онищенко Артур Миколайович, *доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Мости, тунелі і гідротехнічні споруди» Національний транспортний університет, e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, Україна, 01010,*

http://orcid.org/0000-0002-1040-4530



Ковальчук Віталій Володимирович, *доктор технічних наук, професор, професор кафедри залізничного транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: kovalchuk.diit@gmail.com, вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013*

https://orcid.org/0000-0003-4350-1756



Карнаков Ігор Анатолійович, *аспірант кафедри «Мости, тунелі і гідротехнічні споруди» Національний транспортний університет, e-mail: ihor.karnakov@gmail.com, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, Україна, 01010,*

http://orcid.org/0000-0002-8751-9934



Гаркуша Микола Васильович, *кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Мости, тунелі і гідротехнічні споруди», Національний транспортний університет, e-mail: nicolas89@bigmir.net, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, Україна, 01010.*

https://orcid.org/0000-0002-5388-0561



Балашова Юлія Борисівна, *кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Український державний університет науки і технологій ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», e-mail: yuliabalashova72@gmail.com, тел. +380507865446, Україна, 49600, м. Дніпро, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, к. 421.,*

https://orcid.org/0000-0002-2286-9263

Анотація. Стаття присвячена проведенню досліджень, які направлені на підвищення несучої здатності основ при будівництві споруд із металевих гофрованих конструкцій в умовах залягання слабких ґрунтів.

Метою роботи є підвищення несучої здатності основ при будівництві споруд із металевих гофрованих конструкцій на слабких ґрунтах. Це дасть змогу забезпечити надійну та довговічну роботу транспортних споруд із збірних металевих гофрованих конструкцій при будівництві та експлуатації таких споруд.

Об'єктом досліджень є основа транспортної споруди із металевих гофрованих конструкцій в умовах залягання слабких ґрунтів.

Проведено дослідження напружено-деформованого стану основи транспортної споруди із металевих гофрованих конструкцій в умовах залягання слабких ґрунтів із врахуванням параметрів ґрунтів отриманих в процесі інженерно-геологічного розрізу.

Встановлено, що основними ризиками при будівництві транспортних споруд на слабких ґрунтах є деформації ґрунтової основи. Вони можуть проявитися при передачі зусиль від транспортної споруди і змінних навантажень, а також від зміни фізико-механічних властивостей ґрунтів основи в період будівництва та експлуатації споруди.

Результати розрахунків напружено-деформованого стану основи без підсилення показали, що максимальне значення величин загальних переміщень становить близько 5,12 см, що є недопустимим по деформаціям для бетонного покриття. При цьому величина вертикальних напружень становить 803,5 кН/м^2. Тому для компенсації початкових деформацій рекомендованого застосування привантаження на всю ділянку майданчика з навантаженням 10 кН/м. За рахунок привантаження максимально знімаємо напруження та деформації до того як влаштовувати конструкції споруди.

Запропоновано підсилення основи споруди на слабких ґрунтах методом влаштування залізобетонних паль. При застосуванні паль для підсилення основи на слабких ґрунтах встановлено, що максимальне значення величини загальних переміщень на етапі навантаження склало 2,36 см, що є допустимим по деформаціям для бетонного покриття.

Ключові слова: транспортна споруда, металеві гофровані конструкції, основа, напруження, деформації.

Вступ. Основними ризиками при будівництві об'єктів критичної інфраструктури транспорту, при влаштуванні бетонної основи на ґрунтову, є деформації ґрунтової основи. Які виникають при передачі зусиль від споруди, а також від зміни фізико-механічних властивостей ґрунтів основи в період будівництва та експлуатації споруди. Деформації ґрунтової основи можуть проявлятися у вигляді осідання, просідання, вздуття та випирання. При цьому деформації основи можуть відбуватися у вертикальному та горизонтальному напрямах. Це впливає на загальну несучу здатність транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій.

Слід зазначити, що при будівництві транспортних споруд на глинистих ґрунтах осідання основи згасає дуже повільно, а в окремих випадках згасання не настає зовсім. При цьому просідання зазвичай відбуваються безпосередньо після зміни фізичних властивостей ґрунту основи або його структури.

При значних навантаженнях на основу, може спостерігатися різка деформація основи, пов'язана з випиранням ґрунту з-під фундаментів.

Підйом поверхні основи може відбуватися внаслідок пучення пилуватих суглинків та супісків, бічного випирання слабкого ґрунту під дією великих навантажень.

Відповідно до вимог нормативних документів ДБН А.2.1-1, ДБН В.2.1-10, при проєктуванні основ і фундаментів слід забезпечувати найбільш повне використання несучої здатності і деформативності ґрунтів основи та фізико-механічних властивостей матеріалів фундаментів і підземних конструкцій. Крім цього слід враховувати можливість зміни стану та фізико-механічних властивостей ґрунтів під дією природних чи техногенних факторів у процесі будівництва та експлуатації споруд.

При проєктуванні основ і фундаментів необхідно виключати можливість виникнення деформацій, що можуть зумовити руйнування основи чи споруди.

Отже, одним із вагомих чинників впливу на несучу здатність транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій (МГК) є основа. Тому дослідження, які направлені на підвищення несучої здатності основ при будівництві споруд із МГК мають практичне значення. Проведення досліджень із розробки методів підвищення несучої здатності основ при будівництві споруд із МГК на слабких ґрунтах є актуальною задачею наукового дослідження.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. При будівництві та експлуатації транспортних споруд із збірних металевих гофрованих конструкцій (ЗМГК) бувають випадки нерівномірних осідань і деформацій. Для забезпечення несучої здатності потрібно добре підготувати ґрунтову основу. Оскільки правильно підготовлена основа для заданої форми поперечного перерізу споруди із ЗМГК дозволить забезпечити проектне положення лотка і його ухил без концентрації тиску на основу.

Тому споруди із ЗМГК укладають безпосередньо на добре підготовлену основу, піщану або піщано-гравійну, також можна вкладати на подушку з малостиснутого, добре ущільненого ґрунту, що забезпечує рівномірне спирання труби протягом усього терміну служби. З цією метою подушку влаштовують з піску, гравію, щебню або суміші цих матеріалів, укладаючи її на природний ґрунт основи після видалення верхнього піщано-рослинного шару. Крупність частинок ґрунту подушки має перевищувати 50 мм.

У випадку слабких ґрунтів відбувається спеціальне зміцнювання ґрунтів, застосування залізобетонних паль тощо.

Розміри піщано-гравійної подушки призначають з урахуванням міцності ґрунтів основи. Ширину її приймають, як правило, не менше діаметра труби плюс 1,0 м для всіх ґрунтів основи, крім слабких. Слабкі ж ґрунти видаляють і замінюють піском, гравієм, щебнем або їх сумішшю, ширина подушки в цьому випадку має бути не менше двох діаметрів труби. Товщину подушки в всіх випадках приймають не менше 40 см, рахуючи від нижньої точки труби.

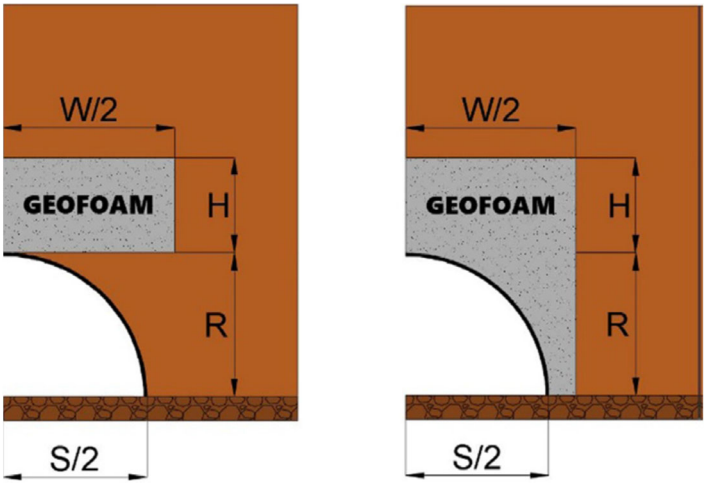
Тверді скельні включення потрібно розробляти нижче рівня ложа та замінювати їх подушкою з дренують ґрунтів.

Питанням експериментальних та теоретичних досліджень споруд із металевих гофрованих конструкцій приділено ряд наукових досліджень та публікацій. У роботі [1] наведено рекомендації щодо міцності для глибоко заглиблених круглих гофрованих сталевих арок з різними співвідношеннями висоти та прольоту. Проте дослідження напружено-деформованого стану металевих конструкцій виконано лише із врахуванням радіального обмеження ґрунтової засипки, без врахування фізико-механічних параметрів основи споруди.

У роботі [2] зроблено висновок, що довговічність та несуча здатність транспортних споруд із МГК залежить від якості виконання ґрунтової засипки. При цьому у праці [3], зазначено, що при не забезпечені нормативного ступеню ущільнення ґрунтової засипки споруд із МГК різко знижується несуча здатність споруд. Однак у даних працях дослідження проведені тільки із врахуванням ступеню ущільнення ґрунтової засипки, без врахування впливу слабких основ на міцність споруд із металевих гофрованих конструкцій.

У праці [4] проведено дослідження впливу глибини заглиблення на поведінку металевих гофрованих труб. Встановлено, що із збільшенням глибини заглиблення на 25 % максимальна деформація труби у вершині зменшилася на 31 %. Однак досліджень впливу фізико-механічних властивостей ґрунтів основи поведінку труби не виконано.

У роботі [5] досліджується вплив монтажу траншеї, у якому використовується пінополістирол (EPS) як м’який або стисливий матеріал, на поведінку заглибленої гофрованої сталевої аркової конструкції за допомогою різноманітних параметричних досліджень. Щоб зменшити вертикальний тиск землі на труби, шар стисливого матеріалу пінополістиролу (EPS) геопіна, розміщений безпосередньо над або навколо заглибленої конструкції.



а б

Рисунок 1 – Влаштування шару пінополістеролу по контуру арки для зменшення сили тиску ґрунту [5]: а – розміщення над вершиною конструкції, б – розміщення навколо металевих конструкцій

Figure 1 – Arrangement of a layer of polystyrene foam along the contour of the arch to reduce the force of soil pressure [5]: a - placement above the top of the structure, b - placement around metal structures

Для моделювання та аналізу конструкції використовувалася програма аналізу кінцевих елементів ABAQUS. Результати аналізу кінцевих елементів показали, що моделі ETI зменшили тиск на землю, прогин і напруження у вершині конструкцій в середньому на 68 %, 40 % і 39 %. Рекомендується провести подальше дослідження щодо ETI для підтвердження результатів і подальшого вдосконалення критеріїв проектування заглибленої гофрованої сталевої арки, оскільки очікується, що це призведе до зниження вартості та стабільності заглиблених конструкцій.

Також у праці [6] встановлено, що використання м'яких зон є дуже ефективним способом зниження навколишнього тиску на глибоко заглиблені бетонні труби.

У роботі [7] доведено, що на деформовані параметри металевих конструкцій транспортних споруд впливає швидкість руху рухомого складу. Однак у роботі не проведено досліджень підвищення несучої здатності основи споруд із МГК.

У роботі [8] наведено результати напружень та деформацій, які виникають у спорудах із металевих гофрованих конструкцій. Однак у роботі не проведено вплив основи на напружено-деформований стан споруд із МГК.

У роботах [9, 10] наведено результати оцінки напружено-деформованого стану споруд із металевих гофрованих конструкцій арочного типу.

У роботі [11] авторами виконано оцінку напружень та величини пластичного шарніру, що виникають у металі конструкцій шляхопроводу із врахуванням схеми розміщення вантажів над шляхопроводом.

Із проведеного аналізу наукових робіт [1–11] встановлено, що у більшості праць наведено результати оцінки напружено-деформованого стану споруд із металевих гофрованих конструкцій, які зазнають дії змінних навантажень від транспортних засобів. Невирішеними залишилися задачі підвищення несучої здатності основи при будівництві споруд із металевих гофрованих конструкцій. Це дасть практичну можливість, оскільки розробка методу підвищення несучої здатності основи споруд із МГК дозволить забезпечити надійну та довговічну роботу транспортних споруд із МГК, що є дуже важливим при будівництві та експлуатації таких транспортних споруд.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення несучої здатності основ при будівництві споруд із металевих гофрованих конструкцій на слабких ґрунтах. Це дасть змогу забезпечити надійну та довговічну роботу транспортних споруд із збірних металевих гофрованих конструкцій при будівництві та експлуатації споруд.

Для досягнення зазначеної мети необхідно виконати наступні завдання:

– провести оцінку напружено-деформованого стану основи із врахуванням навантаження від транспортних засобів;

– провести розрахунок напружено-деформованого стану основи підкріпленої палями при будівництві металевих гофрованих конструкцій;

– навести рекомендації із підвищення несучої здатності основи при будівництві транспортних споруд із збірних металевих гофрованих конструкцій.

Матеріали та методика досліджень. Для розрахунку основи транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій проводиться оцінка напружено-деформованого стану основи із без виконання підсилення та із врахуванням підсилення основи методом влаштування паль. У розрахунках приймається розподілене навантаження величиною 30,11 кН/м^2.

У результаті проведених вишукувань встановлено, що ґрунтові води залягають на глибинах 5,4–10,5 м. Водоносний горизонт безнапірний, живлення ґрунтових вод відбувається переважно за рахунок поверхневих вод та інфільтрації атмосферних опадів.

Геологічний розріз території вишукувань основи споруди складається із інженерно-геологічних елементів (ІГЕ) та одного шару ґрунту, а саме:

–ґрунтово-рослинний шар;

–ІГЕ-1: насипний ґрунт – суглинок легкий пилуватий, світло-коричневий, жовто-сірий, напівтвердий, з прошарками твердого, з включенням будівельного сміття та щебню (10–15) %, з залишками коріння рослин, подекуди з тонкими прошарками ґрунту з домішкою органічних речовин (відвал ґрунту непланомірно зведений без ущільнення);

–ІГЕ-2: насипний ґрунт – суглинок легкий пилуватий, темно-коричневий, темно-сірий, м'якопластичний, з прошарками тугопластичного, з прошарками та лінзами суглинку важкого (15–30) %, з включенням коріння дерев та пеньків, з домішкою органічних речовин та слабозаторфований, подекуди середньозаторфований;

–ІГЕ-2а: насипний ґрунт – суглинок легкий пилуватий, темно-коричневий, темно-сірий, твердий, з прошарками напівтвердого, з прошарками та лінзами суглинку важкого (15–25) %, з включенням коріння дерев та пеньків, з домішкою органічних речовин;

–ІГЕ-3: супісок пилуватий, лесовидний, світло-жовтий, буро-коричневий, світло-коричневий, пластичний, з прошарками та лінзами піску та суглинку (10–15) %;

–ІГЕ-3а: супісок пилуватий, лесовидний (просідний), палево-жовтий, палево-коричневий, твердий з прошарками пластичного, з прошарками та лінзами піску (15–20) %;

–ІГЕ-4: супісок піщанистий, світло-сірий, жовто-сірий, сірий, пластичний, подекуди з прошарками текучого, з прошарками суглинку та глини 10–15 %, з лінзами та прошарками піску (20–30) %;

–ІГЕ-5: пісок середньої крупності, жовто-сірий, коричнево-жовтий, щільний, насичений водою, подекуди з включенням битих мушель, з прошарками та лінзами супіску та піску мілкого (5–10) %;

–ІГЕ-6: пісок середньої крупності, світло-сірий, сіро-білий, щільний, насичений водою, з включенням гравію та дресви (15–25) %, подекуди з включенням битих мушель, з тонкими прошарками переміщеної кори вивітрювання, з прошарками та лінзами піску крупного та мілкого (10–15) %;

–ІГЕ-7: суглинок важкий піщанистий, сіро-білий, зелено-сірий, блакитно-сірий, напівтвердий з прошарками тугопластичного, з перешаруванням супісків та глин (15–25) %, з лінзами та прошарками піску середньої крупності (10–20) %, з включенням гравію та щебню (10–15) %, з включенням битих мушель (5–10) % (переміщена кора вивітрювання скельних порід).

За результатами інженерно-геологічних досліджень пропонуються влаштовувати фундаменти глибокого закладання – палі. У якості ґрунтів основи рекомендовані ґрунти ІГЕ-5, 6.

Для оцінки напружено-деформованого стану основи використано метод скінченних елементів, що реалізований у програмному комплексі PLAXIS. Розрахункова схема основи транспортної споруди наведена на рис. 2.

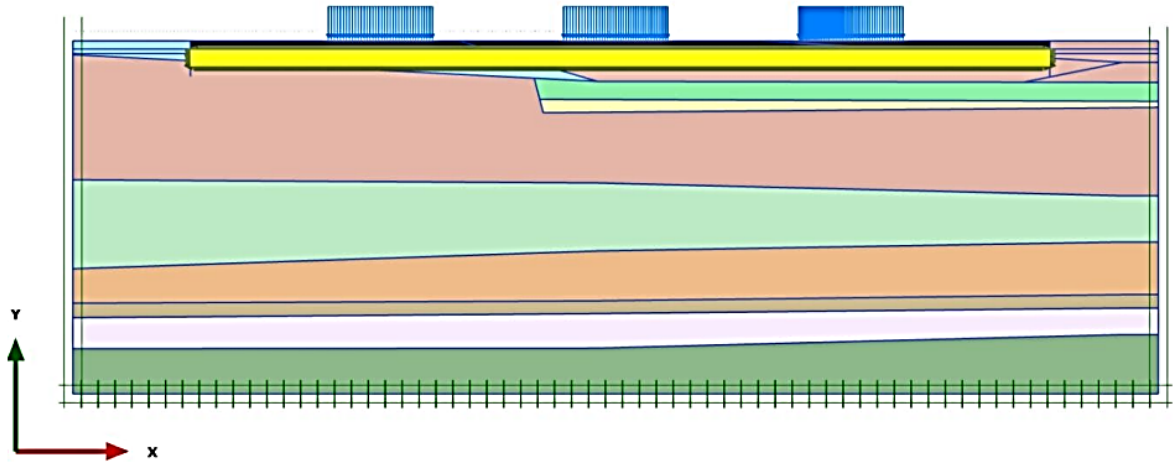


Рисунок 2 – Загальний вид розрахункової схеми основи навантаженої рівномірно-розподіленим навантаженням
Figure 2 – General view of the calculation scheme of the foundation loaded with a uniformly distributed load

Розрахункова схема відповідає інженерно-геологічним елементам, що встановлені у процесі геологічного розрізу.

Як один із заходів у роботі запропоновано прорізання слабких ґрунтів палями. Однак при цьому рекомендується враховувати негативне тертя по бічній поверхні паль у межах слабкого ґрунту. Одним із способів такого урахування є зменшення розрахункових опорів для слабких ґрунтів на 5 кПа порівняно зі звичайним ґрунтом.

Вигляд розрахункової схеми основи підсиленої палями наведено на рис. 3.

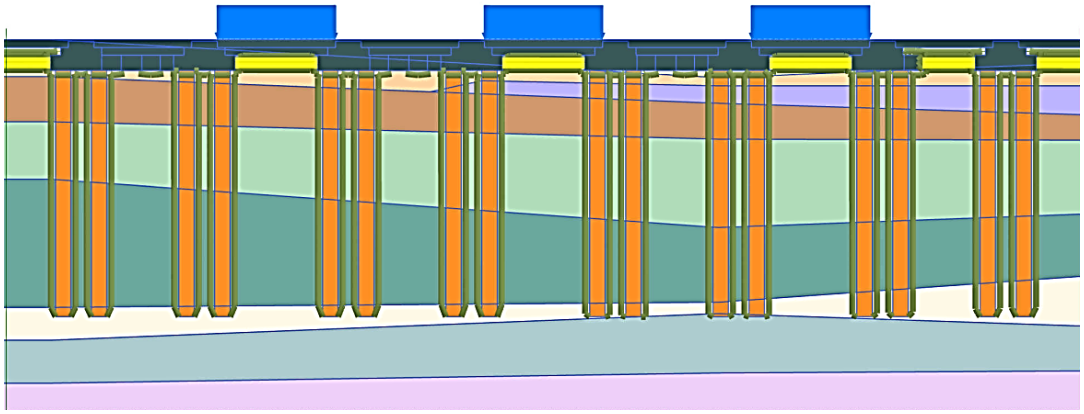


Рисунок 3 – Загальний вид розрахункової схеми основи транспортної споруди підсиленої палями
Figure 3 – General view of the calculation scheme of the base of the transport structure reinforced with piles

Результати розрахунку напружено-деформованого стану основи споруди із металевих гофрованих конструкцій

Оцінювання стійкості основи транспортної споруди. Розрахунок стійкості ґрунтової основи транспортної споруди виконано із застосуванням програмного забезпечення Mac S-Design. Результати розрахунків наведено на рис. 4.

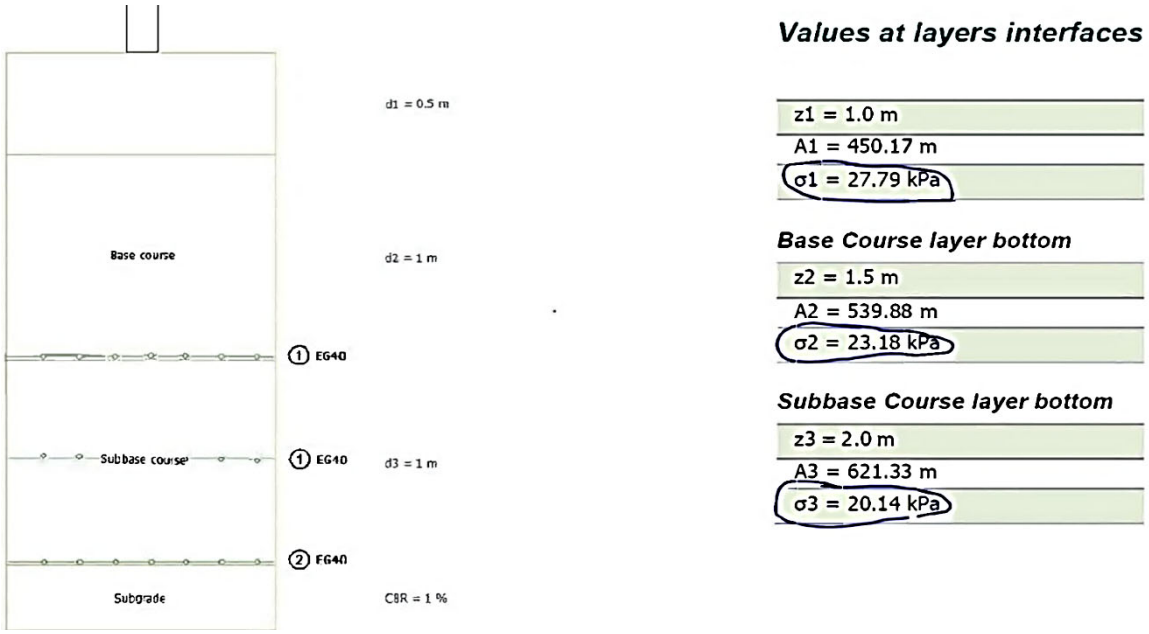


Рисунок 4 – Результати розрахунків стійкості ґрунтової основи
Figure 4 – Results of soil base stability calculations

Результати розрахунків стійкості ґрунтової основи свідчать, що для забезпечення безпечного запасу міцності ґрунтової основи транспортної споруди достатньо застосувати три шари армуючої георешітки MacGrid® EG40 між зернистими шарами.

При цьому навантаження від верхньої будови розподіляється на нижню частину ґрунту та зменшується з збільшенням глибини.

Напруження, що витримує верхній шар георешітки складає 27,79 кПа, на середньому шарі георешітки напруження зменшується до 23,18 кПа, а на нижньому — до 20,14 кПа.

Результати розрахунку напружено-деформованого стану основи транспортної споруди. Результати розрахунку напружено-деформованого стану транспортної споруди від рівномірно-розподіленого навантаження наведено на рис. 5–7.

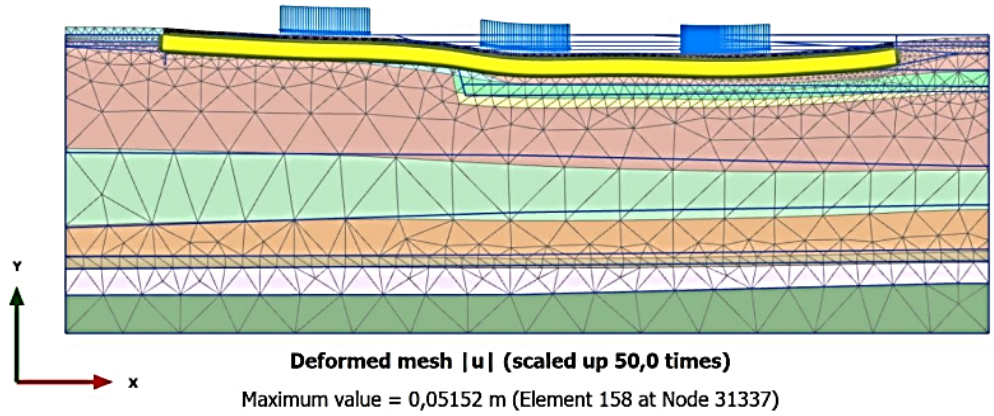


Рисунок 5 – Деформування основи від навантажень
Figure 5 – Deformation of the base due to loads

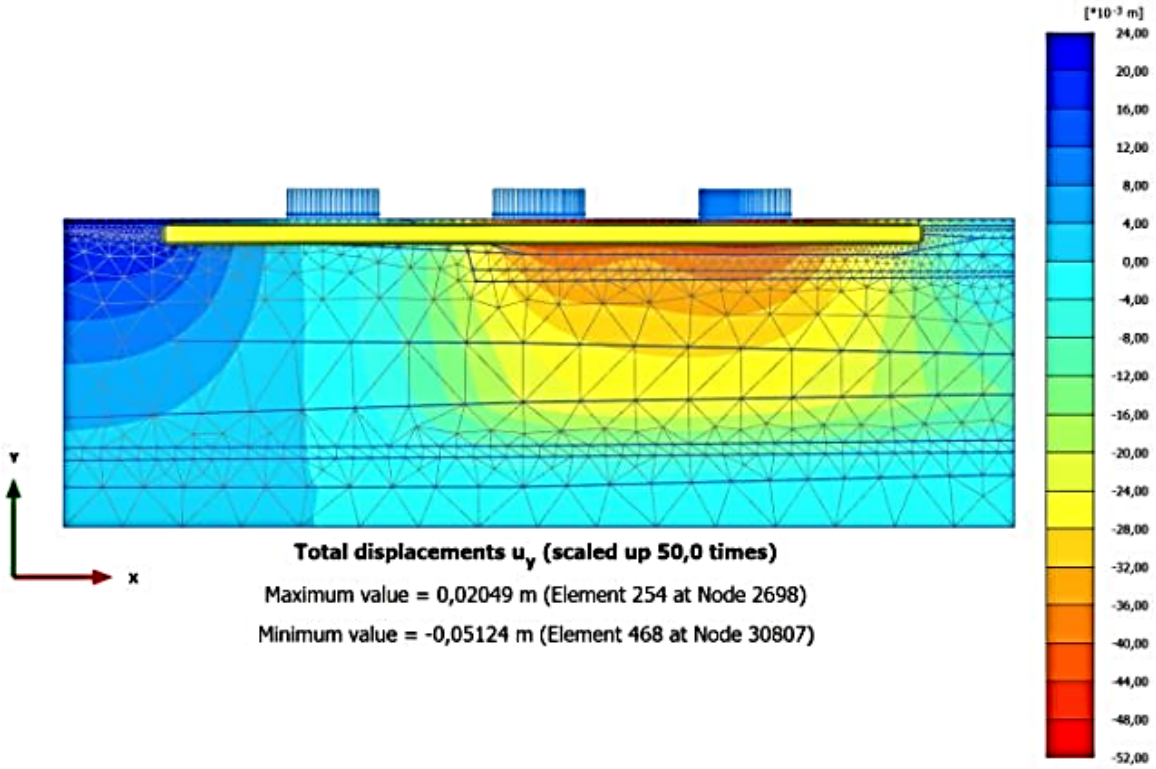


Рисунок 6 – Ізополя вертикальних переміщень
Figure 6 – Isofield of vertical movements

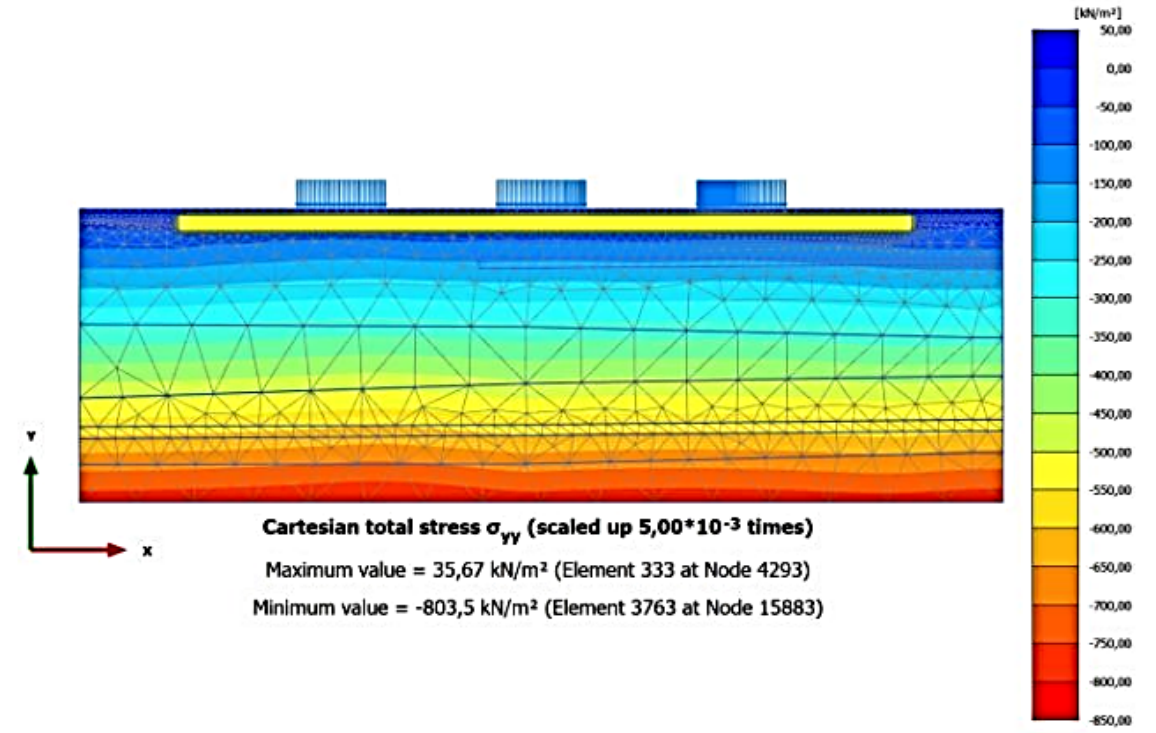


Рисунок 7– Ізополя повних вертикальних напружень
Figure 7 – Isofield of total vertical stresses

Із проведених результатів розрахунку встановлено, що максимальне значення величин загальних переміщень становить близько 5,12 см при прикладанні рівномірно-розподіленого навантаження. Це є недопустимим по деформаціям для бетонного покриття. При цьому величина вертикальних напружень становить 803,5 кН/м^2.

Для компенсації деформацій застосовуємо привантаження на всю ділянку майданчика з навантаженням 10 кН/м. За рахунок привантаження максимально знімаємо напруження та деформації до того як влаштовувати конструкції споруди.

Результати розрахунку напружено-деформованого стану основи споруди із привантаженням 10 кН/м наведено на рис. 8–10.

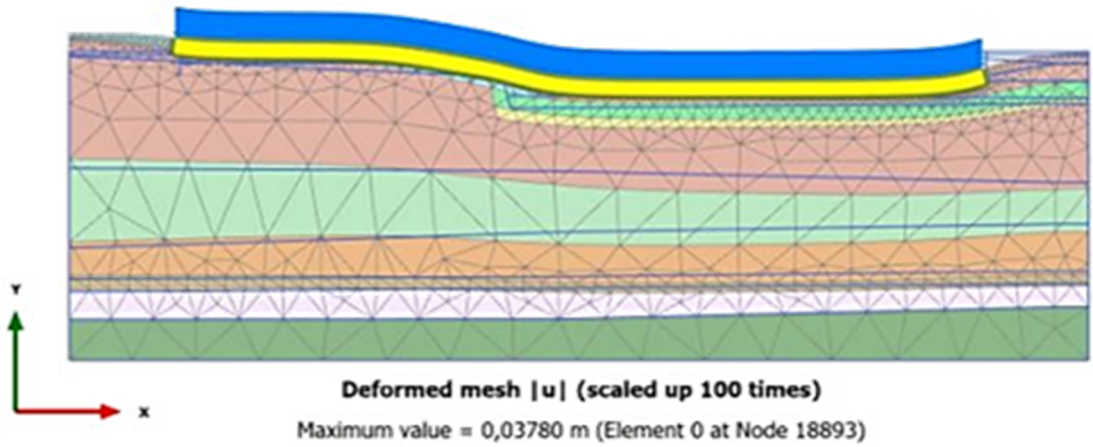


Рисунок 8 – Деформована схема основи споруди на етапі застосування привантаження
Figure 8 – Deformed scheme of the base of the structure at the stage of application of loading

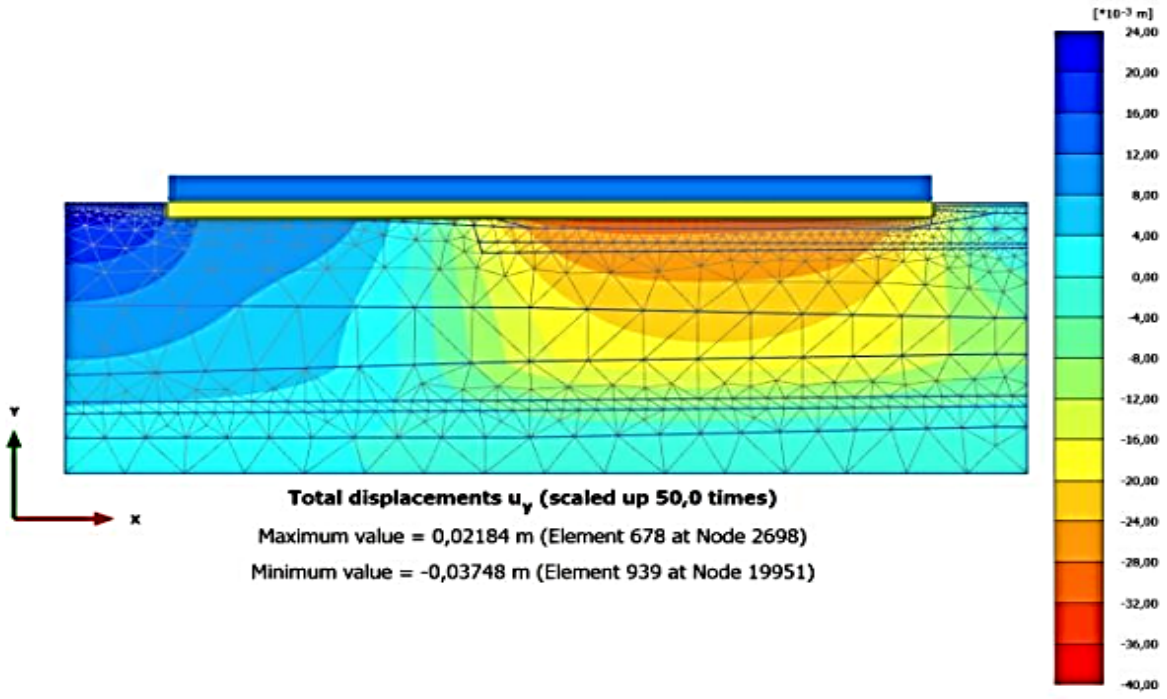


Рисунок 9– Ізополя вертикальних переміщень на етапі привантаження
Figure 9 – Isofield of vertical movements at the loading stage

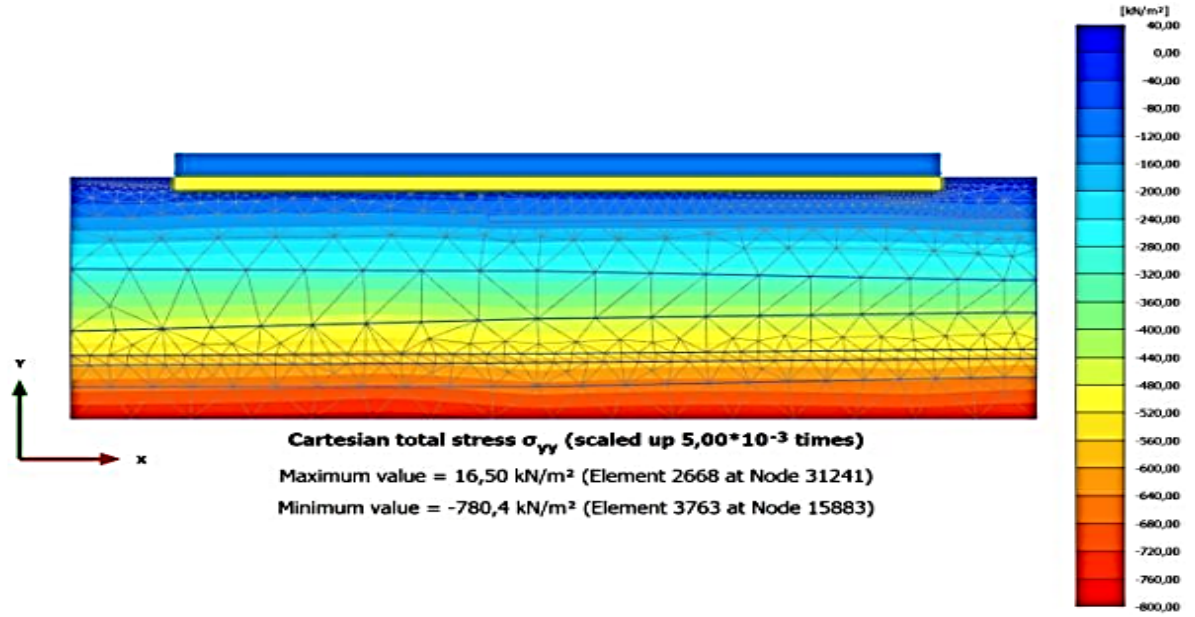


Рисунок 10 – Ізополя повних вертикальних напружень на етапі застосування привантаження
Figure 10 – Isofield of total vertical stresses at the stage of load application

Із проведених результатів розрахунку встановлено, що максимальне значення величин загальних переміщень становить близько 3,55 см при прикладанні рівномірно-розподіленого навантаження. При цьому величина вертикальних напружень становить 780,4 кПа.

Результат розрахунку напружено-деформованого стану основи підкріпленої палями при будівництві металевих гофрованих конструкцій. Результати розрахунку напружено-деформованого стану основи споруди підсиленої палями наведено на рис. 11–13.

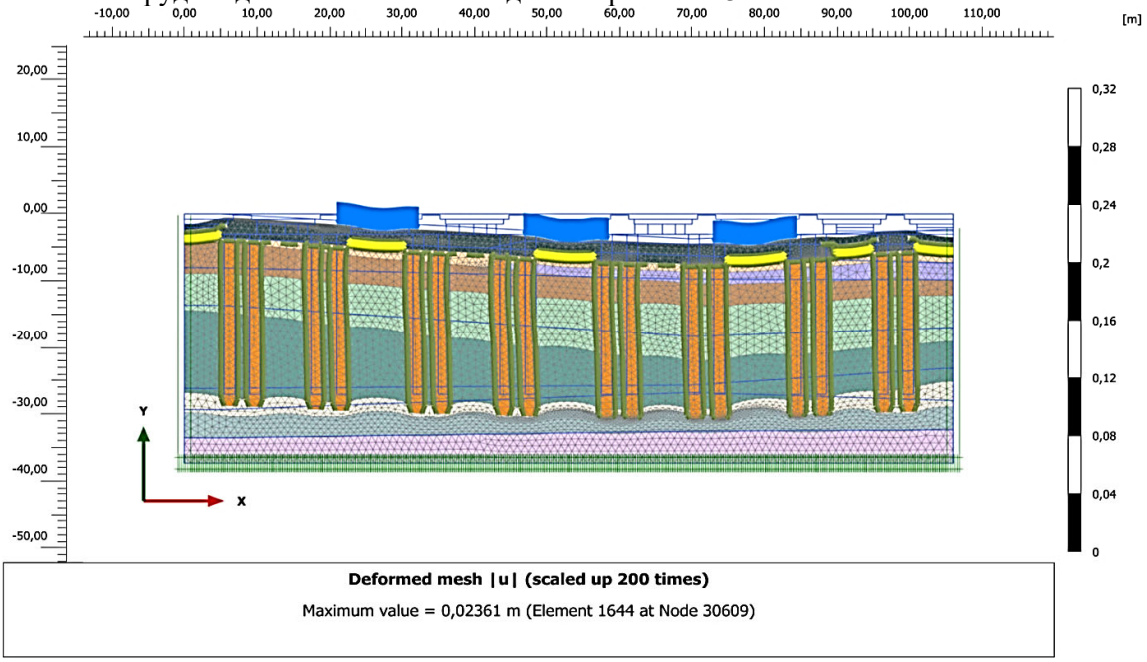


Рисунок 11 – Деформована схема на етапі застосування навантаження
Figure 11 – Deformed diagram at the stage of load application

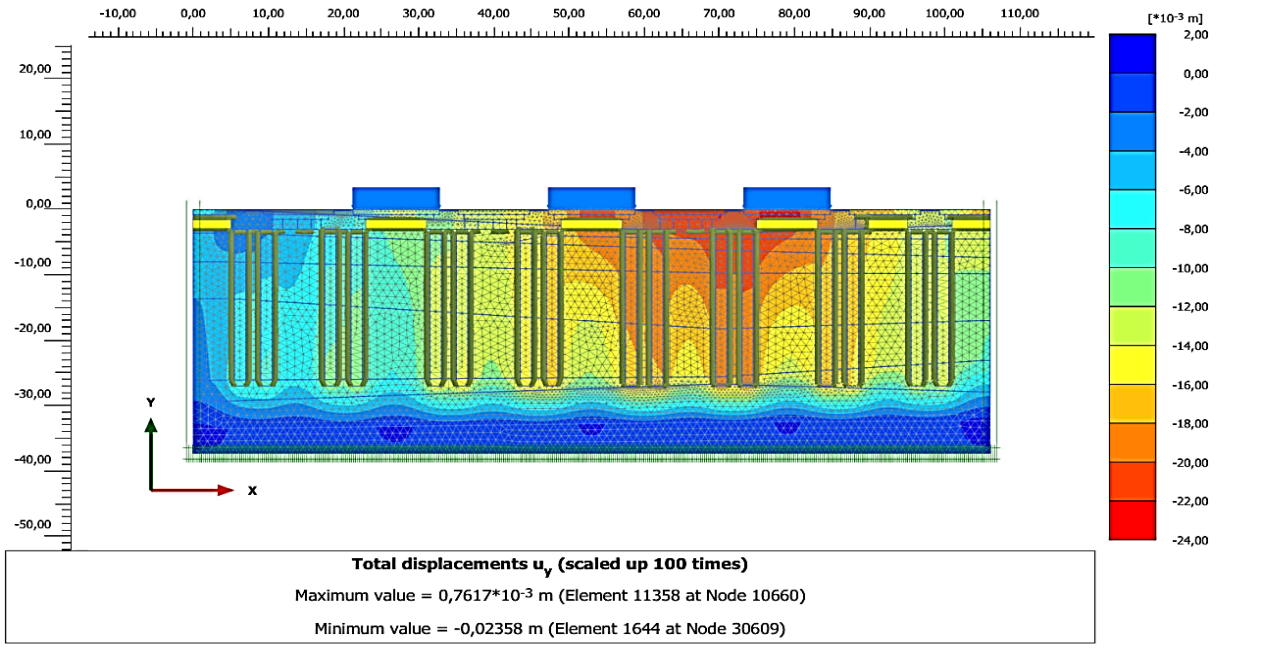


Рисунок 12 – Ізополя вертикальних переміщень на етапі застосування навантаження
Figure 12 – Isofield of vertical movements at the stage of load application

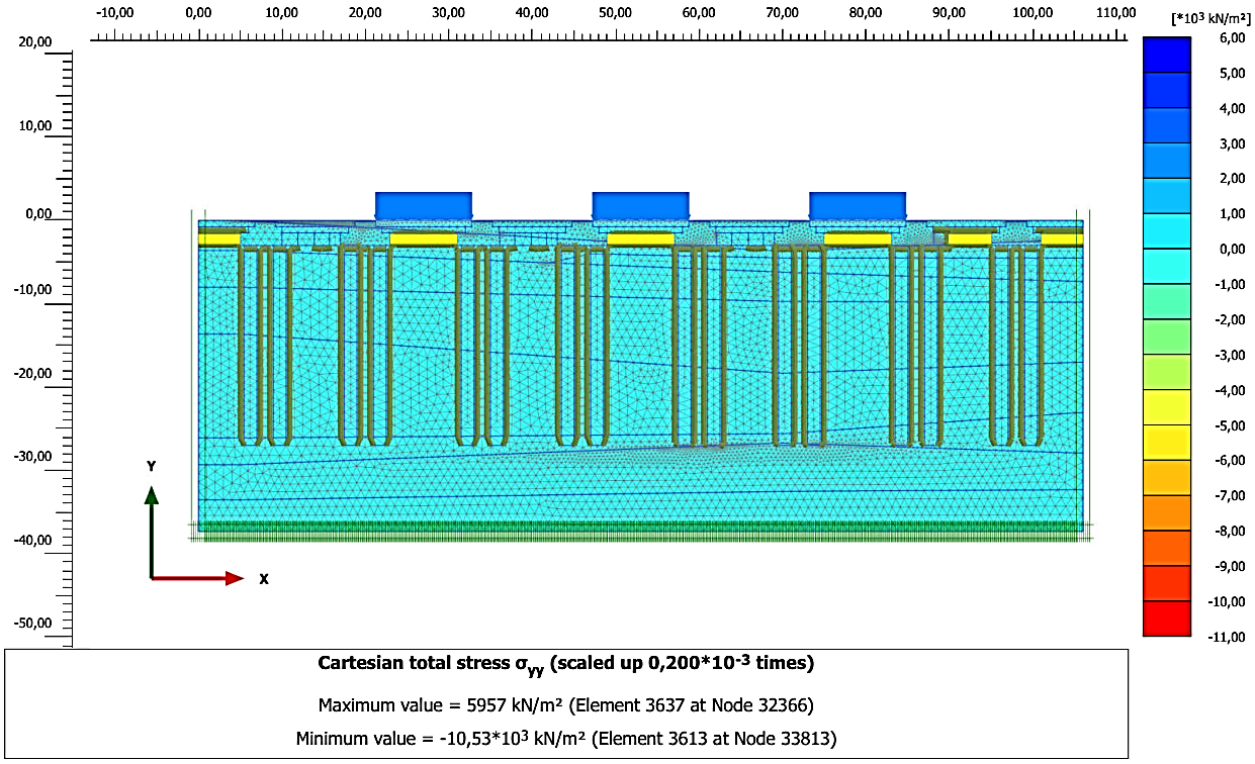


Рисунок 13– Ізополя повних вертикальних напружень на етапі застосування навантаження
Figure 14 – Isofield of total vertical stresses at the stage of load application

Із проведених розрахунків встановлено, що максимальне значення величини загальних переміщень на етапі навантаження склало 2,36 см, що є допустимим по деформаціям для бетонного покриття. При цьому величина вертикальних напружень складає $10,53*10^3$ кПа.

Обговорення результатів оцінки напружено-деформованого стану підсиленої тришарової труби. Із аналізу науково-дослідних робіт [4–11] встановлено, що в основному є результати оцінки напружено-деформованого стану транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій де виконується оцінка міцності металевих конструкцій із врахуванням ґрунтової ущільнюючої засипки, параметрів хвиль гофр, навантажень тощо. Невирішеними залишилися задачі оцінки напружено-деформованого стану споруд із ЗМГК із врахуванням фізико-механічних параметрів основи транспортної споруди.

За даними статичного зондування та лабораторних досліджень ґрунтів встановлено, що в межах головної споруди та на прилеглій території розташовані перезволожені ґрунти з низькими показниками фізико-механічних властивостей ІГЕ-3. У процесі спорудження пальових фундаментів цей фактор може спричинити деформацію паль в інтервалі розповсюдження цих ґрунтів та призвести до перевитрат бетону і навіть до порушення цілісності паль.

У разі виникнення таких явищ, слід передбачити заходи для недопущення деформації паль, застосувавши в цих інтервалах захисні оболонки або інші заходи.

З цих самих причин, в даних ґрунтових умовах, не рекомендовано застосовувати буроін'єкційні палі, технологія їх спорудження передбачає значні вібрації при зануренні каркасу, що неминуче призведе до деформації тіла палі.

Уразі, якщо нижче планувальної відмітки будуть зустрінуті ґрунти ІГЕ-2 або 2а, їх необхідно повністю замінити. Ґрунти заміни та ґрунти в основі пальових ростверків ретельно ущільнювати. Якість ущільнення перевіряти. При прийнятті рішення про необхідність видалення середньозаторфованих ґрунтів виконати дослідження на вміст органічної речовини. Ґрунти з домішками органічних речовин видаляти не обов'язково.

Забезпечити надійне і гарантоване відведення атмосферних опадів з поверхні території. Для зменшення швидкості підйому рівня ґрунтової води, у разі потреби, варто передбачити буріння та використання свердловини на воду, для господарських та побутових потреб, у процесі експлуатації споруди, з відбором води із шару пісків ІГЕ-5, 6.

Не застосовувати для зворотної засипки траншей, котлованів, пісок, він з часом може слугувати колектором для накопичення води, що, як наслідок, може призводити до поступового перезволоження природних ґрунтів і зниження їх фізико-механічних властивостей.

Для запобігання виникнення значного осідання ґрунтової основи та унеможливлення просідання та вздуття (випирання) ґрунтової основи пропонується армування та стабілізація ґрунтової основи геотекстильними матеріалами.

При значних навантаженнях на основу, може спостерігатися різка деформація основи, пов'язана з випиранням ґрунту з-під фундаментів.

Початкова стадія деформації основи відноситься до моменту відсипання та пересипання георешіток, в результаті чого відбувається скачок деформацій, що триває значний час. Підйом поверхні основи може відбуватися внаслідок пучення пилуватих суглинків та супісків, бічного випирання слабкого ґрунту під дією великих навантажень.

Із проведених результатів розрахунку (рис. 5–7) встановлено, що максимальне значення величин загальних переміщень становить близько 5,12 см при прикладанні рівномірно-розподіленого навантаження. Це є недопустимим по деформаціям для бетонного покриття. При цьому величина вертикальних напружень становить 803,5 кН/м^2.

Для компенсації деформацій застосовуємо привантаження на всю ділянку майданчика з навантаженням 10 кН/м. За рахунок привантаження максимально знімаємо напруження та деформації до того як влаштовувати конструкції споруди.

При застосуванні паль (рис. 8–10) для підсилення основи на слабких ґрунтах встановлено, що максимальне значення величини загальних переміщень на етапі навантаження склало 2,36 см, що є допустимим по деформаціям для бетонного покриття.

Таким чином, щоб не виконувати повну виїмку слабкого ґрунту з послідуючою заміною на кращий ґрунт, необхідно влаштувати 2 шари геосинтетичної георешітки з поліестерового волокна з міцністю на розтяг не менше 300 кН/м в обох напрямках та відносним видовженням не більше 10 % з пересипкою та ущільненням зернистого матеріалу – суміші С7 (максимальна крупність зерна 40 мм)

Ґрунт засипки має бути з характеристиками не гірше значень ґрунту ІГЕ1 (щільність 18,05 кН/м^3, питоме зчеплення 11 кПа, кут внутрішнього тертя 16 град., модуль деформації 11 МПа).

Одним із обмежень проведених досліджень є розрахунок напружень та переміщень тільки у вертикальному напрямі інженерно-геологічного розрізу основи споруди. Тому подальшим продовженням науково-дослідної роботи є розвиток методів оцінки та підвищення несучої здатності слабких основ транспортних споруд із врахуванням комплексу факторів фізико-механічних параметрів ґрунтів основи та величин навантажень від транспортних засобів.

Висновки. Результати розрахунків стійкості ґрунтової основи показали, що напруження, які витримує верхній шар георешітки складають 27,79 кПа, на середньому шарі георешітки напруження зменшуються до 23,18 кПа, а на нижньому — до 20,14 кПа.

При прикладанні рівномірно-розподіленого навантаження величиною 30,11 кН/м^2 на основу споруди без підсилення максимальне значення переміщень склало 5,12 см, що є недопустими по деформаціям для бетонного покриття. При цьому величина вертикальних напружень становить 803,5 кН/м^2.

При застосуванні паль для підсилення основи транспортної споруди на слабких ґрунтах результати розрахунків показали, що максимальне значення величини загальних переміщень на етапі навантаження склало 2,36 см. Це є допустимим по деформаціям для бетонного покриття.

Перелік посилань

1. The strength design of deeply buried circular corrugated steel arches with considering only soil radial restraining / Author links open overlay panelHao-Jun Sun, Yan-Lin Guo, Chen-Bao Wen a,Jia-Qi Zuo, Qiang Zhao, Zhen-Guo Liu // Thin-Walled Structures Volume 183, February 2023, 110422

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263823122009740

2. Kovalchuk V. Research and analysis of the stressed-strained state of metal corrugated structures of railroad tracks / V. Kovalchuk, J. Luchko, I. Bondarenko, R. Markul, B. Parneta // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkov – 6/7 (84), 2016. – P. 4–10. doi: http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.84236.

http://journals.uran.ua/eejet/article/view/84236

3. Kovalchuk V. Study of the stressstrain state in defective railway reinforcedconcrete pipes restored with corrugated metal structures / V. Kovalchuk, R. Markul, A. Pentsak, B. Parneta, O. Gajda, S. Braichenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkov. – 5/1 (89), 2017. – P. 37–44. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109611.

http://journals.uran.ua/eejet/article/view/109611

4. Performance of a Corrugated Metal Pipe with Shallow Burial Depth in Loosely Compacted Sand: Soil Box Test and 3D Finite Element Modeling / Hiramani Raj Chimauriya, Mehran Azizian, Samrat Raut, Mohammad Najafi, Xinbao Yu //Transportation Geotechnics Volume 43, November 2023, 101134

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214391223002076

5. Effects of embedded trench installations using expanded polystyrene geofoam applied to buried corrugated steel arch structures / Ralph Raymond V. Santos, Junsuk Kang, Jong Sup Park // Tunnelling and Underground Space Technology Volume 98, April 2020, 103323

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0886779819300173

6. Finite element analysis for deeply buried concrete pipes in proposed imperfect trench installations with expanded polystyrene (EPS) foams / Junsuk Kang// Engineering Structures Volume 189, 15 June 2019, Pages 286-295. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.03.083

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141029618312823

7. Machelski C. Deformation of buried corrugated metal box structure under railway load / C.Machelski, L. Korusiewicz // Roads and Bridges - Drogi i Mosty, 16, 3, 2017, 191–201, DOI: 10.7409/rabdim.017.013.

https://www.rabdim.pl/index.php/rb/article/view/v16n3p191

8. Beben D. Numerical analisis of a soil-steel bridge structure. The Baltic journal of road and bridge engeineering. 2009 № 4 (1), 13-21.

https://bjrbe-journals.rtu.lv/article/view/1822-427X.2009.4.13-21

9. Kareem Embaby. Investigation of bevel-ended large-span soil-steel structures / Kareem Embaby, M. Hesham El Naggar, Meckkey El Sharnoub // Engineering Structures. – Volume 267, 15 September 2022, 114658.

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141029622007544

10. Performance of large-span arched soil–steel structures under soil loading / Kareem Embaby, M. Hesham El Naggar, Meckkey El Sharnouby // Thin-Walled Structures. – Volume 172, March 2022, 108884.

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263823122000015

11. Kovalchuk Vitalii. Estimation of carrying capacity of metallic corrugated structures of the type multiplate mp 150 During interaction with backfill soil / Vitalii Kovalchuk, Yuri Kovalchuk, Mykola Sysyn, Volodymyr Stankevych, Oleksiy Petrenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkov. – 1/1 (91), 2018. – P. 18–26. doi: 10.15587/1729-4061.2018.123002.

http://journals.uran.ua/eejet/article/view/123002

INCREASING THE BEARING CAPACITY OF THE FOUNDATION IN THE CONSTRUCTION OF STRUCTURES FROM METAL CORRUGATED STRUCTURES IN THE CONDITIONS OF WEAK SOILS

Artur Onyshchenko, Doctor of Technical Sciences, Professor Department of Bridges and Tunnels National Transport University Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka str., 1, Kyiv, Ukraine, 01010, e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, tel.: +380687771899, http://orcid.org/0000-0002-1040-4530

Vitalii Kovalchuk, Doctor of Technical Sciences, Professor Department of Railway Transport Lviv Polytechnic National University S. Bandery str., 12, Lviv, Ukraine, 79013, e-mail: kovalchuk.diit@gmail.com, tel.: +380972237243, https://orcid.org/0000-0003-4350-1756

Ihor Karnakov, Postgraduate student, Department of Bridges and Tunnels National Transport University, Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka str., 1, Kyiv, Ukraine, 01010, e-mail: ihor.karnakov@gmail.com, tel.: +380505235136, http://orcid.org/0000-0002-8751-9934

Mykola Harkusha, PhD, Department of Bridges and Tunnels National Transport University Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka str., 1, Kyiv, Ukraine, 01010, e-mail: nicolas89@bigmir.net, tel.: +380966287905, https://orcid.org/0000-0002-5388-0561

Yuliia Balashova, candidate of science (technical), associate professor, associate professor of the department of highways, geodesy and land management at the Ukrainian State University of Science and Technologies ESI «Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture», e-mail: *yuliabalashova72@gmail.com*, tel. +380507865446, Ukraine, 49600, Dnipro, 24-a, Architect Oleg Petrov St., of. 421, *https://orcid.org/0000-0002-2286-9263*

Summary. The article is devoted to conducting research aimed at increasing the load-bearing capacity of foundations during the construction of structures made of metal corrugated structures.

The purpose of the work is to increase the load-bearing capacity of the foundations during the construction of structures made of metal corrugated structures on weak soils. This will make it possible to ensure the reliable and long-lasting operation of transport structures made of prefabricated metal corrugated structures during the construction and operation of structures.

The object of research is the foundation of a transport structure made of metal corrugated structures in the conditions of weak soils.

A study of the stress-deformation state of the foundation of a transport structure made of metal corrugated structures under the conditions of weak soils was carried out, taking into account the parameters of the soils obtained in the process of engineering-geological sectioning.

It is proposed to strengthen the base of the structure on weak soils by the method of installing reinforced concrete piles. The results of calculations of the stress-strain state of the base without reinforcement showed that the maximum value of the total displacements is about 5.12 cm, which is unacceptable in terms of deformations for a concrete coating. At the same time, the value of vertical stresses is 803.5 kN/m2. Therefore, to compensate for the initial deformations, it is recommended to apply a load on the entire area of the site with a load of 10 kN/m. Due to the loading, we maximally remove stress and deformation before arranging the structures of the building.

When using piles to strengthen the base on weak soils, it was found that the maximum value of the total displacements at the stage of loading was 2.36 cm, which is permissible in terms of deformations for a concrete coating.

It was established that the main risks in the construction of transport facilities on weak soils are deformations of the soil base. They can appear during the transmission of forces from the transport structure and variable loads, as well as from changes in the physical and mechanical properties of the foundation soils during the construction and operation of the structure.

Key words: transport structure, metal corrugated structures, base, stress, deformations.

References

1. The strength design of deeply buried circular corrugated steel arches with considering only soil radial restraining / Author links open overlay panelHao-Jun Sun, Yan-Lin Guo, Chen-Bao Wen a,Jia-Qi Zuo, Qiang Zhao, Zhen-Guo Liu // Thin-Walled Structures Volume 183, February 2023, 110422

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263823122009740

2. Kovalchuk V. Research and analysis of the stressed-strained state of metal corrugated structures of railroad tracks / V. Kovalchuk, J. Luchko, I. Bondarenko, R. Markul, B. Parneta // Eastern-European Journal

of Enterprise Technologies. – Kharkov – 6/7 (84), 2016. – P. 4–10. doi: http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.84236.

http://journals.uran.ua/eejet/article/view/84236

3. Kovalchuk V. Study of the stressstrain state in defective railway reinforcedconcrete pipes restored with corrugated metal structures / V. Kovalchuk, R. Markul, A. Pentsak, B. Parneta, O. Gajda, S. Braichenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkov. – 5/1 (89), 2017. – P. 37–44. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109611.

http://journals.uran.ua/eejet/article/view/109611

4. Performance of a Corrugated Metal Pipe with Shallow Burial Depth in Loosely Compacted Sand: Soil Box Test and 3D Finite Element Modeling / Hiramani Raj Chimauriya, Mehran Azizian, Samrat Raut, Mohammad Najafi, Xinbao Yu //Transportation Geotechnics Volume 43, November 2023, 101134

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214391223002076

5. Effects of embedded trench installations using expanded polystyrene geofoam applied to buried corrugated steel arch structures / Ralph Raymond V. Santos, Junsuk Kang, Jong Sup Park // Tunnelling and Underground Space Technology Volume 98, April 2020, 103323

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0886779819300173

6. Finite element analysis for deeply buried concrete pipes in proposed imperfect trench installations with expanded polystyrene (EPS) foams / Junsuk Kang// Engineering Structures Volume 189, 15 June 2019, Pages 286-295. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.03.083

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141029618312823

7. Machelski C. Deformation of buried corrugated metal box structure under railway load / C.Machelski, L. Korusiewicz // Roads and Bridges - Drogi i Mosty, 16, 3, 2017, 191–201, DOI: 10.7409/rabdim.017.013.

https://www.rabdim.pl/index.php/rb/article/view/v16n3p191

8. Beben D. Numerical analisis of a soil-steel bridge structure. The Baltic journal of road and bridge engeineering. 2009 № 4 (1), 13-21.

https://bjrbe-journals.rtu.lv/article/view/1822-427X.2009.4.13-21

9. Kareem Embaby. Investigation of bevel-ended large-span soil-steel structures / Kareem Embaby, M. Hesham El Naggar, Meckkey El Sharnoub // Engineering Structures. – Volume 267, 15 September 2022, 114658.

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141029622007544

10. Performance of large-span arched soil–steel structures under soil loading / Kareem Embaby, M. Hesham El Naggar, Meckkey El Sharnouby // Thin-Walled Structures. – Volume 172, March 2022, 108884.

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263823122000015

11. Kovalchuk Vitalii. Estimation of carrying capacity of metallic corrugated structures of the type multiplate mp 150 During interaction with backfill soil / Vitalii Kovalchuk, Yuri Kovalchuk, Mykola Sysyn, Volodymyr Stankevych, Oleksiy Petrenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkov. – 1/1 (91), 2018. – P. 18–26. doi: 10.15587/1729-4061.2018.123002.

http://journals.uran.ua/eejet/article/view/123002

УДК 625.731
UDC 625.731

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-137-146

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПАДІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ПОВЕРХНЕВОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ Й ІНФІЛЬТРАЦІЇ ВОЛОГИ В ҐРУНТ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

STUDY OF PRECIPITATION CHARACTERISTICS FOR CALCULATIONS OF SURFACE WATER DRAINAGE AND MOISTURE INFILTRATION INTO THE SOIL OF ROAD SUBGRADE



Петрович Володимир Васильович, *кандидат технічних наук, професор, старший науковий співробітник, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: petrovichvv60@ukr.net*

https://orcid.org/0000-0003-0422-2535



Касай Костянтин Іванович*, аспірант, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: Kasai2709@ukr.net*

https://orcid.org/0000-0003-3292-3339

Анотація. У статті досліджено вплив характеристик опадів на поверхневе водовідведення та інфільтрацію вологи в ґрунт земляного полотна автомобільних доріг.

Актуальність. З огляду на повномасштабне вторгнення російської федерації в Україну, будівництво нових автомобільних доріг та реконструкція існуючих відкладені на другий план. Однак питання, пов'язані з дорожнім будівництвом, особливо ті, що потребують наукового обґрунтування, мають вирішуватися вже сьогодні. Надійність і довговічність дорожнього одягу значною мірою залежать від стану ґрунтової основи, що служить фундаментом для всієї конструкції. Аналіз великої кількості звітів щодо обстежень ділянок доріг з дефектами земляного полотна і дорожнього одягу свідчить про те, що основною причиною їх утворення є надмірне зволоження ґрунтів робочої зони, викликане недостатнім водовідведенням, дефектами в дорожньому одязі, незабезпеченою щільністю ґрунтів та використанням непридатних матеріалів.

Проблематика. Питання забезпечення водовідведення та водно-теплового режиму дорожніх конструкцій потребують детального вивчення. Вологість від атмосферних опадів має вирішальний вплив на деформації та руйнування дорожньої конструкції, тому врахування цього чинника є надзвичайно актуальним. Автори статті зазначають, що вивчення впливу атмосферних опадів на дорожню конструкцію та ґрунт земляного полотна вимагає подальшого наукового дослідження.

Мета. У статті розглянуто підходи до розрахунків поверхневого водовідведення та інфільтрації вологи в ґрунт, враховуючи інтенсивність опадів, яка є одним із ключових параметрів при проєктуванні дренажів, виборі ґрунту для насипу та інших елементів дорожньої конструкції. Запропоновано методи

удосконалення цих розрахунків, зокрема щодо врахування тривалості та інтенсивності опадів, що дозволяє підвищити економічну та технічну ефективність проєктних рішень.

Висновки. Проведено огляд наукових досліджень, присвячених класифікації та характеристикам опадів. На основі аналізу для подальших розрахунків і досліджень пропонується використовувати наступну середню інтенсивність опадів: для всієї території країни (окрім гірських районів) – 1,26 мм/хв; для Криму – 1,50 мм/хв; для Карпат – 1,78 мм/хв.

Ключові слова: автомобільна дорога, вологість, ґрунт, дощ, земляне полотно, інфільтрація, опади.

Вступ. Із повномасштабним вторгненням російської федерації на територію України, амбітні плати щодо розширення мережі автомобільних доріг, їх нове будівництво і реконструкцію існуючих, відійшли на другий план. Першочергове фінансування потрібно для оборонних цілей і відбудови. Проте, питання, пов'язані із дорожнім будівництвом, які потрібно буде вирішувати в майбутньому, потребують вирішення сьогодні. Надійність і довговічність автомобільної дороги як інженерної споруди залежить від багатьох чинників. І як у всіх споруд в неї можна умовно виділити фундамент (ґрунтова основа для земляного полотна, земляне полотно для дорожнього одягу тощо) і основну конструкцію. Звичайно, за надійної роботи фундаменту ми отримаємо надійну роботу всієї споруди.

Постановка проблеми. Виконаний аналіз великої кількості звітів із обстежень ділянок автомобільних доріг загального користування із дефектами земляного полотна і дорожнього одягу свідчить про декілька причин їх утворення:

1) Надмірне зволоження ґрунтів робочої зони. Основні причини: незабезпечене водовідведення; дефекти в дорожньому одязі; незабезпечена щільність ґрунтів; використання непридатних ґрунтів для спорудження насипу тощо.

2) Технологічні причини пов'язані із недотриманням режимів ущільнення або вимог до якості дорожньо-будівельних матеріалів.

3) Деформації самого земляного полотна, зокрема укосів насипів, у вигляді розмивів, зсувів, руйнування. Основні причини: недостатнє укріплення укосів або дефекти в укріпленні; перезволоження ґрунту як наслідок порушення нормальної роботи водовідвідних споруд або перезволоження ґрунтів значними атмосферними опадами або талими водами; недостатня щільність ґрунту насипу, особливо у приукісній частині насипу; використання непридатних ґрунтів для спорудження насипу тощо.

Деякі причини деформацій дорожньої конструкції пов'язані із культурою виконання робіт, дотриманням технологічних регламентів, технологічних карт і вимог будівельних норм, нормативних документів та іншої технічної документації. Проте, є причини, які пов'язані із незабезпеченим належним чином водовідведенням і водо-тепловим режимом дорожньої конструкції або особливостями його протікання, які потребують наукового обґрунтування і вивчення. Хоча багато питань уже вирішено, лишається низка задач, які потребують уточнень, доповнень, більш глибоких наукових розробок. І якщо розглянути вищенаведені причини деформацій і руйнувань, то у більшості випадків присутня волога від атмосферних опадів, а в деяких випадках її вплив може бути вирішальним. Тому, на думку авторів, врахуванню впливу атмосферних опадів на дорожню конструкцію в цілому і на робочу зону зокрема, є актуальною задачею.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Питанням врахування вологи від опадів, поверхневих вод, при проєктуванні і будівництві елементів автомобільної дороги, відведення вологи опадів від дорожньої конструкції, у різні часи займались як відчинянні, так і зарубіжні учені М. Іванов, О. Біруля, М. Пузаков, В. Сіденко, О. Тулаєв, І. Золотарь, М. Корсунський, В. Казарновський, Я. Калужський, М. Гольдштейн, В. Заворицький, В. Рувинський, H. Cedergren, A. Dawson, W. James, R. Horton [1-9]. Причому ці питання, то викликали науковий інтерес, то, дивлячись на публікації, на певний період відкладались. Потужна школа науковців із питання дослідження водно-теплового резину земляного полотна автомобільних доріг була сформована в Україні у 60-70 роки минулого століття під керівництвом професора В. Сіденка [1-3].

Питанням, зокрема інфільтрації вологи в дорожню конструкцію, приділяли увагу як науковці колишнього радянського союзу [1-6], так і незалежної України [10-16].

Виклад основного матеріалу. Вважаємо, що при проєктуванні систем дренажів, дренувальних шарів дорожнього одягу, вибору виду ґрунту насипу чи робочої зони земляного полотна одним із питань, яке впливає на кінцеві розрахунки і можливо удосконалити, є питання інфільтрації вологи від опадів і зокрема, розрахункової інтенсивності дощу.

Ця характеристика не стала за тривалістю, протягом години, сезону і року. Проте вона є однією із основних при визначенні інфільтрації вологи в ґрунт, дренаж чи дорожню конструкцію.

Тому, чим з більшою точністю і ймовірністю це величина буде визначна, тим економічно і технічно вигідні будуть прийняті проєктні рішення.

Ця характеристика залежить від великої кількості чинників і під час розрахунків за різними формулами має великі розбіжності. Причому, у багатьох авторів є величини, які встановлюють експериментальним шляхом за допомогою рідкісних спеціальних приладів.

Причому, як раніше, так і на теперішній час є різні думки науковців щодо віднесення дощів до зливових чи облогових. Ще у середині минулого століття Е. Берг запропонував свою шкалу поділу опадів (табл. 1).

Таблиця 1 – Класифікація злив за Е. Бергом
Table 1 – Classification of rainstorms by E. Berg

Час, хв	5	10	15	20	50	60	120	240
S, мм	2,50	3,80	5,00	6,00	11,00	12,00	18,00	27,00
$i_{ср}$, мм/хв	0,50	0,38	0,33	0,30	0,22	0,20	0,15	0,11

Чуть пізніше до зливових запропонували відносити опади інтенсивність яких $i > 1$ мм/хв О. Городецький, І. Гуральник і В. Ларін [17], а О. Зверев [18] і В. Большаков та О. Курганович [19] вважали, цю інтенсивність зливових овидів від 0,3 мм/хв і більше. С. Хромов [20] запропонував наступний розподіл опадів за їх інтенсивністю: 0,25 мм/год (0,004 мм/хв) – облогові, 100 мм/год (1,67 мм/хв) – зливові. У [21] до облогових відносять дощі з $i \leq 2$ мм/год (0,033 мм/хв), а до зливових – 2–10 мм/год (0,033–0,167 мм/хв). І. Вороб'єв [22] зливовими вважав опади з $i > 3$ мм/год (0,05 м/хв).

Ж. Алібегова у [23] пропонує поділяти опади на облогові та зливові, користуючись такими критеріями: якщо інтенсивність – $i_{max} \geq 0{,}2$ мм/хв, а сума опадів ≥ 1,5 мм, тоді опади відносять до зливових, коли ж відповідні величини менші вказаних значень, опади слід вважати облоговими. Ю. Сєдунов із співавторами у [24] пропонує класифікацію рідких опадів за інтенсивністю *i* і тривалістю *t* (табл. 2).

Таблиця 2 – Класифікація опадів
Table 2 – Classification of rainfall

Тип опадів	*i*, мм/хв	Умови
Морось	< 0,01	
Облогові – // –	0,01 – 0,02 0,03 – 0,05	у районах надлишкового і достатнього зволоження $t_i > 0{,}1\ t$
Зливові – // –	0,03 – 0,05 > 0,05	$t_i < 0{,}1\ t$
Примітка. t_i – тривалість дощу із заданою інтенсивністю *i*.		

Якщо взяти технічні і нормативні документи, то, наприклад, у [25] до зливових опадів віднесено дощі з інтенсивністю (5 % забезпеченістю і для літнього періоду) від 0,118 мм/хв до 0,432 мм/хв. У [26] не наведено інтенсивностей дощу, тільки сума опадів. Ця сума опадів корелює із, наприклад, для Київської області з даними Українського гідрометереологічного інституту за період спостереження 1991–1921 роки, місяць липень – згідно з [26] кількість опадів 77 мм, за даними УкрГМІ – 73 мм, середня кількість опадів за рік згідно з [26] 642 мм, за даними УкрГМІ – 587 мм.

Як бачимо багато авторів не мають спільної думки із піднятого питанню, це відмічали раніше, зокрема [11] і сьогодні [27]. Інтенсивність опадів враховують при розрахунку зливових стоків, відведення води із дорожньої конструкції, розрахунків дренажів, правда, як правило, оперують середньомісячною інтенсивністю або кількістю опадів. І прийняття найбільш достовірних вихідних даних дозволить проєктувати, наприклад, споруди поверхневого водовідведення, дренажів мілкого закладання тощо без їхнього затоплення і розмиву під час експлуатації.

Розглянемо теорію стоку із схилів, яку використано і для потреб розрахунку поверхневого водовідведення з автомобільних доріг [28-35].

У загальному вигляді витрату дощового стоку можна записати як:

$$Q_{max} = 16{,}7 \cdot i_{год} \cdot K_t \cdot F \cdot \alpha \cdot \phi, \quad (1)$$

де Q_{max} – максимальне значення витрати стоку дощових вод, м^3/с;

$i_{год}$ – інтенсивність опадів, мм/хв, годинної тривалості визначають з розрахунковою імовірністю перевищення 0,1; 0,3; 1; 2; 3; 4; 5; 10 років відповідно з кліматичним районуванням;

K_t – коефіцієнт стоку;

F – площа водозбірного басейну, км^2;

α – коефіцієнт втрат потоку, визначають залежно від типу ґрунту та площі водозбірного басейну;

ϕ – коефіцієнт редукції стоку, враховує нерівномірність випадання опадів на поверхню водозбірного басейну.

У [28, 30-32] $i_{год}$ – інтенсивність опадів, мм/хв у [29] розрахункова інтенсивність водовіддачі, яку розраховують через інтенсивність опадів і має також розмірність мм/хв.

Якщо, для прикладу, взяти одну і ту ж саму ділянку проїзної частини автомобільної дороги, то велична Q_{max} буде залежати тільки від інтенсивності опадів, яку приймають до розрахунку. У результаті для короткотривалої зливи (візьмемо для прикладу за основу дані табл. 1) тривалістю 10 хв за інтенсивності 0,38 мм/хв випало 3,8 мм опадів, Q_{max} = 0,63 *м^3/с;* а за інтенсивності 0,11 мм/хв і тривалості 240 хв – Q_{max} = *0,18* м^3/с, це при тому, що кількість опадів у другому випадку маже у 7 разів більша. Звичайно це спрощений підхід у [29] $i_{год}$ залежить від району і є постійною величиною (Україна поділена на 3 райони, які у свою чергу поділені на 4 і 2 підрайони), у [28, 31] встановлено 4 райони у [32] – 3 і залежність від відсотку перевищення, і цей підхід правомірний під час розрахунків також і водовідвідних, і дренажних конструкцій, проте при розрахунку інфільтрації вологи в ґрунт земляного полотна, вважаємо, потрібно враховувати і величину, і тривалість опадів.

Якщо ж інтенсивність перевести в кг на м^2, то отримаємо: за інтенсивності 0,38 мм/хв і тривалості опадів 10 хв чи інтенсивності за об'ємом 6,33 · 10^{-3} л/с на м^2 випало вологи 3,8 кг/м^2, а за інтенсивності 0,11 мм/хв і тривалості – 240 хв (за об'ємом – 1,83 · 10^{-3} л/с на м^2) – 27 кг/м^2.

У технічних документах у дорожній галузі [36-38] використовують середню інтенсивність дощу за показниками середньомісячної кількості опадів і їхньої тривалості або інтенсивність дощу, або максимальну кількість опадів за годину, що також, на нашу думку, не завжди відтворює реальний вплив опадів.

Інший підхід використано у роботах [6, 16, 39] де пропонується уніфікована залежність для визначення припливу води в ґрунт (в м^3 на 1 м^2 поверхні) при зволоженні атмосферними опадами, що випадають на проїзну частину ($q_{атм\ пр\ ч}$):

$$q_{\text{атм пр ч}} = 10^{-3}\ \alpha\ \omega\ H_{\text{пог пр ч}}, \quad (2)$$

де α – коефіцієнт, що враховує додатковий приплив води, що надходить у ґрунт до та після розрахункового місяця, $\alpha = 1{,}3$;

ω – площа, м^2;

$H_{\text{пог пр ч}}$ – кількість води, яка поглинається протягом місяця розрахункового року в ґрунт земляного полотна під проїзною частиною, мм.

Але і (2), під час розрахунку кількості води, яка поглинається протягом місяця, використовують середню інтенсивність дощу.

У [11] запропоновано використовувати приведену інтенсивність дощу, для дощів різної тривалості. Ці формули працюють для всіх дощів, окрім окремих аномальних (з великою кількістю випавших опадів) тривалих злив.

Як показують дослідження М. Коновалова, Є. Попова і С. Коль [60], які проаналізовані у [11], інтенсивність інфільтрації в ґрунт (сухий і вологий) зменшується більше ніж на половину при тривалості дощу 30 хв і стабілізується при тривалості дощу 50 хв і більше.

У загальному ж, процес інфільтрації при постійній інтенсивності дощу має три характерні фази:

- повного поглинання опадів;
- пониження інтенсивності інфільтрації;
- приблизно стала інтенсивність інфільтрації.

Та за глибиною можна виділити п’ять характерних зон згідно з Я. Бер:

- зона насичення;
- перехідна зона;
- зона передачі вологи;
- зона зволоження;
- фронт зволоження.

Згідно із висновками отриманими А. Лєбєдєвим у праці "Оцінка ймовірнісних характеристик опадів на території Західної Європи" [40] де було проаналізовано дані про опади у Західній Європі за 30, 80, 100 літні періоди, встановлено, що для кліматичних цілей можна використовувати 30-річні спостереження для розрахунку ймовірнісних характеристик. Істотне подовження ряду не вносить помітних змін та уточнень у характеристики опадів різної забезпеченості. Тобто в Україні, за часів незалежності, уже накопичені репрезентативні дані щодо характеристик опадів.

У [27] проведено оцінювання ймовірності настання величин інтенсивності опадів при різних рівнях забезпеченості. Результати показали, що при випаданні небезпечних та дуже сильних опадів 100 % забезпеченість матимуть інтенсивності в інтервалі < 0,1 мм/хв, опади інтенсивністю 0,1 мм/хв мають забезпеченість 55 %, далі зі збільшенням інтенсивності забезпеченість різко падає. Так, інтенсивність 0,3 мм/хв має забезпеченість 30 %, 0,5 мм/хв – близько 20 %, 1,0 мм/хв – 5 % випадків.

Також у [27] встановлено, що часовий розподіл значень інтенсивності опадів у теплий період, зокрема небезпечних опадів та дуже сильних, має хвильову структуру, що є підтвердженням теоретичних висновків про особливості процесів хмаро- та опадоутворення. Виділяють зливові опади, для яких середні максимальні інтенсивності становлять 1,22–1,39 мм/хв, тривалість основних хвиль підсилення – від 11,2 хв до 32,6 хв, облогові – із середньою максимальною інтенсивністю 0,11 мм/хв, тривалість хвиль підсилення – 20,8 хв; облогові зі зливовими включеннями, коли середні максимальні інтенсивності змінюються від 0,49 мм/хв до 0,69 мм/хв, тривалість основних хвиль підсилення – від 21,1 хв до 40,8 хв. Основна маса води, що формує поверхневий стік утворюється переважно під час хвиль підсилення інтенсивності опадів, за цей час може утворитися від 60 % до 90 % поверхневого стоку.

Виконаний у цій роботі аналіз динаміки значень інтенсивності опадів для періоду 2005-2017 рр., та порівняний із даними отриманими в науковому експерименті 1969 року, показав, що величини

максимальних значень інтенсивності для одного і того ж типу опадів у різні періоди спостережень співпадають.

Для розрахунку інфільтрації вологи в ґрунт земляного полотна автомобільних доріг, вважаємо не має сенсу приймати щоденні дані, отримані за показаннями плювіографів чи опадомір або їхні середньомісячні величини, або градувати їх залежно від регіону, як наведено в довідниках чи методичних рекомендаціях, оскільки це потребує достатньо великої кількості вихідних даних, які є ймовірнісними величинами і чим більша їхня кількість, тим важче отримати результат із заданою достовірністю. Вважаємо, що достатньо визначити найбільш критичні максимальні інтенсивності дощу для облогових, зливових чи змішаних дощів, для різних видів ґрунту, їхнього гранулометричного складу і початкової вологості ґрунту (ці величини також не стабільні, але більшість їхні характеристик з достатньою точністю уже відомі). У подальшому, для цих умов, отримати залежності зміни фізико-механічних характеристик ґрунту і розробити заходи із їхнього покращення чи недопущення перезволоження. Таким чином, отримана дорожня конструкція, за недосягнення критичних інтенсивностей опадів під час експлуатації буде працювати із запасом, при досягненні або коротко строковому перевищені, буде забезпечена розрахункова міцність конструкції. Звичайно, заходи із забезпечення міцності дорожньої конструкції можуть призвести до її незначного удорожчання на етапі будівництва, проте вони запобігають можливим деформаціям і аварійними ситуаціям, які можуть виникнути в подальшому, як наслідок використання вихідних даних опадів із меншими характеристиками.

Ураховуючи велике напрацювання науковців минулого, де до зливових відносять опади від 0,033 мм/хв і більше та ураховуючи, статистичні розрахунки авторів і, зокрема, результати [27], для подальших розрахунків і досліджень пропонується використовувати дані [32], для всієї території України (окрім гірських районів) – 1,26 мм/хв; для Криму – 1,50 мм/хв; для Карпат – 1,78 мм/хв.

Висновки. Аналізуючи питання інфільтрації вологи в ґрунт земляного полотна автомобільних доріг, можна зробити висновок, що вплив атмосферних опадів є одним із ключових чинників, який впливає на надійність і довговічність дорожньої конструкції. Незважаючи на наявність значної кількості досліджень і практичних напрацювань у цій галузі, залишаються аспекти, які потребують додаткового вивчення та уточнення.

По-перше, слід звернути увагу на розрахункову інтенсивність дощу, яка є важливою характеристикою під час проєктування систем поверхневого водовідведення та дренажів. Відсутність єдиного підходу до класифікації опадів та розбіжності в методах розрахунку інтенсивності опадів у різних авторів створюють труднощі під час визначення оптимальних параметрів дренажних систем і водовідведення.

По-друге, урахування тривалості та інтенсивності опадів під час розрахунку інфільтрації вологи в ґрунт є критично важливим для забезпечення надійної роботи дорожньої конструкції.

По-третє, необхідно удосконалити існуючі методики розрахунку інфільтрації вологи опадів, що дозволить проєктувати більш ефективні й надійні конструкції, здатні витримувати вплив як короткотривалих зливових дощів, так і тривалих опадів середньої інтенсивності.

Перелік посилань

1. Сіденко В.М. Розрахунок і регулювання водно-теплового режиму дорожніх одягів і земляного полотна. Автотрансіздат, 1962. 116 с. [р.м.].

2. Пузаков М.А., Золотарь І.А., Сіденко В.М., Тулаєв А.Я. Водно-тепловий режим земляного полотна і дорожніх одягів. Транспорт, 1971. 414 с. [р.м.].

3. Сіденко В.М. Автомобільні дороги. Удосконалення методів проектування і будівництва. Будівельник, 1973. 279 с. [р.м.].

4. Заворицький В.Й. Збезпечення експлуатаційної надійності високих насипів автомобільних доріг : дис... д-ра техн. наук : 05.23.14. К., 1986. 482 с. [р.м.].

6. Рувинський В.І. Оптимальні конструкції земляного полотна на основі регулювання водно-теплового режиму. Транспорт, 1982. 166 с. [р.м.].

7. Cedergren Harry R., O'Brien Kenneth H. Development of guidelines for the design of subsurface drainage systems for highway pavement structural sections. 1972. 193 p.

8. Седергрен Г.Р. Дренаж дорожніх одягів та аеродромних покриттів : пер. з англ. : Транспорт, 1981. 280 с. [р.м.].

9. Dawson Andrew. Water in Road Structures. Transportation Engineering Centre University of Nottingham. UK. 2009. 438 p.

10. Савенко В.Я., Каськів В.І. Вплив опадів на розподіл вологості грунтів верхньої частини земляного полотна. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 1997. Вип. 54. С.6-11.

11. Каськів В.І. Удосконалення показників робочої зони високих насипів з врахуванням інфільтрації атмосферних опадів : дис... канд. техн. наук : 05.22.11. К., 1998. 286 с.

12. Савенко В.Я., Славінська О.С., Стьожка В.В. Індивідуальний підхід при проектуванні дренажів мілкого залягання з урахуванням кліматичних особливостей регіону. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2011. Вип. 80. С. 3-15.

13. Стьожка В.В. Удосконалення методу розрахунку дренажних систем мілкого закладення : дис... канд. техн. наук : 05.22.11. К., 2015. 219 с.

14. Бубела А.В. Дослідження закономірностей зволоження дорожньої конструкції та методи його регулювання. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2019. Вип. 105. С. 44-48. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/105/44.pdf

15. Savenko V., Kvatadze A., Davydenko O., Stozhka V., Ianchuk L. Forecasting of the moisture mode of the drainage layer of a road structure under the action of a load. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 4, No 7 (106). P. 62-75.

(Scopus) URL: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209421

16. Бубела А.В. Методологія проектування поперечних дренажів мілкого закладання з оцінкою якісного стану автомобільної дороги: дис... д-ра. техн. наук : 05.22.11. К., 2021. 427 с.

17. Городецький О.А., Гуральник І.І., Ларін В.В. Метеорологія, методи і технічні засоби спостереження. Гідрометеоіздат, 1984. 336 с. [р.м.].

18. Зверєв О.С. Синоптична метеорологія. Гідрометеоіздат, 1977. 712 с. [р.м.]

19. Большаков В.А., Курганович А.А. Гідрологічні і гідравлічні розрахунки малих дорожніх споруд. Вища школа, 1983. 280 с. [р.м.].

20. Хромов С.П. Метеорологія і кліматологія. Гідрометеоіздат, 1983. 456 с. [р.м.].

21. Лєбєдєв А.П. Врахування особливостей формування максимальних зливових паводків на малих водозборах БССР при призначені отворів дорожніх водовідвідних споруд. *Автомобільний транспорт і дороги*. 1981. Вип. 8. С. 112-116. [р.м.].

22. Вороб'єв В.І. Синоптична метеорологія. Гідрометеоіздат, 1991. 616 с. [р.м.].

23. Алібегова Ж.Д. Просторово-часова структура полів рідких опадів. Гідрометеоіздат,1985. 228 с. [р.м.].

24. Атмосфера. Довідник / під ред. Ю.С. Сєдунова. Гідрометеоіздат, 1991. 510 с. [р.м.].

25. Довідник № 4. Кліматичні характеристики та кліматичне районування території України для регулювання водно-теплового режиму в дорожньому будівництві. 2018. 98 с.

26. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія. Мінрегіонбуд України, 2011. 127 с.

27. Паламарчук Л.В., Сокур К.С., Заболоцька Т.М. Динаміка інтенсивності опадів та мезоструктурні особливості їх полів у теплий період року на рівнинній частині території України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 4 (55). С. 95-111.

28. Перевозников Б.Ф. Розрахунки максимального стоку під час проектування дорожніх споруд. Транспорт, 1975. 304 с. [р.м.].

29. ВСН 63-76 Інструкція з розрахунку зливового стоку води з малих басейнів. 1976. 101 с. [р.м.].

30. Большаков В.А., Курганович А.А. Гідрологічні і гідравлічні розрахунки малих дорожніх споруд. Вища школа, 1983. 280 с. [р.м.].

31. Константинов Н.М., Чистяков І.В. Розрахунок системи дорожнього водовідводу. 2011. 40 с. [р.м.].

32. Посібник до ДСТУ 9057:2020 настанова з проєктування та влаштування споруд поверхневого водовідведення на автомобільних дорогах загального користування. К., 2020. 121 с.

33. Каськів В. І., Гаврищук В.В. Обґрунтування доцільності проєктування систем поверхневого водовідведення, як складової комплексу очисних споруд на автомобільних дорогах. *Дороги і мости*. 2020. Вип. 21. С. 95–109.

34. Kaskiv V., Havryshchuk V. Mathematical model for the duration of runoff formation determined from the road surface. *Heliyon*. Volume 6, ISSUE 12, E05687, December 01, 2020 https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05687

35. Солодкий С.Й., Каськів В.І., Гаврищук В.В. Поверхнева концентрація стоку та розрахунковий похил автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2019. Вип. 106. С. 46-53.

36. МР В 2.3-02070915-849:2014 Методичні рекомендації щодо регулювання водно-теплового режиму у межах робочого шару земляного полотна автомобільних доріг. 2014. 61 с.

37. М 218-02070915-684:2011 Методика визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкого залягання з урахуванням річного циклу роботи. 2011. 26 с.

38. МР В.2.3-37641918-933:2023 Методичні рекомендації з проєктування дорожніх конструкцій з поперечними трубчастими дренажами мілкого закладання на основі дослідження напружено-деформованого стану. 2023. 31 с.

39. Посібник з проектування методів регулювання водно-теплового режиму верхньої частини земляного полотна (до СНиП 2.05.02-85). 1989. 97 с. [р.м.].

40. Лєбєдєв А.Н. Оцінка імовірнісних характеристик опадів на території Західної Європи. Труди головної геофізичної обсерваторії ім. О. І. Воєйкова. 1977. Вип. 390. С. 115-125 [р.м.].

STUDY OF PRECIPITATION CHARACTERISTICS FOR CALCULATIONS OF SURFACE WATER DRAINAGE AND MOISTURE INFILTRATION INTO THE SOIL OF ROAD SUBGRADE

Volodymyr Petrovych, Candidate of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher, Professor of the Transportation Construction and Property Management Department, National Transport University. e-mail: petrovichvv60@ukr.net**,** tel. +380442807338, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, room 138, https://orcid.org/0000-0003-0422-2535

Kostiantyn Kasai, National Transport University, postgraduate student, e-mail: *Kasai2709@ukr.net,* https://orcid.org/0000-0003-3292-3339

Abstract. The article examines the impact of precipitation characteristics on surface drainage and moisture infiltration into the soil of road embankments. Relevance. In light of the full-scale invasion of the Russian Federation into Ukraine, the construction of new roads and the reconstruction of existing ones have been relegated to the background. However, issues related to road construction, especially those requiring scientific justification, must be addressed today. The reliability and durability of pavement significantly depend on the condition of the soil foundation, which serves as the basis for the entire structure. Analysis of numerous reports on road sections with defects in the embankment and pavement indicates that the primary cause of these defects is the excessive moisture in the working area soil, caused by inadequate drainage, defects in the pavement, insufficient soil compaction, and the use of unsuitable materials.

Problem Statement. The issues of ensuring proper drainage and the water-thermal regime of road structures require detailed study. Moisture from atmospheric precipitation has a decisive impact on the deformation and destruction of road structures, making consideration of this factor extremely relevant. The authors of the article note that the study of the impact of atmospheric precipitation on road structures and the soil of road embankments requires further scientific research.

Objective. The article considers approaches to calculating surface drainage and moisture infiltration into the soil, taking into account precipitation intensity, which is one of the key parameters in the design of drainage systems, selection of embankment soil, and other elements of road structures. Methods for improving

these calculations are proposed, particularly regarding the consideration of the duration and intensity of precipitation, which allows for enhancing the economic and technical efficiency of design solutions.

Conclusions. A review of scientific research on the classification and characteristics of precipitation was conducted. Based on the analysis, the following average precipitation intensities are recommended for further calculations and research: for the entire territory of the country (excluding mountainous regions) – 1.26 mm/min; for Crimea – 1.50 mm/min; for the Carpathians – 1.78 mm/min.

Keywords: highway, moisture, soil, rain, embankment, infiltration, precipitation.

References

1. Sidenko V.M. Calculation and regulation of the water-thermal regime of road pavements and subgrade. Avtotransizdat, 1962. 116 p. [in Russian].

2. Puzakov M.A., Zolotar I.A., Sidenko V.M., Tulayev A.Y. Water-heat regime of subgrade and road pavement. Transport, 1971. 414 p. [in Russian].

3. Sidenko V.M. Automobile roads. Improvement of design and construction methods. Builder, 1973. 279 p. [in Russian].

4. Zavorytskyi V.Y. Ensuring the operational reliability of high embankments of highways: Doctor of Technical Sciences: 05.23.14. K., 1986. 482 p. [in Russian].

6. Optimal designs of subgrade on the basis of regulation of water-heat regime. Transport, 1982. 166 p. [in Russian].

7. Cedergren Harry R., O'Brien Kenneth H. Development of guidelines for the design of subsurface drainage systems for highway pavement structural sections. 1972. 193 p.

8. Södergren G.R. Drainage of road pavements and airfield pavements: trans. from English: Transport, 1981. 280 p. [in Russian].

9. Dawson Andrew. Water in Road Structures. Transportation Engineering Center University of Nottingham. UK. 2009. 438 p.

10. Savenko V.Y., Kaskiv V.I. Influence of precipitation on the distribution of soil moisture in the upper part of the subgrade. Automobile roads and road construction. 1997. Issue 54. P. 6-11. [in Ukrainian].

11. Kaskiv V.I. Improvement of indicators of the working zone of high embankments taking into account the infiltration of atmospheric precipitation: Candidate of Technical Sciences: 05.22.11. K., 1998. 286 p. [in Ukrainian].

12. Savenko V.Y., Slavinska O.S., Stezhka V.V. Individual approach to the design of shallow drainage taking into account the climatic features of the region. Automobile roads and road construction. 2011. Issue 80. P. 3-15. [in Ukrainian].

13. Stiezhka V.V. Improvement of the method of calculation of shallow drainage systems: Candidate of Technical Sciences: 05.22.11. K., 2015. 219 p. [in Ukrainian].

14. Bubela A.V. Study of the regularities of road structure moistening and methods of its regulation. Automobile roads and road construction. 2019. Issue 105. P. 44-48. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/105/44.pdf. [in Ukrainian].

15. Savenko V., Kvatadze A., Davydenko O., Stozhka V., Ianchuk L. Forecasting of the moisture mode of the drainage layer of a road structure under the action of a load. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 4, No. 7 (106). P. 62-75.

(Scopus) URL: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209421

16. Bubela A.V. Methodology for the design of shallow transverse drains with an assessment of the quality state of the road: PhD thesis: 05.22.11. K., 2021. 427 p. [in Ukrainian].

17. Gorodetskyi O.A, Guralnyk I.I, Larin V.V. Meteorology, methods and technical means of observation. Hydrometeorological Publishing House, 1984. 336 p. [in Russian].

18. Zverev O.S. Synoptic meteorology. Hydrometeorological Publishing House, 1977. 712 p. [in Russian].

19. Bolshakov V.A., Kurganovich A.A. Hydrological and hydraulic calculations of small road structures. Vysshaya shkola, 1983. 280 p. [in Russian].

20. Khromov S.P. Meteorology and climatology. Hydrometeorological Publishing House, 1983.456 p. [in Russian].

21. Lebedev A.P. Consideration of the peculiarities of the formation of maximum storm floods in small catchments of the BSSR when assigning openings of road drainage structures. Automobile transport and roads. 1981. Issue 8. P. 112-116. [in Russian].

22. Vorobiev V.I. Synoptic meteorology. Hydrometeorological Publishing House, 1991. 616 p. [in Russian].

23. Alibegova Zh.D. Spatial and temporal structure of liquid precipitation fields. Hydrometeorological Publishing House, 1985. 228 p. [in Russian].

24. Atmosphere. Handbook / edited by Y.S. Sedunov. Hydrometeorological Publishing House, 1991. 510 p. [in Russian].

25. Handbook No. 4. Climatic characteristics and climatic zoning of the territory of Ukraine for regulation of water-heat regime in road construction. 2018. 98 p. [in Ukrainian].

26. DSTU-N B V.1.1-27: 2010 Construction climatology. Ministry of Regional Development of Ukraine, 2011.127 p. [in Ukrainian].

27. Palamarchuk L.V., Sokur K.S., Zabolotska T.M. Dynamics of precipitation intensity and mesostructural features of their fields in the warm season in the plain part of Ukraine. Hydrology, hydrochemistry and hydroecology. 2019. № 4 (55). P. 95-111. [in Ukrainian].

28. Perevoznikov B.F. Calculations of the maximum runoff during the design of road structures. Transport, 1975. 304 p. [in Russian].

29. VSN 63-76 Instruction for calculating stormwater runoff from small basins. 1976. 101 p. [in Russian].

30. Bolshakov V.A., Kurganovich A.A. Hydrological and hydraulic calculations of small road structures. Vysshaya shkola, 1983.280 p. [in Russian].

31. Konstantinov N.M., Chistyakov I.V..Calculation of the road drainage system. 2011.40 p. [in Russian].

32. Manual to DSTU 9057: 2020 Guidelines for the design and installation of surface drainage facilities on public roads. K., 2020.121 p. [in Ukrainian].

33. Kaskiv V. I., Havryshchuk V. V. Substantiation of the feasibility of designing surface drainage systems as part of a complex of treatment facilities on highways. Roads and bridges. 2020. Issue 21. P. 95-109. [in Ukrainian]

34. Kaskiv V., Havryshchuk V. Mathematical model for the duration of runoff formation determined from the road surface. Heliyon. Volume 6, ISSUE 12, E05687, December 01, 2020 https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05687

35. Solodkyi S.Y., Kaskiv V.I., Havryshchuk V.V. Surface concentration of runoff and calculated slope of roads. Automobile roads and road construction. 2019. Issue 106. P. 46-53. [in Ukrainian]

36. MP B 2.3-02070915-849:2014 Methodical recommendations for regulation of water-heat regime within the working layer of road subgrade. 2014.61 p. [in Ukrainian]

37. M 218-02070915-684:2011 Methods for determining the capacity of a shallow drainage structure taking into account the annual cycle of operation. 2011.26 p. [in Ukrainian]

38.MR V.2.3-37641918-933:2023 Methodical recommendations for the design of road structures with shallow transverse tubular drains based on the study of the stress-strain state. 2023. 31 p. [in Ukrainian]

39. Manual on designing methods for regulating the water-heat regime of the upper part of the subgrade (to SNiP 2.05.02-85).1989.97 p. [in Russian].

40. Lebedev A.N. Estimation of probabilistic characteristics of precipitation in Western Europe. Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A.I. Voyeikov. 1977. Issue 390. P. 115-125 [in Russian].

УДК 625.852 **DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-147-153**
UDC 625.852

ДОСЛІДЖЕННЯ АСПЕКТІВ ЗНИЖЕННЯ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНОГО ТРАВМАТИЗМУ НА ОСНОВІ ЗАКОРДОННОГО ДОСВІДУ

RESEARCH OF ASPECTS OF REDUCING ROAD TRAFFIC INJURIES BASED ON ABROAD EXPERIENCE



***Різніченко Олександр Сергійович**, аспірант кафедри «Мости, тунелі і гідротехнічні споруди» Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: assani@i.ua*

https://orcid.org/0009-0005-0132-2719

Анотація: В роботі розглянуто визначення зчеплення гідроізоляційних матеріалів з асфальтобетонним покриттям та основою на мостах. Недостатнє зчеплення гідроізоляційних матеріалів з асфальтобетонним покриттям та основою на мостах призводить до утворення зсувів, напливів, колій, а також знижує корозійну стійкість металевої ортотропної плити штучної споруди внаслідок потрапляння води через тріщини. Для дослідження обрано метод оцінки зчеплення, що дозволяє змоделювати дію вертикальних та горизонтальних навантажень на асфальтобетонне покриття з метою визначення когезійної міцності гідроізоляційного матеріалу.

Ключові слова: зчеплення між шарами, зсувостійкість, асфальтобетонне покриття, гідроізоляційний матеріал

Вступ. В останні роки в Україні, як і за кордоном, проблема недостатнього зчеплення гідроізоляційних матеріалів з асфальтобетонним покриттям на мостах, особливо при високих літніх температурах та зростаючих навантаженнях на асфальтобетонне покриття, призводить до появи передчасних зсувів, напливів, тріщин, колій та стає одним із основних факторів, що впливають. на довговічність конструкції. Це також призводить до частих ремонтів, знижуючи пропускну здатність спорудження та збільшуючи собівартість перевезень.

Матеріали та методи. Методологічною основою виступає наукових підхід до аналізу питань дослідження шляхом використання статистичного, емпіричного та комплексного методів дослідження.

Метою роботи є розгляд проблем міцності зчеплення асфальтобетонного покриття в умовах високих температур та транспортного навантаження. Відсутність достатнього зчеплення асфальтобетонного покриття, гідроізоляції та основи штучних споруд призводить до значних збитків, внаслідок передчасного виконання ремонтів, зниження швидкості руху та збільшення часу транспортування вантажів.

Виклад основного матеріалу. На сьогодні в Україні для оцінки ефективності використання різних гідроізоляційних матеріалів з асфальтобетонним покриття на мостах передбачено проведення попередніх лабораторних випробувань. Наведена нижче методика оцінки ефективності зчеплення гідроізоляційних матеріалів з асфальтобетонним покриття на мостах передбачає визначення когезійної міцності зчеплення гідроізоляційного матеріалу з асфальтобетонним покриттям на мостах при дії вертикальних навантажень від транспорту та горизонтальних зсувів, при гальмуванні транспортних

засобів. Для визначення зчеплення пропонується використовувати прилад НТУ-ЗЧ-1 зображеного на рисунку 1, який встановлюється на плиту випробувального пресу і дозволяє створювати напруження у випробовуваному зразку. Як зразки пропонується використовувати керни Ø 150 мм. У відповідності до рисунку 1, випробування передбачає створення нормального зусилля, яке діє перпендикулярно до торця зразку, та моделює зусилля, що впливає на вертикальне ущільнення від транспорту P та нормального напруження σ, що рівномірно розподілене по поверхні торців зразку, і відповідно впливає на контактний тиск від транспортного колеса, внаслідок створення навантаження $T_П$ за рахунок використання випробувального прес на контакті шару зразку, здійснюється імітація горизонтального ущільнення від транспорту і створюється дотичне напруження τ між асфальтобетонним шаром, бетонною або металевою основою та гідроізоляційним матеріалом, який витримує зразок керну до порушення зчеплення між ними.

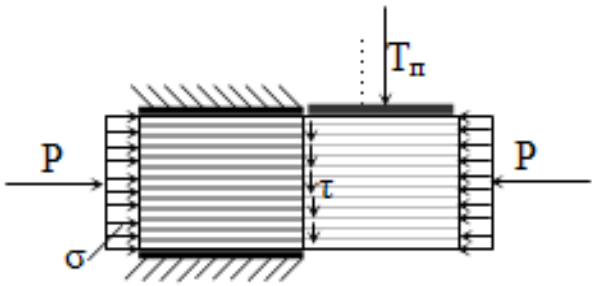


Рисунок 1 – Схема випробування зразків кернів на зчеплення між асфальтобетоном, гідроізоляцією та металевою основою

Figure 1 – Scheme of testing core samples for adhesion between asphalt concrete, waterproofing and metal base

Випробування проводиться при різних значеннях σ і відповідно визначають гранично допустиме дотичне напруження τ. Випробування проводиться при швидкому режимі навантаження (швидкість переміщення траверси преса становить 100 мм/хв), яке імітує дію екстремального гальмування транспортних засобів та повільному (швидкість переміщення траверси преса становить 3 мм/хв), яке імітує нормальний режим гальмування. За різних режимів навантаження враховуються особливості прояву реологічних властивостей. На основі результатів випробувань при визначенні граничних дотичних напружень τ обчислені параметри і для відповідних режимів навантаження, що дозволило обчислити значення розрахункової гранично допустимого напруження [τ] для розрахункових груп автомобілів А1, А2 і Б ВБН В-2.3-218-186 [1] та наведено у таблиці 1. Випробування проводиться при найбільш несприятливій температурі для зчеплення гідроізоляційних матеріалів з основою та асфальтобетонним покриттям на мостах при + 50 °С.

Таблиця 1 – Режими навантаження при проведенні випробувань для оцінки зчеплення

Table 1 – Load modes when conducting tests to evaluate adhesion

№ п/п	Параметри режиму випробувань			Кількість зразків для випробувань, шт.
	навантаження		швидкість ходу плити пресу, мм/хв	
	σ, МПа	σ, МПа тиск в манометрі системи навантаження, МПа		
1	0,3	0,23	3	3
2	0,3	0,23	100	3
3	0,7	0,54	3	3
4	0,7	0,54	100	3

Обробка результатів випробувань виконується наступним чином:

- при різних значеннях σ (0,3 и 0,7 МПа) розраховуються граничні дотичні напруження τ_1 і τ_2, при заданих швидкостях навантаження: для отримання τ_1 і τ_2 використовують по три керна, визначаючи відповідно $T_{П1}$, $T_{П2}$ при заданій швидкості випробувань; середнє арифметичне значення $\overline{T}_{П1}$ и $\overline{T}_{П2}$ визначають за результатами випробувань трьох зразків (різниця між результатами випробувань окремих зразків не повинна перевищувати ± 30 %); розраховують відповідне значення τ за формулою:

$$\tau = \frac{T_{П}}{S}, \tag{1}$$

де S – площа зразку, см^2.

- визначаються параметри f і c за формулами (2) і (3) для кожної швидкості випробувань:

$$f = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\sigma_1 - \sigma_2}; \tag{2}$$

$$c' = \tau_1 - \sigma_1 \cdot f; \quad c'' = \tau_2 - \sigma_2 \cdot f;$$

$$c = \frac{c' + c''}{2}. \tag{3}$$

- для відповідних режимів навантаження визначають розрахункове значення граничного дотичного напруження $[\tau]$ між асфальтобетоном, гідроізоляцією та плитою проїзної частини мосту для розрахункових груп автомобілів А1, А2 і Б згідно з ВБН В-2.3-218-186 [1], за формулою:

$$[\tau] = \sigma \cdot f + c, \tag{4}$$

де σ – нормальне напруження, МПа; f – коефіцієнт тертя; c – граничне зчеплення;

- оцінку зчеплення гідроізоляційного матеріалу з асфальтобетонним покриття проїзної частини мостів визначають, перевіряючи умову міцності: $[\tau] > \tau_{max}$, де τ_{max} – горизонтальне дотичне напруження, яке діє на границі гідроізоляційного матеріалу, між асфальтобетонним покриття і основою мосту (приймається на основі даних, наведених в таблиці 2 або на основі розрахунків обґрунтованих і затверджених у встановленому порядку замовником індивідуально для окремого об'єкту), $[\tau]$ – розрахункове граничне дотичне напруження (розраховується на основі отриманих результатів експериментального визначення параметрів зчеплення гідроізоляційного матеріалу з асфальтобетонним покриття проїзної частини).

Таблиця 2 – Нормативні табличні дані для значень σ і τ_{max}
Table 2 – Normative table data for the values of σ and τ_{max}

Група розрахункового навантаження	Розрахунковий параметр навантаження	Максимальне дотичне напруження τ_{max}, МПа	
	σ, МПа	при екстреному гальмуванні	при повільному гальмуванні
$А_1$	0,80	0,56	0,45
$А_2$	0,60	0,42	0,32
Б	0,50	0,35	0,25

Для дослідження та аналізу була розроблена серія різних систем «метал – гідроізоляція – асфальтобетон» наведено в таблиці 3. Як гідроізоляційний матеріал було використано мембрану Велестронг, яка характеризується ізолюючими та антикорозійними властивостями, підвищеною стійкістю до абразивного зносу та агресивних середовищ [2].

Таблиця 3 – Дослідження систем дорожнього одягу мостового полотна
Table 3 – Research of road wear systems of the bridge deck

Система	Найменування матеріалів системи
№ 1	1. Метал — 2. П — 3. МВ — 4. ПМБ — 5. ГА.
№ 2	1. Метал — 2. П — 3. МВ — 4. ПМБ — 5. ЩМА
№ 3	1. Метал — 2. П — 3. МВ — 4. ПМБ нанесення щебеню з витратою 500 г/м^2 (фракції - 3 мм) — 5. ГА.
№ 4	1. Метал — 2. П — 3. МВ — 4. ПМБ нанесення щебеню з витратою 500 г/м^2 — 5. ЩМА.
№ 5	1. Метал — 2. П — 3. МВ — 4. А — 5. ГА.
№ 6	1. Метал — 2. П — 3. МВ — 4. А з додаванням піску — 5. ГА.
№ 7	1. Метал — 2. П — 3. МВ — 4. А, змішаний з щебенем, з витратою 500 г/м^2 — 5. ГА.
№ 8	1. Метал — 2. П — 3. МВ — 4. А, змішаний з щебенем, з витратою 500 г/м^2 — 5. ЩМА
№ 9	1. Метал — 2. П — 3. МВ — 4. А, нанесення щебеню з витратою 500 г/м^2 — 5. ГА.
№ 10	1. Метал — 2. П — 3. МВ — 4. А, нанесення щебеню з витратою 500 г/м^2 — 5. ЩМА
№ 11	1. Метал — 2. П — 3. МВ — 4. А, нанесення щебеню з витратою 600 г/м^2 — 5. ГА.
№ 12	1. Метал — 2. П — 3. МВ — 4. А, нанесення щебеню з витратою 600 г/м^2 — 5. ЩМА
№ 13	1. Метал — 2. П — 3. МВ — 4. А, нанесення щебеню з витратою 800 г/м^2 — 5. ГА.
№ 14	1. Метал — 2. П — 3. МВ — 4. А, нанесення щебеню з витратою 800 г/м^2 — 5. ЩМА
№ 15	1. Металл — 2. Zed S 94 — 3. Eliminator — 4. Tack Coat No.2 — 5. ГА
Позначення матеріалів: П - Велестронг АП Праймер; МВ - мембрана Велестронг АП, А – шар зчеплення Велестронг АП Адгезив; ПМБ – шар зчеплення з модифікованого бітуму; ЩМА – щебенево-мастиковий асфальтобетон, ГА - гусасфальт.	

Загальний вигляд декількох з запроектованих варіантів систем (табл. 3) наведено на рисунках 2 – 4.



Рисунок 2 – Метал + П + МВ + А
Figure 2 – Metal + P + MV + A

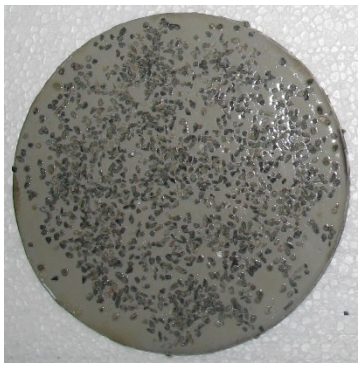


Рисунок 3 – Метал + П + МВ + А, нанесення щебеню з витратою 600 г/м^2
Figure 3 – Metal + П + MB + A, application of crushed stone with consumption of 600 g/m2

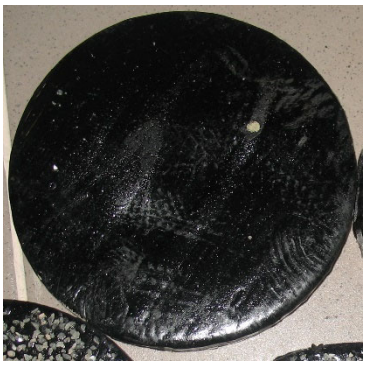


Рисунок 4 – Метал + П + МВ + ПМБ
Figure 4 – Metal + P + MV + PMB

Таблиця 4 – Граничні зсувні напруження для різних систем дорожнього одягу мостового полотна

Table 4 – Ultimate shear stresses for different pavement systems of the bridge deck

Система	Зсувні дотичні напруження, МПа при швидкості ходу плити пресу, 3 мм/хв	Нормативні значення						
		СОУ45.2-00018112-046 [3]						ГБН В.2.3-218-003 [4,]
		При екстреному гальмуванні розрахункового навантаження			При повільному гальмуванні розрахункового навантаження			
		$А_1$	$А_2$	Б	$А_1$	$А_2$	Б	
№1	0,48	0,56	0,42	0,35	0,45	0,32	0,25	Міцність зчеплення з основою, не менше 0,3 МПа
№2	0,45							
№3	0,50							
№4	0,48							
№5	0,32							
№6	0,38							
№7	0,57							
№8	0,575							
№9	0,58							
№10	0,59							
№11	0,61							
№12	0,63							
№13	0,67							
№14	0,69							
№15	0,48							

Були отримані значення граничних напружень, що призводять до зсуву асфальтобетону, у вигляді середнього з результатів випробування трьох зразків для кожної системи 4 та обчислені розрахункові граничні дотичні напруження між асфальтобетонними шарами для кожного розрахункового автомобіля групи А1, А2 і Б за ВБН В-2.3-218-186 [1] згідно СОУ 45.2-00018112-046 [3], що наведено в таблиці 4.

Частина зразків досліджуваних систем після випробувань наведено на рисунку 5.



Рисунок 5 – Система: метал, П, МВ, А, посипка щебенем з витратою 800 г/м^2, ГА
Figure 5 – System: metal, P, MV, A, crushed stone sprinkling with a consumption of 800 g/m2, GA

Висновки. Визначення зчеплення гідроізоляційних матеріалів з асфальтобетонним покриттям та основою на мостах необхідно визначати перед будівництвом у лабораторних умовах, зокрема із застосуванням вищеописаної методики та приладу НТУ-ЗЧ-1, для вибору кращого варіанту. У ході проведених досліджень було встановлено, що зчеплення між шарами гідроізоляції та асфальтобетону за умовою експлуатації навантажень, що призводять до зсуву асфальтобетону, може бути забезпечене використанням наступних систем дорожнього одягу: № 9 – 14. З метою забезпечення опору пластичним деформаціям та довговічності роботи дорожнього одягу мостового полотна у складних експлуатаційних умовах, необхідно враховувати не лише міцне склеювання всіх шарів дорожнього одягу (міжшарового зчеплення), а й обов'язкове застосування спеціального фракційного шару між гідроізоляцією та асфальтобетонним покриттям.

На основі результатів досліджень та даних інших авторів [5] рекомендується використовувати для втоплення в допоміжний шар зчеплення гідроізоляції, у прикладі для Велестронг АП фракційний щебінь 2,5-5 мм з витратою 500 - 1000 г/м^2. Фракційний шар, влаштований шляхом втоплення дрібного щебеню фракції 3 мм у допоміжний шар гідроізоляційного матеріалу високої міцності (наприклад, Велестронг АП), дозволяє ефективно протистояти напруженням, що призводять до зсуву. Отримані результати свідчать, що міцність зчеплення при зсуві між гідроізоляцією «Велестронг АП» та гусасфальтом відповідають вимогам СОУ 45.2-00018112-046, та можливе її подальше застосування для влаштування захисту проїжджої частини мостів на автомобільних дорогах I-V категорій.

Перелік посилань

1. ВБН В-2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу –Київ, 2004. – 151 с.

2. Сахно О.Г. Захист стальних конструкцій мостів від корозії системами покриття Welesgard / Сахно О.Г./ Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. Науково-технічний збірник. Випуск 38. – Київ, 2010. - с. 114-120.

3. СОУ 45.2-00018112-046:2009. Асфельтобетон дорожній. Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві – Київ, 2009. – 10 с.

4. ГБН В.2.3-218-003:2010. Споруди транспорту. Технологія улаштування гідроізоляції проїзної частини залізобетонних автодорожніх мостів і шляхопроводів із застосуванням полімерних матеріалів та водонепроникного бетону – Київ, 2010. – 43 с.

5. Онищенко А.М. Управління якістю по забезпеченню зсувостійкості та коліємтійкості асфальтобетонного покриття на мостах / Онищенко А.М., Мозговий В.В., Невінгловський В.Ф., Різніченко О.С., Гаркуша М.В// Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. Науково-технічний збірник. Випуск 38. – Київ, 2010. – с. 88-98.

RESEARCH OF THE USE OF DIFFERENT TYPES OF WATERPROOFING MATERIALS TO INCREASE THE ADHESION OF THE COVERING FROM THE BRIDGE

Oleksandr Riznichenko, Postgraduate student Department of Bridges and Tunnels, National Transport University, Kyiv, Ukraine, *assani@i.ua*, https://orcid.org/0009-0005-0132-2719

Summary. The articles deals of the definition clutch waterproofing materials with asphalt concrete pavement and base on the bridges. Insufficient adhesion of waterproofing materials with asphalt surface and base of the bridges will leading to the formation shear, ruts and reduces the corrosion resistance of steel orthotropic plate artificial structures, due to the ingress of water through the cracks. To investigate the methods chosen for assessment of coupling, which allows you to simulate the vertical and horizontal loads on asphalt concrete coating to determine the cohesive strength of the waterproof material. In order to provide resistance to plastic deformation and durability of bridge deck pavement in difficult operating conditions, it is necessary to consider not only the strong bonding of pavement layers (interlayer coupling), and mandatory use of a special fraction of the layer between the waterproofing and asphalt surface. Based on research and data from different authors recommended for drowning the auxiliary clutch waterproofing layer, in this example for Velestrong AP gravel fraction 2.5-5 mm at a rate of 500 - 1000 g/m^2. Fractional layer, arranged by drowning fine gravel fraction 3 mm auxiliary layer of waterproofing material of high strength (eg Velestrong AP), can effectively resist shear stresses.

Keywords: coupling between the layers, shear resistance, asphalt coating, waterproofing material.

References

1. VBN B-2.3-218-186-2004 Transport structures. Non-rigid road clothing - Kyiv, 2004. - 151 p.

2. Sakhno O.G. Protection of steel bridge structures from corrosion by Welesgard coating systems / O.G. Sakhno/ Building materials, products and sanitary equipment. Scientific and technical collection. Issue 38. - Kyiv, 2010. - p. 114-120.

3. SOU 45.2-00018112-046:2009. Road asphalt concrete. Methodology for assessing adhesion between asphalt concrete spheres during shear - Kyiv, 2009. - 10 p.

4. GBN V.2.3-218-003:2010. Transport facilities. Technology of installation of waterproofing of the carriageway of reinforced concrete road bridges and overpasses using polymer materials and waterproof concrete - Kyiv, 2010. - 43 p.

5. Onyshchenko O.M. Quality management to ensure shear resistance and rutting resistance of asphalt concrete pavement on bridges / O.M. Onyshchenko, V.V. Mozgovii, V.F. Nevinglovskyi, O.S. Riznichenko, M.V. Harkusha// Building materials, products and sanitary equipment. Scientific and technical collection. Issue 38. - Kyiv, 2010. - p. 88-98.

УДК 625.7
UDC 625.7

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-154-162

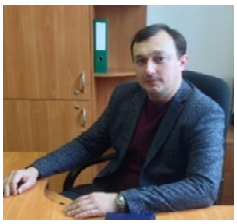
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОГОДНО-КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ НА ПРОПУСКНУ ЗДАТНІСТЬ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ТА МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ

STUDY OF THE INFLUENCE OF WEATHER AND CLIMATE FACTORS ON THE CAPACITY OF ROADS AND BRIDGE CROSSINGS



Савенко В'ячеслав Якович, *Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: svi1310@ukr.net, тел. +380504713399*

https://orcid.org/0000-0001-8174-7728



Бубела Андрій Володимирович*, доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: bubelaandrey@ukr.net,*
тел.. +380505535594

https://orcid.org/0000-0002-5619-003X



Чечуга Олександр Сергійович*, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: chechuga77@gmail.com, тел. +380662019442*

https://orcid.org/0000-0003-1643-6354



Фещенко Анна Миколаївна*, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: fanna17@ukr.net, тел. +380677441754*

https://orcid.org/0000-0002-8212-5362



Воронцов Ярослав Сергійович*, аспірант кафедри залізничної колії та колійного господарства, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, Україна, e-mail: voroncov.yaroslav@gmail.com, тел. +380932535533*

https://orcid.org/0009-0000-8178-5468

Анотація: В роботі розглянуто основні показники пропускної здатності, які залежать від великої кількості чинників: дорожніх умов (ширини проїжджої частини, поздовжнього ухилу, радіусу кривих у плані, відстані видимості тощо), складу потоку автомобілів, можливості маневрування автомобілів по ширині проїжджої частини, психофізіологічних особливостей водіїв, особливо погодно-кліматичних умов. Визначено, що зміна з цих чинників призводить до суттєвих коливань пропускної спроможності протягом доби, місяця, сезону та року. Зниження пропускної здатності автомобільних доріг та мостових переходів призводить до збільшення концентрації дорожно-транспортних подій (ДТП) та збільшенню несчасних випадків.

Визначення пропускної здатності необхідне не тільки для виявлення ділянок, що потребують поліпшення умов руху, а й для оцінювання економічності та зручності руху всього потоку автомобілів за маршрутом, вибору ефективних засобів організації руху.

Ключові слова: автомобільна дорога, автомобільний транспорт, безпека дорожнього руху, дорожнх умови, дорожно-транспортні події (ДТП), мостовий перехід, організація руху, погодні умови, погодно-кліматичні фактори, пропускна здатність.

Вступ. Пропускна спроможність залежить від великої кількості чинників: дорожніх умов (ширини проїжджої частини, поздовжнього ухилу, радіусу кривих у плані, відстані видимості тощо), складу потоку автомобілів, наявності засобів регулювання, погодно-кліматичних умов, можливості маневрування автомобілів по ширині проїжджої частини, психофізіологічних особливостей водіїв та конструкції автомобілів. Зміна з цих чинників призводить до суттєвих коливань пропускної спроможності протягом доби, місяця, сезону та року. При частому розташуванні перешкод на дорозі відбуваються значні коливання швидкості, що призводять до появи великої кількості автомобілів, що рухаються в групах, а також зниження середньої швидкості всього потоку [1].

Пропускна спроможність автомобільних доріг найпомітніше знижується в періоди дії несприятливих погодно-кліматичних чинників: дощів, снігопадів, ожеледиці, туману тощо. Це пояснюється тим, що такі чинники суттєво впливають на стан дороги, автомобіля і водія, на взаємодію автомобіля з дорогою і сприйняття водієм дороги та навколишнього оточення. У результаті знижується швидкість, збільшуються інтервали в транспортному потоці і, як наслідок, знижується пропускна спроможність, утворюються затори і зупинки.

Тому пропускну спроможність обов'язково перевіряють для стану дороги та погодних умов у найважчі періоди року – зимовий та осінньо-весняний.

Залежно від категорії дороги та її значення, утримання, клімату району під час оцінки пропускної спроможності можуть бути прийняті такі розрахункові стани поверхні дороги.

а) Зимовий період:

1) шар пухкого снігу на покритті та узбіччях лежить тільки під час снігопаду і хуртовин у перервах між проходами снігоочисних машин;

2) проїжджа частина чиста, ущільнений сніг і лід є на прикромочних смугах, а пухкий сніг на узбіччях;

3) на проїзній частині шар щільного снігового накату, на узбіччях пухкий сніг;

4) поверхня дороги вкрита ожеледицею;

5) покриття вологе, є пухкий шар снігу і льоду, розчиненого хлоридами.

Характерні умови погоди: снігопад без вітру або з вітром швидкістю до 3 м/с, хуртовина (низова, верхова, загальна), сильний вітер.

б) Осінньо-весняний перехідний період:
1) уся поверхня дороги мокра, чиста;
2) проїжджа частина мокра, чиста, прикромочні смуги забруднені;
3) проїжджа частина мокра, забруднена.

Виклад основного матеріалу. Пропускну спроможність смуги руху двосмугових доріг в реальних дорожніх умовах для цілей організації руху з урахуванням їхнього стану та погодно-кліматичних умов доцільно визначати за формулою (1).

$$P = \omega a V_0 q_{max}, \quad (1)$$

де ω – коефіцієнт, що залежить від завантаження зустрічної смуги руху (ω = 1,3 за малого завантаження зустрічної смуги $z \leq 0{,}4$; ω =1 за рівного розподілу інтенсивності по зустрічних смугах; ω =0,99 за високого завантаження зустрічної смуги $z \geq 0{,}4$);

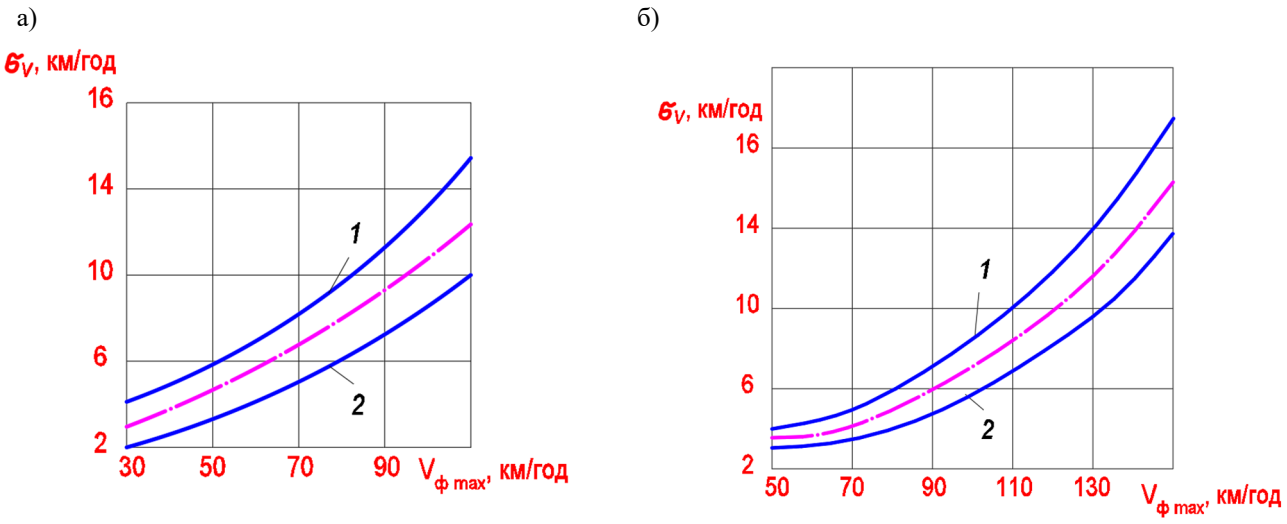
a – коефіцієнт, який залежить від дорожніх умов і типу доріг;

V_0 – швидкість руху у вільних умовах на ділянці, що розглядається, км/год;

$q_{max} = L/l$ – максимальна щільність руху на ділянці, що розглядається, авт/км;

L – довжина ділянки;

l – інтервал між автомобілями.



а – для двосмугових доріг; б – для доріг із кількістю смуг більне двох;
1 – максимальне значення; 2 – мінімальне значення.

Рисунок 1 – Залежність середньоквадратичного відхилення від максимальної швидкості.
a – for two-lane roads; б – for roads with more than two lanes;
1 – maximum value; 2 – minimum value.

Figure 1 – Dependence of the standard deviation on the maximum speed.

Середня швидкість вільного руху для розрахунку пропускної спроможності з урахуванням стану дороги та погодно-кліматичних умовможе бути визначена:

$$\overline{V_0} = V_{\text{ф}\,max} - 3\sigma_V,$$

або

$$V_0 = K_{\text{р.ш}} V_{\text{е}\,max} - 3\sigma_V, \quad (2)$$

де $V_{\text{ф}\,max}$ – максимально можлива за динамічними характеристиками або умовами безпеки швидкість легкового автомобіля за розрахункових погодних умов на даному елементі дороги;

$V_{\text{е}\,max}$ – максимальна швидкість за еталонних умов руху на даній ділянці дороги, але не більш як $V_{\text{р}}$, км/год;

σ_V – середнє квадратичне відхилення швидкості руху вільного транспортного потоку, км/год; приймають за даними рис. 1 для швидкості:

$$V_{\text{ф}\,max} = K_{\text{р.с}} V_{\text{е}\,max}; \quad (3)$$

$$K_{\text{р.ш}} = \omega \frac{V_{\text{ф}\,max}}{V_{\text{е}\,max}}, \quad (4)$$

де $K_{\text{р.ш}}$ - коефіцієнт забезпеченості розрахункової швидкості.

За еталонну приймають горизонтальну пряму ділянку з сухим, чистим, шорстким покриттям і укріпленими узбіччями. За еталонні умови погоди приймають суху літню пору, з температурою повітря 20°С, за відсутності дощу, вітру і туману.

Для спрощення розрахунків $V_{\text{е}\,max}$ може бути прийнятою рівною 120 км/год, після чого весь розрахунок пропускної спроможності за несприятливих умов погоди та несприятливого стану доріг зводиться до визначення $V_{\text{ф}\,max}$ та $K_{\text{р.ш}}$.

Таблиця 1 – Коефіцієнт, що враховує вплив завантаження рухом зустрічної або попутної смуг у різних погодно-кліматичних умовах.

Table 1 – A coefficient that takes into account the impact of oncoming or passing traffic in different weather and climate conditions.

Умови	Еталонні	Нормальні	Важкі
$K_{\text{р.ш}}$	1	0,75-1,00	0,75
ω для двосмугових доріг	0,9	0,8	0,7
ω для багатосмугових доріг	0,9	0,9	0,8

Коефіцієнт а, що враховує дорожні умови та максимально можливу або максимально допустиму швидкість:

– для двосмугових доріг із зустрічним рухом:

$$a = 0{,}65 - 0{,}00425 V_{\text{ф}\,max}; \quad (3)$$

– для багатосмугових доріг із попутним рухом:

при максимальних швидкостях до 110 км/год

$$a = 0{,}68 - 0{,}003V_{\text{ф}\,max}; \quad (4)$$

за максимальних швидкостей від 110 до 130 км/год

$$a = 0{,}43 - 0{,}00275V_{\text{ф}\,max}; \quad (5)$$

Фактичну максимально можливу або максимально допустиму швидкість легкового автомобіля під час проєктування нових доріг можна визначити аналітичним шляхом, виходячи зі схем розрахунку, вимог до геометричних параметрів і транспортно-експлуатаційних характеристик. Основним завданням при цьому є обов'язкове врахування впливу метеорологічних факторів на дорогу, взаємодії автомобіля з дорогою та сприйняття водієм умов руху.

Для визначення пропускної спроможності доріг $V_{\text{ф}\,max}$ та V_0 можна визначити розрахунком або за даними спостережень за швидкостями вільного руху легкових автомобілів за несприятливих погодних умов на всіх характерних ділянках дороги за всіх розрахункових швидкостей.

Максимально можливу швидкість у період снігопаду або за наявності снігу на горизонтальних ділянках чи на підйомах визначають з основного рівняння руху, підставляючи до нього відповідні значення опору коченню та коефіцієнта зчеплення (див. рис. 2).

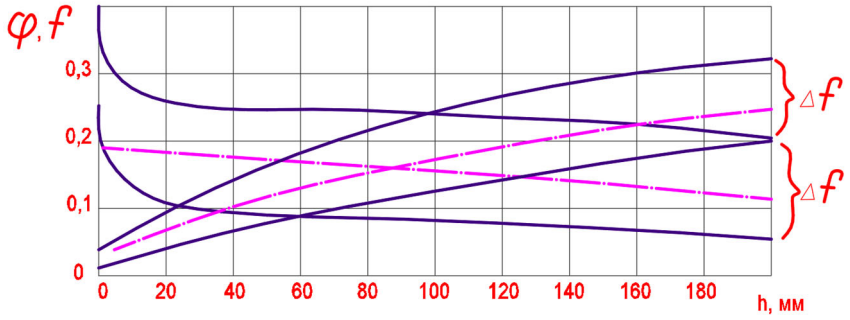


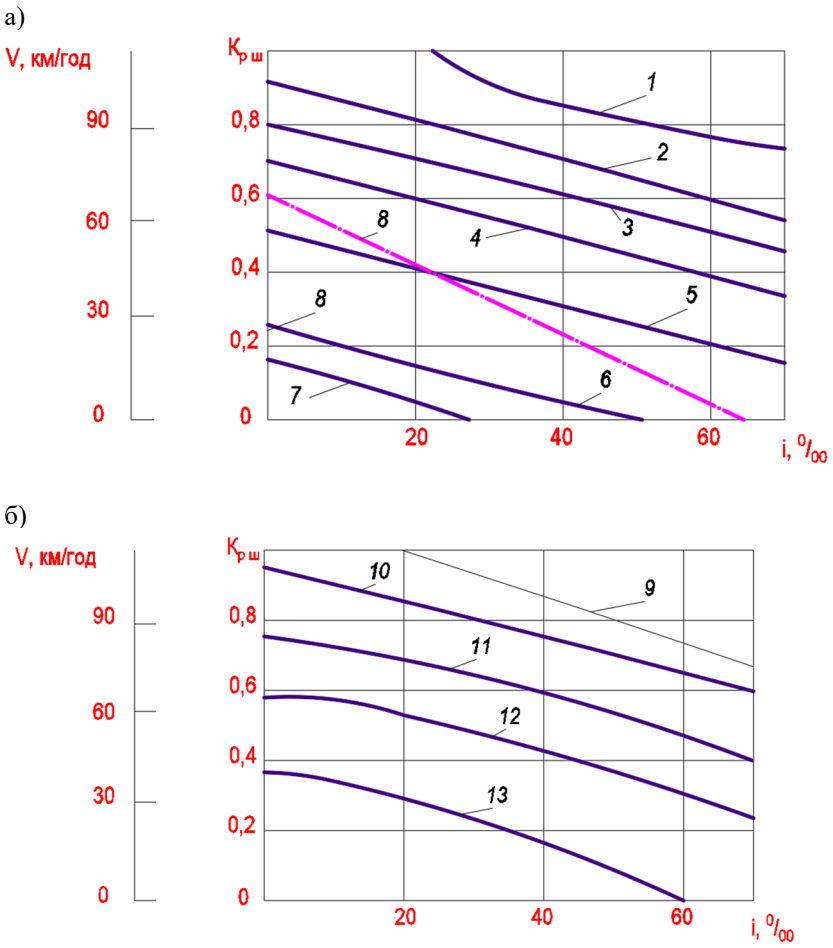
Рисунок 2 – Залежність коефіцієнтів зчеплення φ і опору коченню f від товщини неущільненого снігу $h_{\text{сн}}$ на покритті.

Figure 2 – Dependence of the coefficients of adhesion φ and rolling resistance f on the thickness of unconsolidated snow h_{sn} on the pavement.

Максимально допустиму швидкість на спуску визначають з умови гальмування перед перешкодою на покритті, яка раптово виникла, а коефіцієнт забезпеченості розрахункової швидкості знаходять, виходячи з рівності шляхів зупинки за еталонного стану і покриття, характерного для розрахункового періоду.

Значення коефіцієнтів забезпеченості розрахункової швидкості за різних станів покриття та на ділянках з різними поздовжніми ухилами наведено на рис 2.4.

Проаналізуємо один із найгірших випадків погодних умов. Як вихідні приймемо: прямолінійна горизонтальна ділянка двосмугової автомобільної дороги. Проїзна частина покрита щільним шаром снігового накату (коефіцієнт зчеплення дорівнює 0,2); слабкий туман (видимість зустрічного автомобіля 345 м); довдина ділянки аналізу 800 м; завантаження дороги рухом рівномірне в обох напрямках тва відстань між атомобілями 25 м.



а – на підйомі; б – на спуску;

1 – сухе чисте покриття f = 0,015; 2 – шар пухкого снігу $h_{сн}$= 25 мм, $h_{сн}$= 0,02; 3 – ущільнений шар снігу f= 0,04; 4 – шар пухкого снігу $h_{сн}$= 20 мм; f= 0,09; 5 – те саме, $h_{сн}$ = 40 мм, f= 0,40; 6 – те саме, $h_{сн}$= 80 мм; f=0,15; 7 – те саме, $h_{сн}$=10 мм; f=0,17; 8 – ожеледь на покритті; f =0,09; 9 – сухе чисте, φ=0,5-0,6; 10 – мокре чисте, φ =0,4; 11 – мокре, φ =0,3; 12 – сніговий накат, φ=0,2; 13 - ожеледь φ =0,1.

Рисунок 3 – Вплив поздовжнього ухилу і стану покриття на швидкість руху.

а – on the rise; б – downhill;

1 – dry, clean finish f = 0,015; 2 – layer of loose snow h_{sn}= 25 мм, h_{sn}= 0,02; 3 – compacted layer of snow f= 0,04; 4 – layer of loose snow h_{sn}= 20 мм; f= 0,09; 5 – same, h_{sn} = 40 мм, f= 0,40; 6 – same, h_{sn}= 80 мм; f=0,15; 7 – same, h_{sn}=10 мм; f=0,17; 8 – ice on the pavement; f =0,09; 9 – dry clean, φ=0,5-0,6; 10 – wet clean, φ =0,4; 11 – wet, φ =0,3; 12 – snow drift, φ=0,2; 13 - ice φ =0,1.

Figure 3 – Effect of longitudinal slope and pavement condition on driving speed

Для початку $K_{р.ш}$ визначаємо за рис. 3,б для коефіцієнта зчеплення φ = 0,2 і видимості зустрічного автомобіля 345 м, то $K_{р.ш}$ = 0,59.

Максимальну швидкість в еталонних умовах $V_{e\,max}$ приймемо рівною 120 км/год.

Максимальну швидкість у фактичних умовах визначаємо за формулою 3:

$$V_{\text{ф}\,max} = K_{\text{р.с}} V_{\text{е}\,max} = 0{,}59 \cdot 120 = 70{,}8 \text{ км/год.}$$

Середнє квадратичне відхилення визначають за рис. 1 а для $V_{\text{ф}\,max} = 70{,}8$ км/год: σ_V= 7,6 км/год.

Середню швидкість руху визначають за формулою 2:

$$\overline{V_0} = V_{\text{ф}\,max} - 3\sigma_V = 70{,}8 - 3 \cdot 7{,}6 = 48 \text{ км/год.}$$

Коефіцієнт ω=0,7 згідно з табл. 1.

Коефіцієнт a обчислюють за формулою 4:

$$a = 0{,}65 - 0{,}00425 V_{\text{ф}\,max} = 0{,}65 - 0{,}00425 \cdot 70{,}8 = 0{,}349$$

Максимальна щільність для заданого складу руху:

$$q_{max} = \frac{L}{l} = \frac{800}{25} = 32.$$

Підставляючи отримані значення у формулу 1 пропускної спроможності, отримаємо:

$$P = \omega a V_0 q_{max} = 0{,}7 \cdot 0{,}349 \cdot 48{,}0 \cdot 32 = 375 \text{ авт/год.}$$

Пропускна спроможність дялянки, що розглядається складе 375 авт/год.

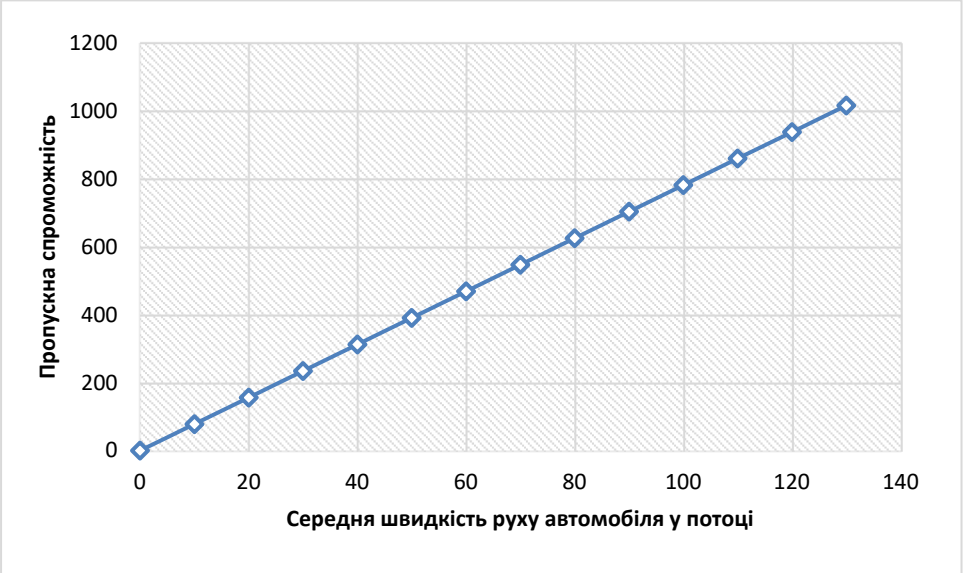


Рисунок 4– Залежність зміни пропускної спроможності від середньої швидкості руху автомобіля у потоці.

Figure 4 – Dependence of the change in throughput on the average speed of a vehicle in the flow..



Рисунок 5 – Залежність зміни пропускної спроможності від відстані між автомобілями.
Figure 5 – Dependence of the coefficients of adhesion φ and rolling resistance f on the thickness of unconsolidated snow h_{sn} on the pavement.

Підставивши у розрахунок різні середні швидкості руху автомобіля у потоці отримаємо залежність зміни пропускної спроможності рис. 4.

Підставивши у розрахунок різні відстані між автомобілями у потоці отримаємо залежність зміни пропускної спроможності рис. 5.

При збільшенні середньої швидкості руху автомобіля у потоці та зменшенні відстані між автомобілями у потоці пропускна спроможність ділянки автомобільної дороги, що розглядається значно зростає, але це буде призводити до збільшення кількості ДТП та погіршуватиме безпеку дорожнього руху [2].

Висновки. Визначення пропускної спроможності необхідне не тільки для виявлення ділянок, що потребують поліпшення умов руху, а й для оцінювання економічності та зручності руху всього потоку автомобілів за маршрутом, вибору ефективних засобів організації руху. Будь-яка дорога може працювати при завантаженнях різної інтенсивності. При цьому граничною буде інтенсивність, що відповідає пропускній здатності дороги. Ефективність транспортної роботи дороги може характеризуватися як пропускною спроможністю, так і інтенсивністю, за якої рух дорогою найекономічніший та найоптимальніший за умовами роботи водія.

Перелік посилань

1. Закон України від 19.11.1992 № 2801XII «Основи законодавства України про охорону здоров'я» – Доступ з інтернету. –www.rada.gov.ua

2. ДСТУ 3587:2022 Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги. Вимоги до експлуатаційного стану

3. М 218-02070915-674:2010 Методика визначення рівня завантаженості та пропускної здатності автомобільних доріг. Київ, 2010. 23с.

STUDY OF THE INFLUENCE OF WEATHER AND CLIMATE FACTORS ON THE CAPACITY OF ROADS AND BRIDGE CROSSINGS

Vyacheslav Savenko, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Transport Construction and Property Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: svi1310@ukr.net, tel.+380506572008, https://orcid.org/0000-0001-8174-7728.

Andriy Bubela, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Professor of the Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, tel.+380505535594, https://orcid.org/0000-0002-5619-003X

Oleksand Chechuha, Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: chechuga77@gmail.com, tel. +380662019442, https://orcid.org/0000-0003-1643-6354

Anna Feschenko, Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: fanna17@ukr.net, tel. +380677441754, https://orcid.org/0000-0002-8212-52

Yaroslav Vorontsov, PhD student at the Department of Railway Track and Track Management, State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, Ukraine, e-mail: voroncov.yaroslav@gmail.com, tel. *+380932535533*, https://orcid.org/0009-0000-8178-5468

Summary. The paper considers the main indicators of traffic capacity, which depend on a large number of factors: road conditions (roadway width, longitudinal slope, radius of curves in the plan, visibility distance, etc.), composition of the traffic flow, the ability to maneuver cars along the width of the roadway, psychophysiological characteristics of drivers, especially weather and climatic conditions. It has been determined that changes in these factors lead to significant fluctuations in traffic capacity during the day, month, season, and year. Reducing the capacity of roads and bridge crossings leads to an increase in the concentration of road traffic accidents (RTAs) and an increase in accidents.

Determination of the traffic capacity is necessary not only to identify areas requiring improvement of traffic conditions, but also to assess the efficiency and convenience of the entire traffic flow along the route, and to select effective means of traffic management.

Keywords: highway, road transport, road safety, road conditions, road traffic accidents (RTAs), bridge crossing, traffic management, weather conditions, weather and climate factors, traffic capacity..

References

1. Law of Ukraine dated November 19, 1992 No. 2801XII "Basics of Ukrainian legislation on health care" - Access from the Internet. – www.rada.gov.ua. [in Ukrainian].

2. DSTU 8745:2017 Avtomobil′ni dorohy. Metody vymiryuvannya nerivnostey osnovy i pokryttya dorozhn′oho odyahu

M 218 – 02070915 – 674: 2010 Metodyka vyznachennya rivnya zavantazhenosti ta propusknoyi zdatnosti avtomobil′nykh dorih. Kyyiv, 2010. 23s.

УДК 625.168
UDK 625.168
DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-163-169

ВИЗНАЧЕННЯ АДГЕЗІЇ БІТУМУ ДО ЗОЛИ ВИНЕСЕННЯ

DETERMINATION OF ADHESION OF BITUMEN TO FLYING ASH



Соколов О. В., *завідувач лабораторії випробувань матеріалів відділу матеріалів Центру досліджень розвитку та утримання об'єктів інфраструктури ДП "НІРІ", Київ, Україна*
e-mail: bitumen_lab@ukr.net

https://orcid.org/0000-0002-4694-9647

Анотація. В Україні близько 30% всієї електроенергії виробляється від спалювання твердого палива - вугілля, сланцю, торфу. В нашій країні налічується близько 15 діючих ТЕС на яких вторинним продуктом утворюється близько 5-6 млн. тон золошлакових відходів в рік. Таким чином, відходи паливно-енергетичного комплексу, що утворюються в топках теплових електростанцій, являють собою величезні скупчення золи у вигляді пилоподібних залишків і кускового шламу, а також різні золо-шлакові суміші. Ці продукти високотемпературної обробки (1200-1700 ºС) мінеральної частини палива, знайшли широке застосування в багатьох країнах світу і враховуючи світову тенденцію, до збільшення частки вторинного ринку використання відходів, слід прогнозувати підвищення темпів їх переробки і в Україні.

В Україні як наповнювач використовують переважно матеріал, отриманий подрібненням карбонатних гірських порід, що установлено в національних стандартах. В той же час на електрогенеруючих підприємствах України в результаті спалювання вугілля утворюються мільйони тон пилоподібних відходів – золи винесення. Даний матеріал за показниками наближається до вимог до наповнювача згідно з національного стандарту та може бути використаний для виробництва асфальтобетонних сумішей.

Під час досліджень використовували золи винесення різного походження та вапняковий мінеральний порошок Скало-Подільського спец кар'єру .

Ключові слова. мінеральний порошок, зола винесення, екологія, адгезія, бітум, асфальтов'яжуче.

Вступ. Постійне зростання обсягів будування автомобільних доріг у сучасному світі вимагає пошуку економічно та екологічно збалансованих рішень щодо використання матеріалів. Одним з основних матеріалів для влаштування монолітних шарів дорожнього одягу є асфальтобетонні суміші. Збільшення попиту на ці суміші призводить до важливого питання щодо джерел їх складників. У

цьому контексті використання побічних продуктів промисловості для вироблення асфальтобетонних сумішей стає актуальним та стратегічно важливим аспектом сучасної будівельної індустрії.

Одним з складників асфальтобетонних сумішей є наповнювач, який використовують для покращення механічних властивостей та довговічності асфальтобетону. Одним із типів наповнювачів є карбонатні мінеральні порошки, які широко використовують не тільки дорожньому будівництві, а і в інших будівельних галузях. [1]

Адгезійна властивість бітуму є дуже важливою його характеристикою, оскільки воно має вирішальне значення для забезпечення багатьох експлуатаційних властивостей композитних матеріалів на основі бітуму Всім відомо, що взаємний зв'язок та зчеплення мінеральних частинок, що утворюють асфальтобетон, відбувається завдяки внутрішньому тертю між ними та внаслідок склеювання їх бітумом у місцях взаємного з'єднання. Призначення бітуму полягає, насамперед, у склеюванні мінеральних складових асфальтобетону. Крім того, бітум обволікає мінеральні частинки тонкою бітумною плівкою, і, заповнюючи порожнечі між ними, перешкоджає проникненню вологи в асфальтобетон, надаючи мінеральним частинкам гідрофобні властивості. Волога вибірково змочує відкриту поверхню мінерального матеріалу, прагне проникнути крізь плівку бітуму та витіснити її з поверхні мінерального матеріалу. При недостатній адгезії бітум відшаровується та оголює мінеральні частинки. Зміщення плівки полегшується під час руху води, наприклад в умовах струшування. У цьому випадку до впливу води приєднується механічне тертя бітумованих частинок між собою та воду. З підвищенням температури зменшується в'язкість бітуму та полегшується відрив його від поверхні частинок. При температурі кипіння води в'язкість бітуму ще більше знижується, крім того, при русі полегшується проникнення води через дефектні місця плівки і дифузія її крізь плівку, а також посилюється механічне тертя частинок. Для оцінки зчеплення мінерального матеріалу та бітуму було визначено показники зчеплення методом визначення довготривалого водонасичення.

Виклад основного матеріалу. У роботах [57–64] описували метод визначення адгезійної активності суть якого полягає в оцінці ступеню зниження міцності при стиску зразків суміші мінеральних порошків з сировини різного походження з бітумом після насичення водою. За величину коефіцієнта водостійкості приймали відношення показника міцності при стиску зразків після насичення їх водою в умовах вакууму і наступного витримування в гарячій воді до показника міцності при стиску не водонасичених зразків.

Для визначення необхідної кількості бітуму у співвідношенні до маси мінерального порошку при заданому показнику залишкової пористості послідовно проектували склади сумішей. Для проведення випробувань готували суміші різного складу, послідовно змінюючи вміст бітуму. З кожного запроектованого складу суміші мінерального порошку з різною кількістю бітуму формували по три зразки для кожного складу сумішей. Не раніше ніж через добу після виготовлення зразків визначали їх середню густину, водонасичення, залишкову пористість та встановлювали вміст бітуму за якого залишкова пористість становила від 5 % до 6 %. Після чого виготовляли шість зразків із запроектованим вмістом бітуму. Перші три зразки піддавали визначенню середньої густини, залишкової пористості та міцності за температури 20 °С на 15 день після виготовлення, наступні три зразки піддавали визначенню середньої густини, залишкової пористості, водонасичення, витримуванню у воді впродовж 14 днів та визначенню міцності за температури 20 °С. За отриманими результатами встановлювали коефіцієнт водостійкості.

Результати випробування наведено в таблицях 1 – 4.

Таблиця 1 – Результати визначення властивостей асфальтов'яжучого із наповнювачем з вапняку

Table 1 – Results of determining the properties of asphalt binder with limestone filler

Ч. ч.	Найменування показника	Результати випробування		
1	Очевидна густина мінерального порошку, г/см^3	2,631	2,631	2,631
2	Очевидна густина бітуму, г/см^3	1,016	1,016	1,016
3	Середня густина ущільненої суміші, г/см^3	2,053	2,064	2,068
4	Вміст наповнювача, %	100	100	100
5	Вміст бітуму (в 100 %), %	11,50	13,04	15,25
6	Дійсна густина мінеральної частини, г/см^3	2,631	2,631	2,631
7	Середня густина мінеральної частини, г/см^3	1,817	1,795	1,753
8	Дійсна густина суміші, г/см^3	2,224	2,179	2,118
9	Пористість мінеральної частини, % за об'ємом	30,95	31,78	33,39
10	Залишкова пористість, % об'ємом	7,70	5,29	2,34
11	Кількість пор, заповнених в'яжучим, % за об'ємом	23,2	26,5	31,0
12	Кількість пор, заповнених в'яжучим, %	75,1	83,4	93,0
13	Водонасичення, % об'ємом	6,90	4,40	1,10
14	Пористість мінеральної частини, % за об'ємом (ДСТУ EN)	30,95	31,78	33,39
15	Різниця між залишковою пористістю та водонасичення, %	0,80	0,89	1,24

Таблиця 2 – Результати визначення властивостей асфальтов'яжучого із наповнювачем з Золи-винесення Бурштинської ТЕС

Table 2 – Results of determining the properties of asphalt binder with filler from fly ash of the Burshtyn TPP

Ч. ч.	Найменування показника	Результати випробування		
1	Очевидна густина мінерального порошку, г/см^3	2,602	2,602	2,602
2	Очевидна густина бітуму, г/см^3	1,016	1,016	1,016
3	Середня густина ущільненої суміші, г/см^3	2,023	2,038	2,049
4	Вміст наповнювача, %	100	100	100
5	Вміст бітуму (в 100 %), %	11,50	13,04	15,25
6	Дійсна густина мінеральної частини, г/см^3	2,602	2,602	2,602
7	Середня густина мінеральної частини, г/см^3	1,790	1,772	1,736
8	Дійсна густина суміші, г/см^3	2,206	2,162	2,102
9	Пористість мінеральної частини, % за об'ємом	31,20	31,89	33,27
10	Залишкова пористість, % об'ємом	8,29	5,73	2,50
11	Кількість пор, заповнених в'яжучим, % за об'ємом	22,9	26,2	30,8
12	Кількість пор, заповнених в'яжучим, %	73,4	82,0	92,5
13	Водонасичення, % об'ємом	7,40	4,70	1,30
14	Пористість мінеральної частини, % за об'ємом (ДСТУ EN)	31,20	31,89	33,27
15	Різниця між залишковою пористістю та водонасичення, %	0,89	1,03	1,20

Таблиця 3 – Результати визначення властивостей асфальтов'яжучого із наповнювачем з золи-винесення Дарницької ТЕС

Table 3 – Results of determining the properties of asphalt binder with filler from fly ash of Darnytsia TPP

Ч. ч.	Найменування показника	Результати випробування		
1	Очевидна густина мінерального порошку, г/см^3	2,689	2,689	2,689
2	Очевидна густина бітуму, г/см^3	1,016	1,016	1,016
3	Середня густина ущільненої суміші, г/см^3	2,071	2,082	2,092
4	Вміст наповнювача, %	100	100	100
5	Вміст бітуму (в 100 %), %	11,50	13,04	15,25
6	Дійсна густина мінеральної частини, г/см^3	2,689	2,689	2,689
7	Середня густина мінеральної частини, г/см^3	1,833	1,810	1,773
8	Дійсна густина суміші, г/см^3	2,261	2,214	2,149
9	Пористість мінеральної частини, % за об'ємом	31,84	32,67	34,07
10	Залишкова пористість, % об'ємом	8,39	5,94	2,66
11	Кількість пор, заповнених в'яжучим, % за об'ємом	23,5	26,7	31,4
12	Кількість пор, заповнених в'яжучим, %	73,6	81,8	92,2
13	Водонасичення, % об'ємом	7,50	4,90	1,40
14	Пористість мінеральної частини, % за об'ємом (ДСТУ EN)	31,84	32,67	34,07
15	Різниця між залишковою пористістю та водонасичення, %	0,89	1,04	1,26

Таблиця 4 – Результати визначення властивостей асфальтов'яжучого із наповнювачем з золи-винесенняТрипільської ТЕС

Table 4 – Results of determination of properties of asphalt binder with filler from fly ash of Trypil TPP

Ч. ч.	Найменування показника	Результати випробування		
1	Очевидна густина мінерального порошку, г/см^3	2,671	2,671	2,671
2	Очевидна густина бітуму, г/см^3	1,016	1,016	1,016
3	Середня густина ущільненої суміші, г/см^3	2,023	2,028	2,031
4	Вміст наповнювача, %	100	100	100
5	Вміст бітуму (в 100 %), %	11,50	13,04	15,25
6	Дійсна густина мінеральної частини, г/см^3	2,671	2,671	2,671
7	Середня густина мінеральної частини, г/см^3	1,790	1,763	1,721
8	Дійсна густина суміші, г/см^3	2,249	2,203	2,139
9	Пористість мінеральної частини, % за об'ємом	32,97	33,98	35,56
10	Залишкова пористість, % об'ємом	10,07	7,94	5,07
11	Кількість пор, заповнених в'яжучим, % за об'ємом	22,9	26,0	30,5
12	Кількість пор, заповнених в'яжучим, %	69,5	76,6	85,8
13	Водонасичення, % об'ємом	9,50	7,30	4,10
14	Пористість мінеральної частини, % за об'ємом (ДСТУ EN)	32,97	33,98	35,56
15	Різниця між залишковою пористістю та водонасичення, %	0,57	0,64	0,97

Результати випробування показали, що тип наповнювача впливає на об'ємні властивості виготовлених зразків.

Так, необхідне значення залишкової пористості під час використання наповнювача із вапняку досягається при вмісті бітуму 15,0 % та становить 5,29 % за об'ємом. У випадку використання наповнювача із золи-винесення Бурштинської ТЕС та золи-винесення Дарницької ТЕС необхідне значення залишкової пористості також досягається при вмісті бітуму 15,0 % однак вони є вищими та становлять відповідно 5,73 % та 5,94 % за об'ємом. За використання наповнювача з золи-винесення Трипільської ТЕС для досягнення необхідної залишкової пористості необхідно використовувати 18,0 % бітуму, при цьому значення залишкової пористості становить 5,07 % за об'ємом.

Таблиця 5 – Результати визначення водостійкості ущільнених сумішей
Table 5 – Results of determination of water resistance of compacted mixtures

	Наповнювач			
	Вапняк	Зола-винесення Бурштинської ТЕС	Зола-винесення Дарницької ТЕС	Зола винесення Трипільської ТЕС
Водостійкість, %	0,96	0,95	0,93	0,94

За коефіцієнтом водостійкості наповнювачі можна розмістити в такому порядку – з вапняку, золи-винесення Бурштинської ТЕС, золи-винесення Дарницької ТЕС, золи-винесення Трипільської ТЕС. Відповідно значення коефіцієнта водостійкості становлять 0,96, 0,95, 0,93 та 0,94.

Висновки. Проаналізувавши результати водостійкості зразків із суміші наповнювача та бітуму, можна оцінити адгезію бітуму до мінерального порошку за зміною коефіцієнта водостійкості.

Тобто, зола винесення практично не поступається стандартному вапняковому наповнювачу. За рахунок використання золи винесення можна здешевити складі асфальтобетонної суміші, що призводить до зниження вартості асфальтобетону, а також зменшити кількість відходів від електрогенеруючих підприємств.

Перелік посилань

1. Соколов О.В. Дослідження властивостей зол-виносу різного походження на відповідність національним вимогам . Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2023. Вип. 113.2. С. 82-89. DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.2-082-089

2. Nasir, N.H.M.; Usman, F.; Saggaf, A. Development of composite material from Recycled Polyethylene Terephthalate and fly ash: Four decades progress review. Curr. Res. Green Sustain. Chem. 2022, 5, 100280 https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2022.100280

3. Norhaiza, G.; Khairunisa, M.; Saffuan, W.A. Utilization of Fly Ash in Construction. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2019, 601, 012023 DOI 10.1088/1757–899X/601/1/012023

4. Bieliatynskyi, A.; Yang, S.; Pershakov, V.; Shao, M.; Ta, M. The use of fiber made from fly ash from power plants in China in road and airfield construction. Constr. Build. Mater. 2022, 323, 126537 https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126537

5. Muhammad, J.; Peng, T.; Zhang, W.; Cheng, H.; Waqas, H.; Abdul, S.; Chen, K.; Zhou, Y. Moisture susceptibility and fatigue performance of asphalt binder modified by bone glue and coal fly ash. Constr. Build. Mater. 2021, 308, 125135 https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125135

6. Radwan, A.; Satar, M.; Hassan, N.; Rogo, K. The Influence of Coal Fly Ash on the Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt Mixture. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; IOP Publishing: Bristol, UK, 2022; p. 012012 DOI 10.1088/1755–1315/971/1/012012

7. Chaira; Veranita. The Effect of Combining Coal Fly Ash and Lokan Shells as Filler Towards the Mixture of Asphalt Concrete Wearing Course. In Journal of Physics: Conference Series; IOP Publishing: Bristol, UK, 2020; p. 012033 DOI 10.1088/1742–6596/1625/1/012033

8. Amoni, B.C.; Freitas, A.D.L.; Bessa, R.A.; Oliveira, C.P.; Bastos–Neto, M.; Azevedo, D.C.S.; Lucena, S.M.P.; Sasaki, J.M.; Soares, J.B.; Soares, S.A.; et al. Effect of coal fly ash treatments on synthesis of high–quality zeolite A as a potential additive for warm mix asphalt. Mater. Chem. Phys. 2022, 275, 125197 https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.125197

9. Apostolidis, Panos & Xueyan, Liu & Marocho, Paul & Ven, Martin & Erkens, Sandra & Skarpas, Tom. (2020). Evaluation of epoxy modification in asphalt mastic. Materials and Structures. DOI:10.1617/s11527–020–01494–9

DETERMINATION OF ADHESION OF BITUMEN TO FLYING ASH

Alexei Sokolov, head of the material testing laboratory of the materials department of the Research Center for the Development and Maintenance of Infrastructure Facilities of SE "NIRI" e-mail: bitumen_lab@ukr.net, https://orcid.org/0000-0002-4694-9647

Summary. In Ukraine, about 30% of all electricity is produced by burning solid fuels - coal, shale, and peat. In our country, there are about 15 operating thermal power plants, which generate about 5-6 million tons of ash and slag waste as a secondary product per year. Thus, the waste of the fuel and energy complex, which is formed in the furnaces of thermal power plants, is a huge accumulation of ash in the form of dust-like residues and lumpy sludge, as well as various ash-slag mixtures. These products of high-temperature processing (1200-1700 ºC) of the mineral part of the fuel are widely used in many countries of the world, and taking into account the global trend of increasing the share of the secondary market for the use of waste, it is necessary to predict an increase in the rate of their processing in Ukraine as well.

Problems. In Ukraine, as a filler, the material obtained by crushing carbonate rocks is used as a filler, which is established in DSTU B B.2.7-121. At the same time, as a result of burning coal, millions of tons of dust-like waste - fly ash - are generated at power-generating enterprises of Ukraine. In terms of indicators, this material approaches the requirements for filler according to DSTU B V.2.7-121 and can be used for the production of asphalt concrete mixtures.

The purpose of the work is to compare the adhesive activity of different fillers by the method of determining water resistance.

Materials and methods. During the research, fly ash of various origins and mineral powder of limestone from the Skalo-Podilskyi special quarry were used.

The results. It has been established that the adhesive activity of bitumen with fly ash practically does not change the adhesive properties of bitumen with limestone filler.

Conclusions. Due to the use of fly ash, it is possible to reduce the price of asphalt concrete mixtures, which will lead to a decrease in the cost of asphalt concrete, as well as reduce the amount of waste from electricity generating enterprises

Keywords. *mineral powder, ash removal, ecology, adhesion, bitumen, asphalt binder.*

References

1. Sokolov O.V. Research on the properties of fly ash of various origins for compliance with national requirements. Roads and road construction. 2023. Issue 113.2. P. 82-89. DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.2-082-089

2. Nasir, N.H.M.; Usman, F.; Saggaf, A. Development of composite material from Recycled Polyethylene Terephthalate and fly ash: Four decades progress review. Curr. Res. Green Sustain. Chem. 2022, 5, 100280 https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2022.100280

3. Norhaiza, G.; Khairunisa, M.; Saffuan, W.A. Utilization of Fly Ash in Construction. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2019, 601, 012023 DOI 10.1088/1757–899X/601/1/012023

4. Bieliatynskyi, A.; Yang, S.; Pershakov, V.; Shao, M.; Ta, M. The use of fiber made from fly ash from power plants in China in road and airfield construction. Constr. Build. Mater. 2022, 323, 126537 https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126537

5. Muhammad, J.; Peng, T.; Zhang, W.; Cheng, H.; Waqas, H.; Abdul, S.; Chen, K.; Zhou, Y. Moisture susceptibility and fatigue performance of asphalt binder modified by bone glue and coal fly ash. Constr. Build. Mater. 2021, 308, 125135 https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125135

6. Radwan, A.; Satar, M.; Hassan, N.; Rogo, K. The Influence of Coal Fly Ash on the Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt Mixture. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; IOP Publishing: Bristol, UK, 2022; p. 012012 DOI 10.1088/1755–1315/971/1/012012

7. Chaira; Veranita. The Effect of Combining Coal Fly Ash and Lokan Shells as Filler Towards the Mixture of Asphalt Concrete Wearing Course. In Journal of Physics: Conference Series; IOP Publishing: Bristol, UK, 2020; p. 012033 DOI 10.1088/1742–6596/1625/1/012033

8. Amoni, B.C.; Freitas, A.D.L.; Bessa, R.A.; Oliveira, C.P.; Bastos–Neto, M.; Azevedo, D.C.S.; Lucena, S.M.P.; Sasaki, J.M.; Soares, J.B.; Soares, S.A.; et al. Effect of coal fly ash treatments on synthesis of high–quality zeolite A as a potential additive for warm mix asphalt. Mater. Chem. Phys. 2022, 275, 125197 https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.125197

9. Apostolidis, Panos & Xueyan, Liu & Marocho, Paul & Ven, Martin & Erkens, Sandra & Skarpas, Tom. (2020). Evaluation of epoxy modification in asphalt mastic. Materials and Structures. DOI:10.1617/s11527–020–01494–9.

УДК 625.8:624.04
UDK 625.8:624.04
DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-170-179

ОЦІНЮВАННЯ НЕСНОЇ ЗДАТНОСТІ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ З ВИКОРИСТАННЯМ УСТАТКУВАННЯ FFWD МЕТОДОМ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

EVALUATION OF THE ROAD PAVEMENT BEARING CAPACITY USING FFWD EQUIPMENT BY THE METHOD OF DYNAMIC LOADING



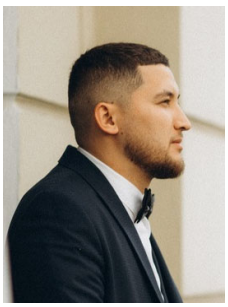
***Харченко Анна Миколаївна**, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: anna-x3@ukr.net, тел. +380442807909, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 323,*

https://orcid.org/0000-0001-8166-6389



***Чечуга Олександр Сергійович**, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: chechuga77@gmail.com, тел. +380662019442, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138,*

https://orcid.org/0000-0003-1643-6354



***Алімов Акім Абкерімович**, Національний транспортний університет, аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: akim.alimov.1997@gmail.com, тел. +3809994793426, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 206,*

https://orcid.org/0009-0006-5540-6173

Анотація: Досліджено метод оцінювання несної здатності дорожніх одягів методом динамічного навантаження з використанням устаткування дефлектометра швидкого падіння ваги (Fast-Falling-Weight-Deflectometer – FFWD). Визначено, що використання устаткування FFWD забезпечує прискорений збір даних та їх швидку обробку, у порівнянні з попередніми версіями установок з дефлектомерами чи аналогами. Повторюваність тесту за методом FFWD забезпечує надійність отриманих результатів вимірювань, зокрема, стандартний тест виконується тричі з однаковим навантаженням або через прогресуючий імпульс із зростаючим навантаженням. Результатом польових вимірювань міцності дорожніх одягів за методом FFWD є отримання їх деформаційних характеристик, які у спеціалізованому програмному забезпеченні представляються у вигляді профілю деформації поверхні покриття (чаші прогину). Обрис чаші прогину формується за точками розташування датчиків

реєстрації вертикального переміщення поверхні (геофонами), що встановлюються в лінію вздовж смуги руху оптимальною кількістю у дев'ять одиниць. Аналіз отриманих даних щодо деформації поверхні покриття методом FFWD дає змогу визначити потенційно слабкі місця у дорожній конструкції. В свою чергу, це є передумовою для планування заходів з посилення або відновлення дорожніх конструкцій, а також є основою для економічного обґрунтування обсягу фінансування цих робіт. Метод FFWD ще потребує додаткової апробації в умовах України, тому подальші дослідження стосуватимуться практичного застосування методу в сучасних умовах.

Ключові слова: динамічне навантаження, дорожнє покриття, дорожній одяг, метод FFWD, несна здатність, чаша прогину.

Вступ.

Останнім часом у дорожньому господарстві багатьох європейських країн та США стрімко розвиваються методи оцінювання несної здатності дорожніх одягів з використанням сучасного устаткування. Особливого поширення набуло оцінювання несної здатності дорожніх одягів не руйнівними методами, а саме методом динамічного навантаження. Аналіз останніх закордонних публікацій [1-2] підтверджує, що цей метод набуває все більшого розповсюдження, оскільки він зарекомендував себе як більш точний у порівнянні з існуючими методами, таким чином підтверджується актуальність даного дослідження. В Україні метод FFWD був апробований ДП «Дорцентр». Проте, результати апробації цього методу ще потребують певного наукового осмислення та розробки ефективних рішень щодо управління станом дорожніх одягів на його основі. Отже, метою даного дослідження є аналіз методу оцінювання несної здатності дорожніх одягів методом динамічного навантаження з використанням устаткування Fast-Falling-Weight-Deflectometer (FFWD).

Виклад основного матеріалу.

Метод Falling-Weight-Deflectometer (FWD) був розроблений на основі «Deflectmetre a Boulet» компанією Bretonniere в 1963 році. Імпульс сили прикладається до поверхні дороги за допомогою спеціально розробленої системи навантаження, яка представляє собою динамічне короткочасне навантаження колеса. Це створює ударне навантаження тривалістю 25-30 мс із піковою силою до 120 кН. Величина чаші прогину дорожнього одягу вимірюється набором від 7 точних геофонів на різних відстанях від прикладеного навантаження [3].

За час використання цього методу було зроблено висновок, якщо чашу прогину виміряти за допомогою тесту FWD, а потім використати теорію пружності для визначення модулів окремих шарів, які створять ту саму чашу прогину, то модулі результуючого шару будуть репрезентативними для матеріалів покриття під дією навантаження від транспортного потоку [3].

Точність вимірювань методом FWD додатково забезпечується проведенням вимірювань два-три рази в кожній точці для оцінки похибки вимірювань. Це дозволяє оцінити вплив різних навантажень і визначити різні зовнішні фактори, такі як проїжджаючі транспортні засоби, які могли б вплинути на результати [3].

Пізніше метод FWD був удосконалений, таким чином на його базі було створено метод оцінювання несної здатності дорожніх одягів за допомогою дефлектометра швидкого падіння ваги (Fast-FWD). Зокрема, в США використання методу Fast-FWD для оцінки значень міцності конструкції дорожнього покриття було запроваджено наприкінці 1970-х років [2].

Устаткування FFWD обладнане пневматичними або електричними приводами, а не гідравлічними, що робить механізм використання методу в кілька разів швидшим [4].

Використання методу FFWD на практиці передбачає виконання вимірювань за допомогою пересувної дорожньої лабораторії у складі (рис. 1):

- устаткування для оцінки міцності за методом FFWD на базі одновісного причепу (наприклад, Dynatest FFWD 8012-002, рис. 2);
- автомобіля-тягача.



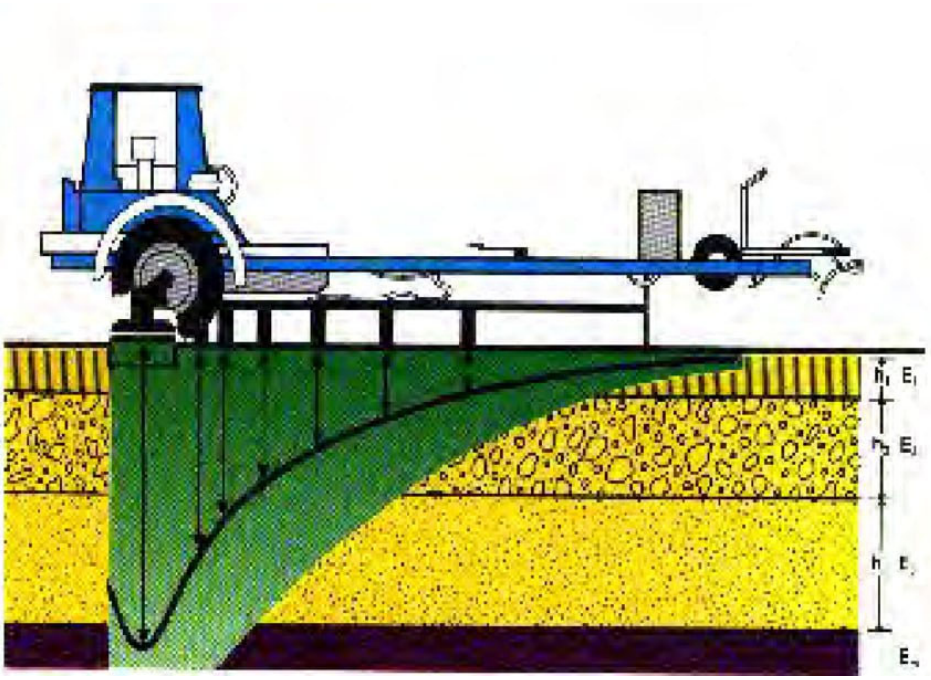
Рисунок 1 – Загальний вигляд пересувної дорожньої лабораторії з устаткуванням FFWD
Figure 1 - General view of the mobile road laboratory with FFWD equipment



Рисунок 2 – Устаткування для оцінки міцності за методом FFWD [5]
Figure 2 - Equipment for strength assessment by the FFWD method [5]

Вага та висота падіння маси, що падає, може бути змінена: діапазон ваги становить 50–350 кг, а висота падіння становить від 50 до 390 мм, тому імпульсне навантаження може коливатися від 40 до 120 кН. Тривалість імпульсного навантаження коливається від 25 до 30 мс. Для кожного падіння система вимірює навантаження та вимірює зміну прогину протягом 60 мс. Навантаження прикладається вантажем, що падає, з фіксованим перепадом висоти та перевіряється за допомогою динамометра. Вид покриття може впливати на місцевий тиск, але осьове навантаження буде постійним [2].

Стандартне тестове випробування включає три повторних падіння з однаковим навантаженням або через прогресуючий імпульс із зростаючим навантаженням (рис.3).



h_1, h_2, h_3, – товщини шарів дорожнього одягу;
E_1, E_2, E_3, – модулі пружності шарів дорожнього одягу;
$E_{гр}$, – модуль пружності земляного полотна.

Рисунок 3 – Схема оцінки міцності за методом FFWD [5]

h_1, h_2, h_3, – thickness of road pavement layers;
E_1, E_2, E_3, – modules of elasticity of road pavement layers;
$E_{гр}$, – subgrade elasticity module.

Figure 3 – Strength assessment scheme using the FFWD method [5]

Визначення несної здатності за методом FFWD на базі одновісного причепу Dynatest FFWD 8012-002 в Україні виконується відповідно до ДСТУ Б В.2.3-42:2016. Цей метод є досить швидкий та точний, що в свою чергу в повному обсязі задовільняє вимоги кількості поперечників, в яких потрібно отримати значення модулів пружності згідно з п.4.1.3 [6]. Теоретична база дослідження докладно наведена в джерелі [4].

За допомогою спеціального програмного забезпечення (в даному випадку Dynatest Data Collection від компанії Dynatest) проведення вимірювань модуля пружності методом FFWD також можливе і в нерозрахунковий період. Dynatest Data Collection (DDC) – це програма збору даних, яка використовується з додатковим обладнанням Dynatest.

Результатом польових досліджень дорожніх конструкцій за методом FFWD є отримання їх деформаційних властивостей, які будуть представлені у вигляді профілю деформації поверхні покриття або так званої «чаші прогину». Обрис чаші прогину формується за точками, положення яких в плані залежить від положення датчиків реєстрації вертикального переміщення поверхні (геофонами). Датчики розташовують в лінію вздовж смуги руху. Оптимальна кількість датчиків, що задовольняє необхідну точність вимірювання геометрії чаші прогину, складає дев'ять одиниць. Схема встановлення датчиків відповідно до рекомендацій виробника обладнання [5] передбачає наступні відстані від центру прикладання навантаження: 0, 200, 300, 450, 600, 900, 1200, 1500 та 1800 мм (рис. 4). Ці відстані формують характерні точки $D \in [D_1; D_n], n = 9$.



Рисунок 4 – Схема встановлення датчиків за методом FFWD [8]
Figure 4 – Sensor installation diagram using the FFWD method [8]

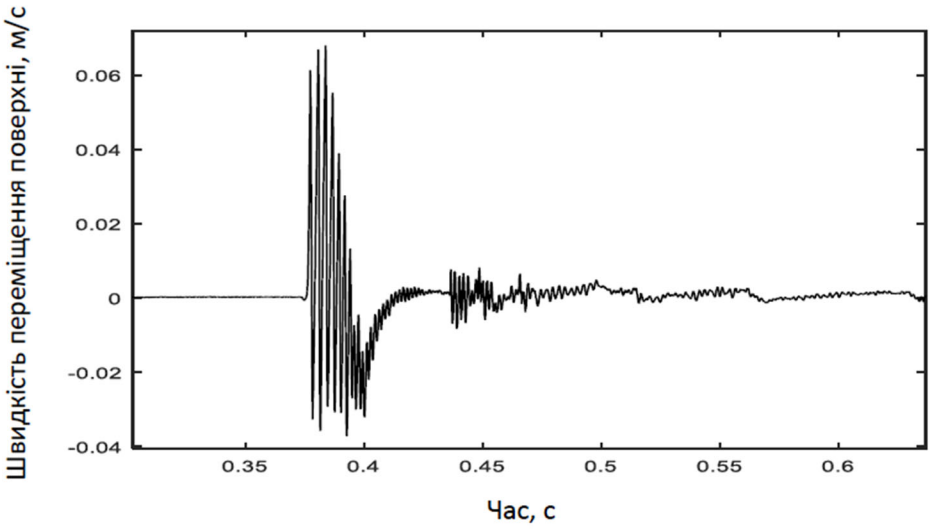


Рисунок 5 – Закономірність зміни швидкості переміщення поверхні покриття під дією тестового навантаження, приклад за даними [8]

Figure 5 – Regularity of change in the speed of movement of the pavement surface under the action of the test load, simple using data [8]

Перший датчик розташовується в центрі прикладання навантаження та призначений для реєстрації максимального значення прогину. Відстань до другого датчика обумовлена діаметром індентору та його великою згинальної жорсткістю, що робить вимірювання на меншій відстані не доцільними. Подальше збільшення відстані між наступними датчиками пов'язане з поступовим затуханням деформації та зменшенням значень першої похідної функції прогину поверхні з віддаленням від центру прикладення навантаження. Максимальна відстані до дев'ятого датчика забезпечує перекриття переважної більшості радіусів динамічних чаш прогину з урахуванням точності реєструвальної апаратури [8].

Результатом реєстрації датчиками вертикального переміщення є часова залежність швидкості деформації поверхні покриття під дією тестового навантаження (приклад на рис. 5). Таким чином, за наслідком опрацювання результатів польових досліджень можна отримати закономірність деформації поверхні покриття в точці встановлення датчиків (приклад на рис. 6) [8].

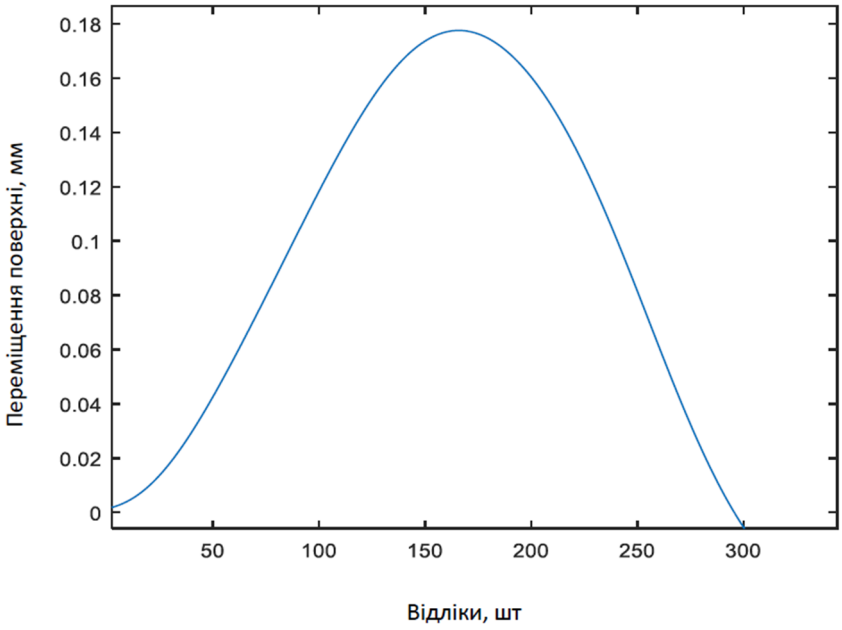


Рисунок 6 – Закономірність деформації поверхні покриття під дією тестового навантаження, приклад за даними [8]

Figure 6 – Pattern of pavement surface deformation under test load, simple using data [8]

Апроксимація функції з однією змінною за графіком закономірності деформації поверхні покриття в точці встановлення датчиків (рис. 6) дозволяє у подальшому визначити характер функції, за даним прикладом це квадратична регресія:

$$y = -0.00001157x^2 + 0.0036x - 0.125. \quad (1)$$

При цьому, розрахований за допомогою вбудованих функцій MS Excel коефіцієнт кореляції, складає $r = 0.96891243$; коефіцієнт детермінації $D = 0.93879129$. Такі показники свідчать про позитивну оцінку та високу залежність між аналізованими змінними.

Результатом польових вимірювань за методом динамічного навантаження FFWD є чаша прогину в тестових точках – типова хмара точок значень відхилення, виміряних геофонами після імпульсного навантаження (рис. 7), за результатами обробки якої визначається динамічний модуль пружності. На профіль прогину впливають властивості шарів дорожнього покриття, а також величина

та частота навантаження [2]. При цьому, значення жорсткості можна отримати шляхом ділення прикладеного навантаження на отримане переміщення, виміряне осьовим геофоном D_0 [2]:

$$K = \frac{F}{D_0}, \tag{2}$$

де F — імпульсне навантаження;
D_0 — максимальний прогин, виміряний у центрі.

Крім того, аналіз форми чаші прогину дає можливість визначити так звані «індекси прогину» або «індекси басейну».



Рисунок 7 – Чаша прогину, яка побудована за результатами вимірювань методом FFWD (зразок)

Figure 7 – Deflection basin constructed from the results of FFWD measurements (sample)

Радіус кривизни (*RC*) визначає середній радіус кривизни чаші прогину. Індекс стану поверхні (*SCI*), індекс опору (*BDI*) та індекс стану глибини (*DCI*) визначаються як різниця прогину на різних відстанях від точок навантаження. Індикатор прямокутної площі (*RA*) є синтетичним показником, який розглядає суму всіх переміщень, пов'язаних з D_1 відповідно до [2]:

$$RC = \frac{R^2}{2 \cdot (D_0 - D_{200})}, \tag{3}$$

$$SCI = D_0 - D_{300}, \tag{4}$$

$$BDI = D_0 - D_{600}, \tag{5}$$

$$DCI = D_{900} - D_{1800}, \tag{6}$$

$$RA = \frac{\sum_{i=1}^{n} D_i}{D_1}, \tag{7}$$

де R — радіус штампа, через який передається навантаження;
D_i — відхилення i -го датчика.

Результати польових вимірювань методом FFWD зводяться у таблиці відомостей чаші прогинів та модулів пружності, які містять в собі ряд наступних показників (табл. 1):

- $E_{дин}$ – динамічний модуль пружності отриманий після випробування установкою FFWD;
- $E_{стат}$ – корегований модуль пружності відповідно до статичних випробувань;
- $E_ф$ – фактичний загальний модуль пружності характерної ділянки після випробування установкою FFWD.

Таблиця 1 – Відомість чаш прогинів та модулів пружності на ділянці (зразок) [8]
Table 1 – List of basin deflections and elastic moduli on the roadsite (sample) [8]

Прив'язка	p, кПа	Прогин, мм									$E_{дин}$, МПа	$E_{стат}$, МПа	$E_ф$, МПа
		D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	D_9			
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
235,4	600	271	213	180	155	135	99	75	58	43	604	408	402
235,516	600	350	278	200	148	121	79	59	49	39	468	316	360
235,605	600	208	149	118	95	80	63	54	44	36	788	532	682
235,701	600	364	279	224	176	147	105	76	58	45	450	304	390
235,8	600	270	175	113	87	82	72	62	53	48	607	410	526
235,81	600	302	263	142	86	76	60	51	40	36	542	366	470
235,894	600	139	94	86	77	70	60	51	45	38	1178	796	1021
236,001	600	181	131	103	88	77	64	57	47	39	905	611	784
236,1	600	324	269	220	159	125	85	64	50	42	506	342	438
236,202	600	251	195	162	138	118	92	73	60	51	653	441	565
236,307	600	348	249	163	122	110	87	68	55	42	471	318	408

Аналіз отриманих даних методом FFWD дає змогу визначити потенційно слабкі місця у дорожній конструкції, що в свою чергу є передумовою до прийняття раціонального рішення щодо її утримання чи посилення, а також є основою для економічного обґрунтування фінансових витрат на проведення цих робіт.

Висновки.

Проведене дослідження процесу оцінювання несної здатності дорожніх одягів з використанням устаткування FFWD методом динамічного навантаження дозволило зробити висновки, що метод Fast-Falling-Weight-Deflectometer є достойною альтернативою існуючим методам та дозволяє здійснювати швидкі, точні та економічно ефективні оцінки міцності дорожніх одягів із мінімальним впливом на транспортний потік. Подальші дослідження цього підходу мають бути орієнтовані на оцінювання потенціалу методу Fast-FWD у практиках оцінки різних типів дорожніх покриттів та конструкцій.

Перелік посилань

1. Giuntoli, S., Pratelli, C., Betti, G., & Marradi, A. (2018, May). Field performance evaluation of unbound granular materials using the Fast Falling Weight Deflectometer. In Proceedings of the 5th International Conference on Road and Rail Infrastructure (CETRA 2018), Zadar, Croatia (pp. 17-19).
2. Coni, M., Mistretta, F., Stochino, F., Rombi, J., Sassu, M., & Puppio, M. L. (2021). Fast falling weight deflectometer method for condition assessment of RC bridges. Applied Sciences, 11(4), 1743. https://doi.org/10.3390/app11041743
3. Falling Weight Deflectometer. URL: https://www.pavementanalysis.com/falling-weight-deflectometer
4. Falling weight deflectometer. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Falling_weight_deflectometer
5. Dynatest: 8012 Fast Falling Weight Deflectometer. URL: https://pdf.aeroexpo.online/pdf/dynatest/8012-fast-falling-weight-deflectometer/172481-19158.html
6. ДСТУ Б В.2.3-42:2016 Автомобільні дороги. Методи визначення деформаційних характеристик земляного полотна та дорожнього одягу; Введ. 01.07.2016. – Київ, 2016. – 40 с.
7. Харченко А.М., Чечуга О.С., Алімов А.А. Аналіз методів визначення дії статичного та динамічного навантажень на дорожній одяг. Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво», 2024. Випуск 115. Частина 1. С.292-301. DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-292-301
8. Звіт про надання послуг щодо оцінки загальної міцності існуючої дорожньої конструкції автомобльної дороги М-04 на ділянках: км 0+000 – км 2+500; км 216+384 – км 279+693 (окремими ділянкаами) в межах Дніпропетровської облісті. Київ: ДП «Дорцентр», 2021. – 153 с.

METHODS ANALYSIS FOR DETERMINING THE EFFECT OF STATIC AND DYNAMIC LOADS ON ROAD PAVEMENT

Anna Kharchenko, Sc.D., Professor, National Transport University, Professor of Transport Construction and Property Management Department, e-mail: anna-x3@ukr.net, tel. +380442807909, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 323, https//orcid.org/0000-0001-8166-6389

Oleksand Chechuha, Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: chechuga77@gmail.com, tel. +380662019442, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 138. https://orcid.org/0000-0003-1643-6354

Akim Alimov, National Transport University, Postgraduate student of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: akim.alimov.1997@gmail.com, tel. +3809994793426, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 206, https://orcid.org/0009-0006-5540-6173

Summary. The method of assessing the bearing capacity of road surfaces by the dynamic loading method using the Fast-Falling-Weight-Deflectometer (FFWD) equipment was investigated. It was determined that the use of FFWD equipment provides accelerated data collection and their rapid return, if compared with previous versions of installations with deflectometers or analogues. The repeatability of the test using the FFWD method ensures the reliability of the obtained results, in particular, the standard test is performed three times with the same load or through a progressive pulse with increasing load. The result of field measurements of the strength of road surfaces using the FFWD method is to obtain their deformation characteristics, which are presented in the form of a profile of the surface deformation (deflection basin) in specialized software. The outline of the deflection basin is formed by the location points of the sensors for registering vertical surface movement (geophones), which are installed in a line along the traffic lane in an optimal number of nine units. Analysis of the obtained data on the deformation of the pavement surface by the FFWD method allows to identify potential weak points in the road structure. In turn, this is a prerequisite for planning measures to strengthen or restore road structures, and is also the basis for economically calculating the amount of financing

for these works. The FFWD method still requires additional testing in Ukrainian conditions, so further research will concern the practical application of the method in modern conditions.

Keywords: dynamic loading, road surface, FFWD method, deflection basin

References

1. Giuntoli, S., Pratelli, C., Betti, G., & Marradi, A. (2018, May). Field performance evaluation of unbound granular materials using the Fast Falling Weight Deflectometer. In Proceedings of the 5th International Conference on Road and Rail Infrastructure (CETRA 2018), Zadar, Croatia (pp. 17-19). [in English]

2. Coni, M., Mistretta, F., Stochino, F., Rombi, J., Sassu, M., & Puppio, M. L. (2021). Fast falling weight deflectometer method for condition assessment of RC bridges. Applied Sciences, 11(4), 1743. https://doi.org/10.3390/app11041743 [in English]

3. Falling Weight Deflectometer. URL: https://www.pavementanalysis.com/falling-weight-deflectometer [in English]

4. Falling weight deflectometer. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Falling_weight_deflectometer [in English]

5. Dynatest: 8012 Fast Falling Weight Deflectometer. URL: https://pdf.aeroexpo.online/pdf/dynatest/8012-fast-falling-weight-deflectometer/172481-19158.html [in English]

6. DSTU B V.2.3-42:2016 Avtomobilni dorohy. Metody vyznachennia deformatsiinykh kharakterystyk zemlianoho polotna ta dorozhnoho odiahu; Vved. 01.07.2016. – Kyiv, 2016. – 40 s. [in Ukrainian]

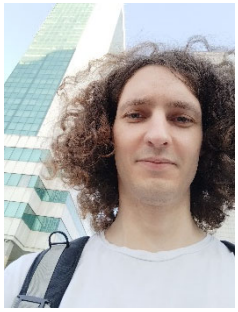
7. Kharchenko A.M., Chechuha O.S., Alimov A.A. Analiz metodiv vyznachennia dii statychnoho ta dynamichnoho navantazhen na dorozhnii odiah. Naukovyi zhurnal «Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo», 2024. Vypusk 115. Chastyna 1. S.292-301. DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-292-301. [in Ukrainian]

8. Zvit pro nadannia posluh shchodo otsinky zahalnoi mitsnosti isnuiuchoi dorozhnoi konstruktsii avtomoblnoi dorohy M-04 na diliankakh: km 0+000 – km 2+500; km 216+384 – km 279+693 (okremymy diliankaamy) v mezhakh Dnipropetrovskoi oblisti. Kyiv: DP «Dortsentr», 2021. – 153 s. [in Ukrainian]

УДК 625.7/.8
UDK 625.7/.8
DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-180-189

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ТА КОРИГУВАННЯ ПРОСТОРОВИХ КООРДИНАТ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

DEVELOPMENT A SOFTWARE FOR SPATIAL DATA VERIFICATION FOR ROAD NETWORK SPATIAL MODELLING



Дуля Михайло Віталійович, *магістр, молодший науковий співробітник відділу розвитку цифровізації, Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), Київ, Україна, e-mail: mykhailo.dulia@gmail.com,*

https://orcid.org/0000-0002-1916-8642

Анотація. У статті наведено етапи створення інформаційно-аналітичної системи для перевірки та корегування результатів польових робіт, пов'язаних з визначенням просторових координат та лінійних прив'язок автомобільних доріг. Технічний облік і паспортизація автомобільних доріг проводяться з метою отримання достовірної інформації про наявність доріг і дорожніх споруд та іншої дорожньої інфраструктури, яка знаходиться в межах дорожньої смуги, їх параметрів і технічного стану, що дає можливість обґрунтування та раціонального планування робіт з будівництва, реконструкції, ремонту та утримання доріг.

В процесі виконання роботи на основі попереднього досвіду та проведеного аналізу були сформульовані задачі дослідження. Вирішення поставлених задач пов'язане з автоматизацією процесу векторних побудов на координатній площині, або тривимірних зображень. Для вирішення поставлених задач в процесі створення аналітичної системи, були запрограмовані окремі функції. Для створення головного меню та підменю інтерфейсу програмного забезпечення ці функції були об’єднані в групи.

Запропонований метод та розроблена інформаційно-аналітична система дають можливість забезпечити фахівців дорожньої галузі інструментом для перевіряння та коригування результатів польових робіт, пов'язаних з визначенням просторових координат та лінійних прив'язок (км+); отримати економію бюджетних коштів (за рахунок відмови від придбання ліцензій на закордонні аналоги та витрат на їх модернізацію до вимог чинних нормативних документів); зекономити робочий час (за рахунок автоматизації процесу перевіряння та коригування); запобігти отриманню неякісних послуг з визначення просторових координат при паспортизації автомобільних доріг.

Ключові слова: автомобільна дорога, алгоритм розрахунку, координатна площина, лінійна прив’язка, масштаб відображення, поздовжній профіль, програмне забезпечення, просторові дані, цифрова модель.

Вступ. Доведено що без достовірної інформації щодо протяжності мережі автомобільних доріг та транспортних потоках на них, інформації про всі можливі альтернативи, ймовірності їх настання та їх наслідки, без раціональної системи упорядкування переваг за ступенем їх важливості, негативно позначиться на стані автомобільних доріг.

Метою інформаційного забезпечення дорожньої галузі є систематичне надання актуальної комплексної інформації (даних) про автомобільні дороги, споруди на них, об’єкти дорожнього сервісу,

транспортні потоки, природні та техногенні явища, яка необхідна для планування та проведення робіт, які забезпечать максимально ефективне використання існуючого фінансового ресурсу.

Розроблення варіантів рішень та прийняття раціонального рішення можливо тільки на основі комплексної інформації про стан автомобільної дороги/мережі доріг. Комплексна інформація буде достовірною лише за умови, що початкові дані будуть об'єктивними та актуальними на момент прийняття рішення.

Мережа автомобільних доріг постійно зазнає значних змін, зокрема пов'язаних з будуванням обходів населених пунктів, транспортних розв'язок, реконструювання ділянок, змін титулу автомобільних доріг, зміни балансоутримувачів та уточнення меж утримання автомобільних доріг. Це викликає потребу в регулярному актуалізуванні інформації бази даних географічних координат автомобільних доріг з можливістю забезпечення уніфікації та автоматизації процесів та робіт, пов'язаних з використанням просторових координат автомобільних доріг.

Метою роботи є забезпечення уніфікації та автоматизації процесів та робіт, пов'язаних з використанням просторових координат автомобільних доріг та підвищення ефективності заходів з перевірки та корегування результатів польових робіт, пов'язаних з визначенням просторових координат та лінійних прив'язок (км+).

Виклад основного матеріалу. Старт залученню інформаційних технологій в дорожню галузь був покладений ще у 2001 році згідно [1]. У 2002 була затверджена «Програма створення системи інформаційного забезпечення на автомобільних дорогах загального користування на 2002 – 2010 роки» [2].

Наприкінці 2009 року набуває чинності СОУ 45.2-00018112-038:2009 «Паспорт автомобільної дороги». Період 2010 – 2018 років характеризується майже повною зупинкою паспортизації та поступовим згасанням супутніх аналітичних процесів, яким бракувало актуальних даних про автомобільні дороги та транспортні потоки. Значною мірою причиною цих явищ стали світова фінансова криза, політична нестабільність в Україні, російська агресія, втрата суверенітету над АР Крим та окремими районами Донецької та Луганської областей.

Одним з небагатьох процесів, для фінансування якого в кризових умовах вдавалось віднайти кошти, став процес розроблення та подальшого удосконалення нормативної бази.

У 2016 році набуває чинності оновлений СОУ 42.1-37641918-038:2016 Паспорт автомобільної дороги який запровадив винятково електронний формат документообігу при паспортизації автомобільних доріг та користуванні паспортом автомобільної дороги з використанням єдиного для галузі програмного забезпечення.

Практичне втілення напрацювань було реалізоване у вигляді загальнодержавного проєкту з визначення просторових координат на мережі автомобільних доріг міжнародного, національного та регіонального значень в 2016 – 2018 роках та територіального значення в 2020 – 2022 роках, результатом якого було створення бази даних географічних координат автомобільних доріг загального користування.

У 2020 році Агентством відновлення спільно з Міністерством цифрової трансформації та за підтримки проєкту USAID/UK aid «Прозорість та підзвітність в державному управлінні та послугах / TAPAS» був розроблений інструмент КМ+ «Дорожній геокалькулятор» (https://kmplus.restoration.gov.ua/ – доступ до ресурсу обмежений, у зв'язку з воєнним станом), що дозволяє користувачам отримати інформацію стосовно назви та лінійної прив'язки (км+) автомобільних доріг, меж обслуговування балансоутримувачів, а також знаходити лінійну прив'язку (км+) дороги відповідно до просторових координат та навпаки [3].

Виконанню цих робіт передувало розроблення фахівцями Державного підприємства «Національний інститут розвитку інфраструктури» (в минулому ДП «ДерждорНДІ») у межах виконання науково-дослідної роботи автоматизованої інформаційної системи перевірки та корегування просторових координат [4], яка в свою чергу базувалась на інтелектуальному продукті співавторів розробки [5] та безпосередньо бази даних просторових координат, яка є основою для

цифрової моделі мережі автомобільних доріг – просторового каркасу для точного позиціонування всієї наявної інформації про автомобільні дороги та транспортні потоки (рис. 1) [6].

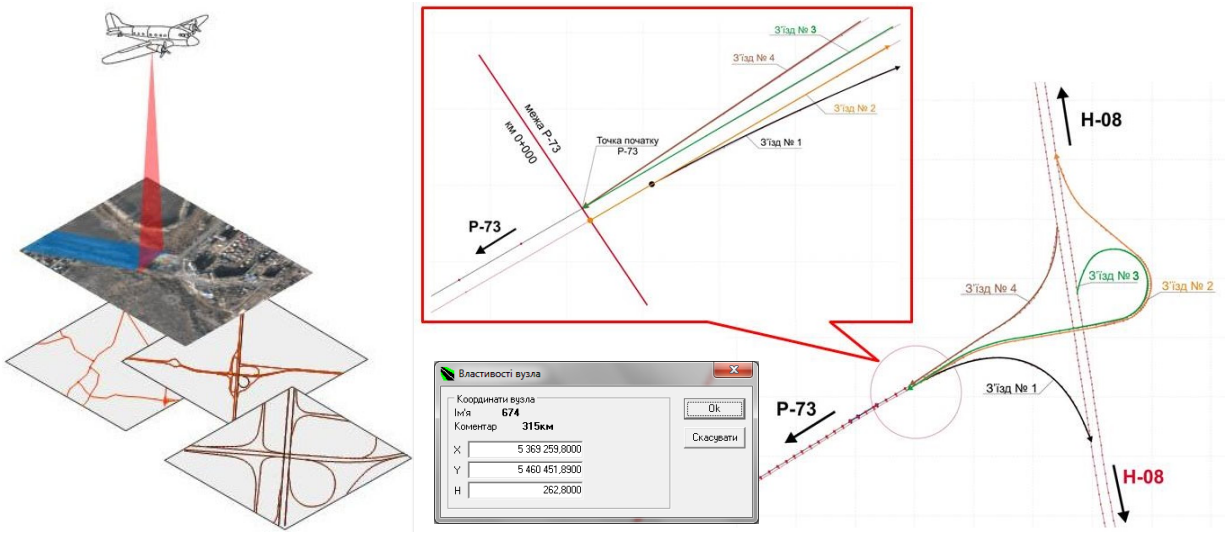


Рисунок 1 – Побудова просторової моделі мережі автомобільних доріг
Figure 1 – Road network spatial modelling

Згідно з [7] початком робіт з інформаційного забезпечення дорожнього господарства є визначення просторових координат осей правих проїздів прямого та зворотного напрямків руху.

В процесі виконання роботи на основі попереднього досвіду та проведеного аналізу були сформульовані задачі дослідження. Перша задача – відображення отриманих треків в плані та в повздовжньому профілі на відповідних координатних площинах оскільки оцінити правильність результатів введення координат можливо тільки візуально. Враховуючи, що існуючі технології визначення просторових координат допускають похибки, сформульовано другу задачу – алгоритмізація та автоматичний пошук «збійних точок». Третя задача – створення інструменту коригування координат в плані і по висоті в режимі «on-line» для можливості коригування виявлених «збійних точок». Четверта задача – розробки алгоритму та створення інструменту (функції) виявлення факту наявності горизонтальної кривої та розрахунку її параметрів оскільки відповідно до вимог [7] необхідно розрахувати горизонтальні криві з визначенням їх початку та кінця (як у вигляді координат, так і у вигляді лінійних прив'язок), напрямку повороту, величинами радіусу та кута повороту. Враховуючи особливості технології визначення просторових координат лінії треку можуть відхилятися від лінії теоретичної кривої що вимагає вирішення п’ятої задачі – створення інструменту (функції) розташування виділеної ділянки треку на шаблонній дузі. Після проведення всіх корекцій, виникає шоста та сьома задачі – розрахунку відкоригованих координат та лінійних прив'язок кожної точки вже «виправленого треку». Зважаючи на те, що роботи з визначення просторових координат автомобільних доріг мають лінійний характер та проводяться в межах окремого регіону (області) виникає восьма задача – урівноваження треків між собою в точках перетину, як в плані, так і по висоті (в межах точності приборів та технологій). Ця задача зводиться до урівноваження отриманих нев’язок (масової пропорційної зміни координат декількох треків) при нівелюванні нев’язок в декількох точках. Враховуючи, що роботи з визначення просторових координат автомобільних доріг проводяться в межах окремого регіону (області), виникає дев'ята задача – об'єднання декількох треків в окремих областях в єдиний трек автомобільної дороги певного титулу та отримання еталонного треку дороги. Десята задача сформульована із умови необхідності лінійної прив’язки зафіксованих просторових координат, що отримані в процесі щорічного моніторингу стану доріг – задача накладення польового

треку на еталонний та отримання еталонного треку з метаданими транспортно-експлуатаційних характеристик. Згідно з [8] кожна з складових об'єктів автомобільної дороги має координатну та лінійну прив'язку, яка визначається як проекція положення об'єкту на вісь правого проїзду прямого напрямку руху. Для автоматизації визначення лінійних прив'язок може бути використаний алгоритм десятої задачі.

Аналізування та порівняння існуючих аналогів програмного забезпечення проводився за функціональними можливостями (або потенційними можливостями – в результаті удосконалення та розширення наявного функціоналу) та здатністю їх виконувати визначений перелік задач. Програма «Track Corrector» [5] показала найкращу пристосованість до виконання поставлених задач під час перевірки результатів робіт з визначення просторових координат мережі автомобільних доріг державного значення загального користування. Дана програма являється власністю фізичних осіб, що свідчить про реальність отримання прав власності та створення на її основі інформаційно-аналітичної системи для перевірки та корегування результатів польових робіт, пов'язаних з визначенням просторових координат та лінійних прив'язок автомобільних доріг.

Вирішення поставлених задач пов'язане з автоматизацією процесу векторних побудов на координатній площині, або тривимірних зображень. Для їх вирішення в процесі створення аналітичної системи, були запрограмовані окремі функції. Для створення головного меню та підменю інтерфейсу програмного забезпечення ці функції були об’єднані в групи, перелік окремих функцій та їх поєднання в групи наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Перелік окремих функцій та їх поєднання в групи
Table 1 – List of individual functions and their combination into groups

Ч.ч.	Назва та опис функції
1	**Файлові функції - оперують треком, як єдиним об'єктом**
1.1	Завантажити / відкрити трек
1.2	Зберегти трек / зберегти як
1.3	Зберегти виділену частину треку, як окремий трек
1.4	Зміна властивостей треку
1.5	Імпорт треку з Excel
1.6	Експорт всього треку (або виділеної ділянки треку) в Excel
1.7	Закрити трек / треки
2	**Функції відображення**
2.1	Команда відображення всього треку
2.2	Відображення координатної «сітки» з автоматичним підбором її кроку при масштабуванні треку
2.3	Масштабування треку
2.4	Команда відображення всіх завантажених треків
2.5	Відображення треку в плані
2.6	Відображення повздовжнього профілю треку
2.7	Відображення всіх треків в окремому вікні навігації
3	**Аналітичні функції**
3.1	Пошук збійних вузлів (похибок трекування)
3.2	Пошук та видалення вузлів, що дублюються
3.3	Автоматичний пошук кривих та побудова шаблонних дуг по цих кривих
4	**Функції редагування (корегування) треку**
4.1	Виділення одного, декількох або всіх вузлів треку

Кінець таблиці 1
End of Table 1

4.2	Зміна розташування виділених вузлів в плані
4.3	Зміна висоти виділених вузлів в профілі
4.4	Можливість адаптивної зміни розташування / висоти вузлів
4.5	Редагування назви вузла та його коментаря
4.6	Масове редагування коментарів
4.7	Пошук та виділення вузлів по км+
4.8	Пошук та виділення вузлів по частині коментаря та / або назви
4.9	Додавання одного або декількох вузлів після виділеного
4.10	Розташування виділеної ділянки треку на прямій, що проходить через крайні вузли виділеної ділянки
4.11	Додати трек в кінець відкритого треку
4.12	Розташування та рівномірне розподілення виділеної ділянки треку на прямій, що проходить через крайні вузли виділеної ділянки
4.13	Згладжування виділеної ділянки треку шляхом спрямлення послідовних трійок вузлів
4.14	Додавання по виділеній ділянці треку шаблонної дуги, що максимально відповідає виділеній ділянці
4.15	Редагування шаблонної дуги, як частини кола, по трьох точках кола
4.16	Додавання та редагування коментарів до шаблонних дуг
4.17	Додавання окремої шаблонної дуги
4.18	Розташування виділеної ділянки треку на шаблонній дузі
4.19	Об'єднання декількох треків в один
4.20	Просторова корекція треку по двох точках
4.21	Розташування вузлів треку по еталонному треку

В розробленій інформаційно-аналітичній системі реалізовані функції:

– імпорт протоколу вхідних даних у форматі електронної таблиці Microsoft Excel;

– побудова плану та повздовжнього профілю треку на відповідних координатних площинах;

– експорт всього треку (або виділеної ділянки треку) – створення протоколів характеристик треку та вписаних горизонтальних кривих в форматі Microsoft Excel;

– видалення з координатних поверхонь (плану та повздовжнього профілю) активного треку, або всіх треків, відкритих на координатних поверхнях за необхідності;

– відображення треків на координатних площинах плану;

– можливість масштабування треку з автоматичним підбором кроку координатної сітки;

– можливість одночасного відображення всіх треків у вікні;

– можливість візуального переміщення зображень треків, згідно рухів курсору миші при статичному положенні вікна відображення;

– зміна масштабу відображення – візуальне наближення або віддалення місця позначеного курсором миші при статичному положенні вікна зображення;

– відображення всіх треків в окремому вікні навігації для можливості орієнтації вікна відображення при одночасній роботі із значною кількістю треків;

– відображення повздовжнього профілю треків з перерахунком метричних координат відрізків у встановлені екранні координати для повздовжніх профілів;

– пошук та автоматичне видалення вузлів, що дублюються – наявність похибок у вигляді декількох послідовно розташованих точок з однаковими координатами;

– побудова шаблону кривої по виділених вузлах треку в плані – зважаючи на різноманітні деформації поверхні покриття, похибки прибору по визначенню просторових координат та неточність

при визначенні осі проїзду алгоритми побудови кривих є ітераційним процесом та вимагає методів наближеного обчислення;

– функції редагування (корегування) треку – переміщення вузла по координатній площині плану, або по висотній координаті повздовжнього профілю, відстеження переміщень вузла у відповідних координатних площинах та у відповідних екранних координатах, зміна атрибутів / коментарів до конкретного вузла, створення додаткових вузлів всередині треку та поза межами треку, як його продовження, запам'ятовування результатів корегування.

- аналітичні функції, що дозволяють алгоритмізувати та автоматизувати виявлення місць, які в подальшому потребують обов'язкового корегування, а саме похибки визначення координат в плані та в повздовжньому профілі, які не відповідають вимогам заданої точності зйомки [6], можливим деформаціям поверхні дороги в результаті її деградації під час експлуатації та ділянки горизонтальних кривих. Алгоритм передбачає одночасну перевірку наявності «збійних» вузлів в плані і цих же вузлів в повздовжньому профілі.

Враховуючи норматив відстані між точками при роботах по визначенню просторових координат автомобільних доріг [7] та норматив найбільшого повздовжнього похилу у 30 проміле [9] — збійним вважається вузол, координати якого не задовольняють вимоги щодо кроку проєктування (мінімальної відстані при переламі проєктної лінії в плані – не більш ніж на 35°, та профілі – не більш ніж на 12°, зважаючи на відстань між точками в межах 20 м) (рис.2). Вони можуть виникати внаслідок помилки геодезичного обладнання, якості його зв’язку з RTK-станціями для отримання поправок на коригування чи перемикання між ними тощо.

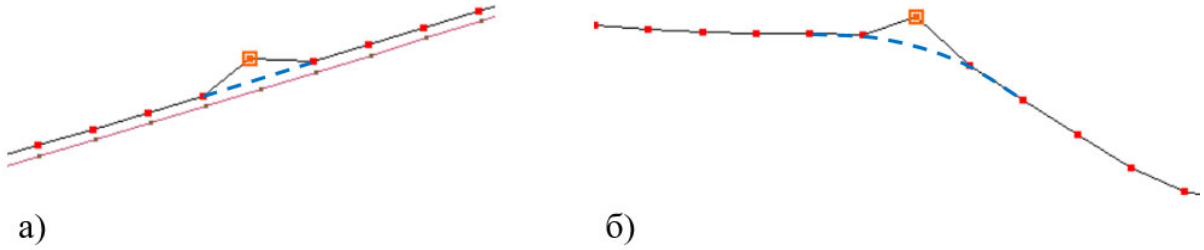


Рисунок 2 – Приклад «збійних» вузлів в плані а) та профілі б)
Figure 2 – Examples of erroneous nodes in plan view a) and profile view b)

На рисунку 3 наведено блок-схему алгоритму забезпечення інтерактивності перевірки та можливості прийняти рішення про корекцію вузла. Алгоритм передбачає одночасну перевірку наявності «збійних» вузлів в плані і цих же вузлів в повздовжньому профілі.

Оскільки інтерфейс є головним інструментом інтерактивного спілкування користувача з алгоритмами програмного забезпечення, тому він має бути зрозумілий для інженера-дорожника та простий у використанні. Для вирішення сформульованих задач дослідження, було розроблено наступні інструменти відображення: панелі координатної поверхні плану; панелі координатної поверхні повздовжнього профілю; навігаційної панелі треків в плані; навігаційної панелі треків в повздовжньому профілі; виконання окремих функцій та інформаційних повідомлень.

Під час впровадження та дослідної експлуатації інформаційно-аналітичної системи передбачалося: створення ІАС моделювання мережі доріг як повномасштабної системи; відпрацювання окремих частин та взаємодію їх, як єдиного цілого; комплексне вдосконалення та введення у дію із забезпеченням доступу до неї користувачів.

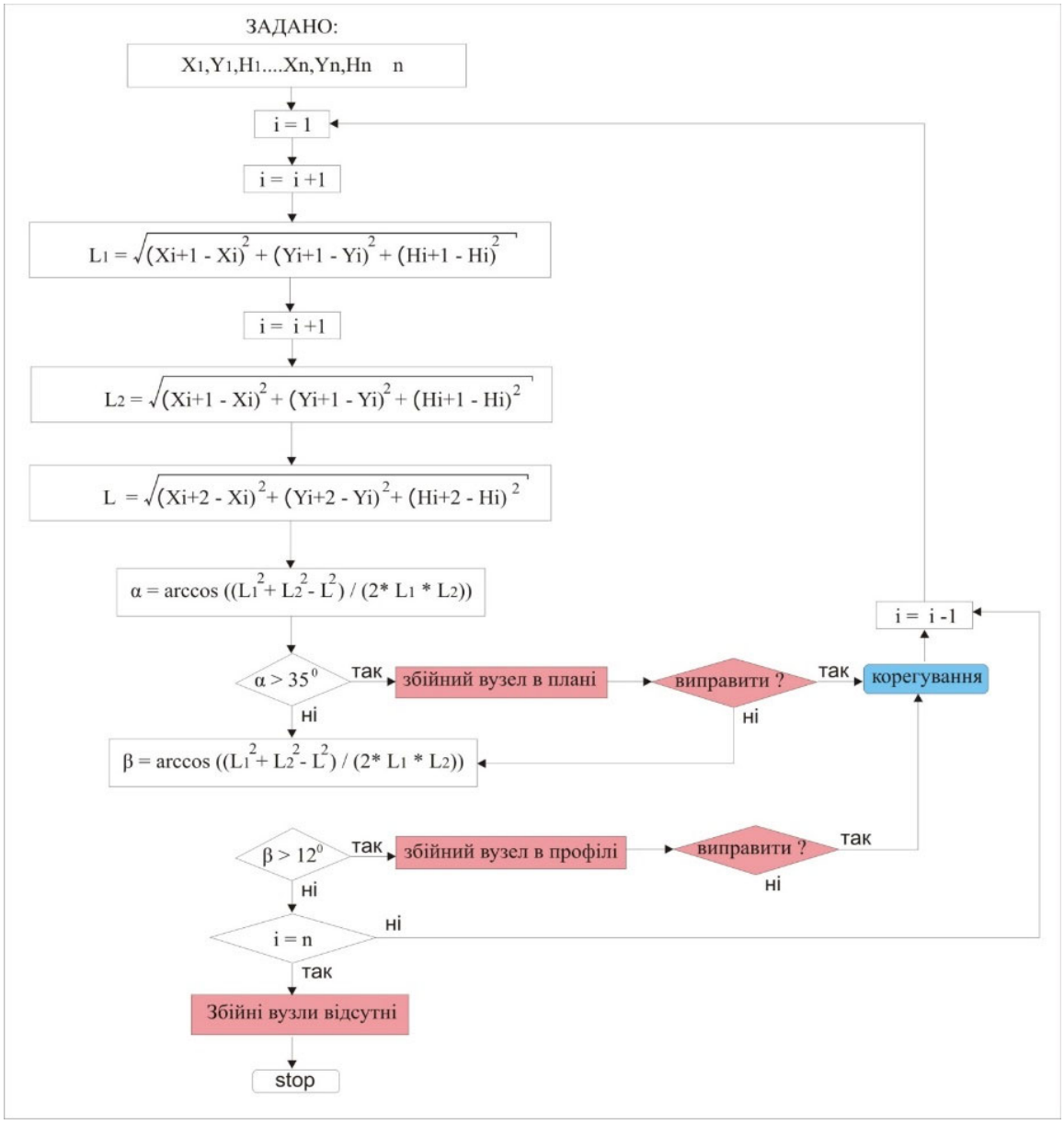


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритму перевірки «збійних» вузлів
Figure 3 – Flowchart of the algorithm for node checking

Тестова версія Інформаційно-аналітичної системи автоматизованого перевіряння та підготування даних для побудови цифрової моделі автомобільної дороги пройшла дослідну експлуатацію Службами автомобільних доріг у Волинській, Житомирській, Кіровоградській, Миколаївській та Черкаській областях що надало можливість: виявлення та узгодження проектних та експлуатаційних проблем системи; вдосконалення взаємодії системи у цілому з джерелами даних та користувачами; перевірку вірності та ефективності вибраних рішень; забезпечення першочергових потреб користувачів.

В результаті дослідної експлуатації встановлено, що інформаційно-аналітична система працездатна та дозволяє виконувати коригування протоколу координат точок в плані та повздовжньому профілі автомобільної дороги, отриманих за допомогою GPS – приймача.

Висновки. Перелік задач, що вирішуються при інформаційному забезпеченні дорожнього господарства та непристосованість існуючого на ринку програмного забезпечення для вирішення цих задач, визначають актуальність та унікальність розроблення Інформаційної аналітичної системи автоматизованого перевіряння та підготування даних для побудови цифрової моделі автомобільної дороги. Вона надає можливість забезпечення уніфікації та автоматизації процесів та робіт, пов'язаних з використанням просторових координат автомобільних доріг загального користування, як для вже наявних – державного значення, так і тих, для яких роботи з визначення просторових координат ще належить виконати.

В результаті впровадження роботи фахівці дорожньої галузі забезпечені інструментом для перевіряння та коригування результатів польових робіт, пов'язаних з визначенням просторових координат та лінійних прив'язок (км+). Здійснена автоматизація процесу, що дозволяє економити робочий час а також, за рахунок відмови від придбання ліцензій на закордонні аналоги та витрат на їх модернізацію до вимог чинних нормативних документів отримана економія бюджетних коштів.

Перелік посилань

1. Постанова Кабінету Міністрів України №1702 від 18.12.2021 «Про затвердження Порядку формування та виконання галузевої програми і проекту інформатизації».

2. Постанова Кабінету Міністрів України № 586 від 27.04.2002 «Про затвердження Програми створення системи інформаційного забезпечення на автомобільних дорогах загального користування на 2002-2010 роки».

3. Геодані про дороги державного значення тепер доступні у відкритому доступі та у зручному форматі. Режим доступу: https://www.facebook.com /agency.for.restoration/posts/pfbid02odALAr2phAGASSvxi3mAZ8G6Uf6b6vUkLc3cpsZjPKBdhacYEdhQqoC9E7FQ23dXl.

4. Печончик Т.І., Мудриченко Н.С. та ін. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробити інформаційно-аналітичну систему автоматизованого перевіряння та підготування даних для побудови цифрової моделі автомобільної дороги», Київ: ДерждорНДІ, 2019, 104 с.

5. Локтєв А.В., Гуков М.І. Комп'ютерна програма «Track Corrector». Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 33408, видане Державним департаментом інтелектуальної власності МОН України від 21.05.2010.

6. Вознюк А. Б. Удосконалення методу прогнозування аварійно-небезпечних ділянок на мережі автомобільних доріг. : дис. канд. техн. наук : 05.22.01 / Вознюк А. Б. – Київ, 2021. – 226 с.

7. СОУ 42.1-37641918-122:2014 Автомобільні дороги. Вимоги до комплексу робіт з інформаційного забезпечення (зі Зміною №1).

8. СОУ 42.1-37641918-038:2016 Паспорт автомобільної дороги (зі Зміною №1).

9. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво.

10. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів.

11. Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних».

12. Закон України «Про захист інформації в автоматизованих системах».

13. Іванченко В.О., Дуля М.В. та ін. Звіт про науково-дослідну роботу «Узагальнити інформацію щодо просторових координат автомобільних доріг державного значення та розробити базу даних географічних координат з ув'язкою їх в єдину мережу для уточнення протяжності і кілометрової прив'язки», Київ: ДерждорНДІ, 2021, 102 с.

14.Дуля М.В. Гресько І.Л. та ін. Звіт про науково-дослідну роботу «Узагальнити інформацію щодо просторових координат територіальних автомобільних доріг державного значення та доповнити базу даних географічних координат з ув'язкою їх в єдину мережу для уточнення протяжності і кілометрової прив'язки», Київ: ДерждорНДІ, 2023, 84 с.

DEVELOPMENT A SOFTWARE FOR SPATIAL DATA VERIFICATION FOR ROAD NETWORK SPATIAL MODELLING

Mykhailo Dulia, State enterprise «National Institute for Development of Infrastructure (SE «NIDI»), Junior Researcher Fellow at the Digitalization Development Devision , Kyiv, Ukraine,
e-mail: mykhailo_dulia@gmail.com, tel.+380939203254, https://orcid.org/0000-0002-1916-8642.

Summary. The article describes the stages of creating an information and analytical system for verifying and correcting the results of field work related to the determination of spatial coordinates and linear references of highways. Technical accounting and certification of highways are carried out in order to obtain reliable information on the presence of roads and road structures and other road infrastructure located within the roadway, their parameters and technical condition, which makes it possible to justify and rationally plan the construction, reconstruction, repair and maintenance of roads.

In the course of the work, based on previous experience and analysis, the research objectives were formulated. The solution of the tasks is associated with the automation of the process of vector constructions on the coordinate plane, or three-dimensional images. To solve the tasks in the process of creating an analytical system, separate functions were programmed. To create the main menu and submenus of the software interface, these functions were combined into groups.

The proposed method and the developed information-analytical system make it possible to provide road industry specialists with a tool for checking and correcting the results of field work related to the determination of spatial coordinates and linear references (km+); to obtain budgetary savings (due to the refusal to purchase licenses for foreign analogues and the cost of their modernization to the requirements of current regulatory documents); save working time (by automating the process of verification and correction); prevent low-quality services for determining spatial coordinates during road certification.

Keywords: highway, calculation algorithm, coordinate plane, linear reference, display scale, longitudinal profile, software, spatial data, digital model.

References

1. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1702 of 18.12.2021 «On Approval of the Procedure for the Formation and Implementation of the Sectoral Program and Informatization Project».

2. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 586 of 27.04.2002 «On Approval of the Program for the Creation of an Information Support System on Public Roads for 2002-2010».

3. Geodata on roads of national importance are now available in open access and in a convenient format. Access mode: https://www.facebook.com /agency.for.restoration/posts/pfbid02odALAr2phAGASSvxi3mAZ8G6Uf6b6vUkLc3cpsZjPKBdhacYEdhQqoC9E7FQ23dXl.

4. Pechonchyk T.I., Mudrychenko N.S. et al. Report on research work «Development of information-analytical system for automated verification and preparation of data for building a digital road model», Kyiv: DerzhdorNDI, 2019, 104 p.

5. Loktev A.V., Gukov M.I. Computer program «Track Corrector». Certificate of registration of copyright to the work No. 33408, issued by the State Department of Intellectual Property of the Ministry of Education and Science of Ukraine on May 21, 2010.

6. Vozniuk A. B. Improvement of the method of forecasting accidentally dangerous sections on the road network: PhD in Technical Sciences: 05.22.01 / Vozniuk AB - Kyiv, 2021. 226 p.

7. SOU 42.1-37641918-122:2014 Roads. Requirements for the complex of works on information support (with Amendment No. 1).

8. DSTU 42.1-37641918-038:2016 Passport of the road (with Amendment No. 1).

9. DBN B.2.3-4: 2015 Roads. Part I. Design. Part II. Construction.

10. DBN B.2.3-5:2018 Streets and roads of settlements.

11. The Law of Ukraine «On National Geospatial Data Infrastructure».

12. The Law of Ukraine «On Protection of Information in Automated Systems».

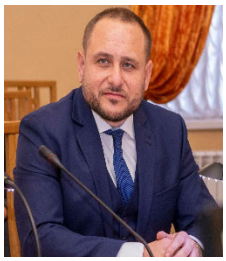
13. Ivanchenko V.O., Dulia M.V. et al. Report on the research work «Generalize information on spatial coordinates of roads of state importance and develop a database of geographical coordinates with their linking into a single network to clarify the length and kilometer reference», Kyiv: DerzhdorNDI, 2021, 102 p.

14. Dulia M.V. Gresko I.L. et al. Report on the research work «Generalize information on spatial coordinates of territorial roads of state importance and supplement the database of geographical coordinates with their linking into a single network to clarify the length and kilometer reference». Kyiv: DerzhdorNDI, 2023, 84 p.

УДК 528.9:332.3:004 **DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-190-198**
UDC 528.9:332.3:004

МІСТОБУДІВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗРОБКИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ МОНІТОРИНГОВИХ КАРТ ВИКОРИСТАННЯ НЕРУХОМОСТІ РЕГІОНІВ

URBAN DEVELOPMENT SUPPORT FOR THE DEVELOPMENT OF GEO-INFORMATIONAL MONITORING MAPS OF REAL ESTATE USE IN REGIONS



***Мамонов Костянтин Анатолійович**, доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com*

http://orcid.org/0000-0002-0797-2609



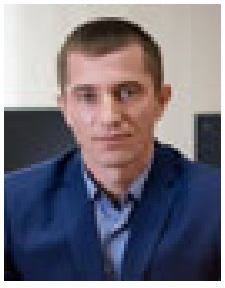
***Кондращенко Олена Володимирівна**, доктор технічних наук, професор кафедри матеріалознавства та інженерії композитних конструкцій, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: olena.kondraschenko@kname.edu.ua*

https://orcid.org/0000-0002-6739-3457



***Метешкін Костянтин Олександрович,** доктор технічних наук, професор кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: meteshkin@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0002-1170-2062



***Нестеренко Сергій Григорович,** кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформацій-них систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: nesterenkosg34@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0001-5124-9728

Анотація: Тема дослідження є актуальною і має своєчасний характер для забезпечення підвищення ефективності використання нерухомості на регіональному рівні.

У дослідженні досягнута мета відносно формування та застосування містобудівного забезпечення використання нерухомості регіонів для розробки геоінформаційних моніторингових карт. Відповідно до мети дослідження вирішені завдання: виокремлення містобудівних чинників, що

впливають на розробку геоінформаційних моніторингових карт на регіональному рівні; визначення напрямів та особливостей розробки й застосування геоінформаційних моніторингових карт використання нерухомості регіонів.

Значення інтегрального містобудівного показника свідчать про зростання значення містобудівних напрямів у системі територіального розвитку використання нерухомості регіонів. На регіональному рівні несистемно реалізуються напрями спрямовані на: формування зонінгу; забезпечення реалізації структурно-планувальних, планувально-обмежувальних, інженерної підготовки та обладнання територій, транспортного забезпечення; формування історико-архітектурного середовища; реалізації напрямів функціонування будівельної сфери; здійснення рівня забудови й щільності територій; застосування просторової інформації у містобудуванні; формування кадастрової інформації у сфері використання нерухомості регіонів для містобудування.

Найбільш активно реалізовані містобудівні напрями у системі територіального розвитку використання нерухомості у регіонах: Волинському, Житомирському, Івано-Франківському, Київському, Миколаївському, Рівненському, Сумському, Чернігівському. Гальмувались містобудівні напрями у регіонах: Донецькому, Кропивницькому, Луганському.

Запропоновано застосовувати геоінформаційний моніторинговий інструментарій для забезпечення використання нерухомості на регіональному рівні, враховуючи вплив містобудівних чинників, який базується на оцінних процедурах, геоінформаційних системах та комплексному врахуванні містобудівних чинників.

Ключові слова: нерухомість, містобудівне забезпечення, геоінформаційні системи, використання земель, моніторинг, інтегральний метод, чинники використання нерухомості, інтегральний показник, територіальний розвиток, геоінформаційні моніторингові карти, регіони.

Вступ. Формування сучасної системи територіального розвитку на регіональному рівні залежить від напрямів та особливостей використання земель та інших об’єктів нерухомості. Вони виступають важливим елементом, використання яких дозволяє залучити інвестиційні ресурси, підвищити соціальні стандарти, якість та можливості життєдіяльності населення. Поряд з цим, за останні роки знижується ефективність використання нерухомості на регіональному рівні. У цьому контексті важливим завданням є побудова та застосування сучасного інструментарію забезпечення територіального розвитку, який базується на геоінформаційних системах. Крім того, для виявлення та своєчасного попередження виникнення негативних явищ у системі територіального розвитку, враховуючи у тому числі вплив містобудівних чинників, розробляються геоінформаційні моніторингові карти використання нерухомості регіонів.

Отже, тема дослідження щодо визначення містобудівного забезпечення розробки геоінформаційних моніторингових карт використання нерухомості регіонів є актуальним завданням.

Метою дослідження є формування та застосування містобудівного забезпечення використання нерухомості регіонів для розробки геоінформаційних моніторингових карт. Відповідно до мети дослідження вирішуються завдання:

– виокремлення містобудівних чинників, що впливають на розробку геоінформаційних моніторингових карт на регіональному рівні;

– визначення напрямів та особливостей розробки й застосування геоінформаційних моніторингових карт використання нерухомості регіонів.

Огляд наукових розробок. За останні роки зростає значення геоінформаційних систем для забезпечення ефективності використання нерухомості. Зокрема, розроблено та активно застосовується нормативно-правове забезпечення геоінформаційних систем на регіональному рівні [1–2].

Дослідженням процесів використання геоінформаційних систем у сфері землекористування, виявлення відповідних особливостей займаються вчені [3–7].

На створення моніторингової системи використання земель впливають параметри містобудівного забезпечення [8–10].

Для розробки геоінформаційних моніторингових карт застосовуються методи і моделі оцінки чинників використання нерухомості [11–13].

На моніторингових процедурах, елементах формування моніторингової системи фокусують увагу вчені [14–15].

В існуючих наукових розробках представлені напрями та виокремлені особливості формування й використання геоінформаційних моніторингових карт використання нерухомості. Проте, особливого значення має виокремлення містобудівного забезпечення для розробки геоінформаційних моніторингових карт на регіональному рівні для підвищення ефективності використання нерухомості.

Виклад основного матеріалу. Визначені містобудівні показники розробки та використання нерухомості на регіональному рівні:

зональні:

– показник рівня формування рішень щодо планування і забудови території: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня відображення існуючої забудови територій, інженерно-транспортної інфраструктури, а також основних елементів планувальної структури територій; урахування місцевих умов під час визначення функціональних зон: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня визначення громадської зони регіону: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня визначення житлової зони регіону: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня визначення рекреаційної зони регіону: за даними результатів експертної оцінки;

функціонально-планувальні:

– показник рівня впровадження та реалізації принципів планувально-просторової організації забудови: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня встановлення червоних ліній та ліній регулювання забудови: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня встановлення функціонального призначення, визначення режимів та параметрів забудови однієї чи декількох земельних ділянок, розподілу територій згідно з будівельними нормами, державними стандартами і правилами: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня забезпечення містобудівних умов та обмежень (у разі відсутності плану зонування території) або уточнення містобудівних умов та обмежень згідно із планом зонування території: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня та повноти формування архітектурно-просторової композиції: за даними результатів експертної оцінки;

структурно-планувальні:

– показник питомої ваги території житлової забудови (садибної, малоповерхової, середньоповерхової, багатоповерхової забудови, багатофункціональної, громадсько-житлової забудови): громадські центри та основні об'єкти загальноміського і районного значення, громадсько-ділова забудова, існуючі будівлі, позначені на картографічній основі, магістральні та житлові вулиці і площі: за даними результатів експертної оцінки;

– питомої ваги озеленених територій загального користування, озеленених територій спеціального призначення (озеленені санітарно-захисні зони, прибережні захисні смуги, розсадники та квітковооранжерейні господарства): за даними результатів експертної оцінки;

– питомої ваги промислових, комунальних та складських територій: за даними результатів експертної оцінки;

– питомої ваги сільськогосподарських територій: за даними результатів експертної оцінки;

– питомої ваги територій інженерної інфраструктури: за даними результатів експертної оцінки;

планувально-обмежувальні:

– показник рівня визначених зон загазованості, понаднормативного шуму, електромагнітних випромінювань, радіаційного забруднення: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня визначених санітарно-захисних зон промислових підприємств, цвинтарів та інших комунальних об'єктів: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня визначених зон санітарної охорони джерел водопостачання, водоочисних споруд: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня захисних зон кар'єрів, відвалів, трубопроводів та інших об'єктів: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня територій та охоронних зон природних заповідників, пам'яток природи, архітектури, історії і культури та зони регулювання забудови, ландшафтів, які охороняються: за даними результатів експертної оцінки;

інженерної підготовки та обладнання територій:

– показник зонування промислових та комунальних територій за санітарною класифікацією виробництв: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня реалізації заходів, які вимагають значного обсягу підсипання або зрізання ґрунтів, дренування, виторфування: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня реалізації заходів з формування та реконструкції міських гідротехнічних споруд: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня здійснення заходів з рекультивації порушених територій: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня здійснення заходів з формування та реконструкції інженерних споруд та джерел: за даними результатів експертної оцінки;

транспортного забезпечення:

– показник встановлення класифікації вулично-дорожньої мережі: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня забезпечення основних об'єктів і ліній міського та зовнішнього транспорту: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня забезпечення трас та споруд позавуличного рейкового громадського транспорту: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня реалізації запроектованих транспортних об’єктів: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня активності машино- і пасажиропотоків: за даними результатів експертної оцінки;

історико-культурні:

– показник рівня забезпеченості пам'ятками національного та місцевого значення усіх типів та видів згідно з класифікацією об'єктів культурної спадщини: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня забезпеченості об'єктами культурної спадщини усіх типів та видів згідно з класифікацією об'єктів культурної спадщини: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня історичної забудови (значні й рядові історичні будівлі: громадські, у тому числі – культові: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня забезпеченості житловими та господарськими, промисловими та фортифікаційними спорудами територій, які мають статус земель історико-культурного призначення: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня забезпеченості пам'ятками природи, природними заповідниками, цінними природними ландшафтами: за даними результатів експертної оцінки;

характеризують функціонування будівельної сфери у регіонах:

– показник індексу будівельної продукції: за даними Державної служби статистики України;

– індексу обсягу виконання будівельних робіт: за даними Державної служби статистики України;

– стандартизованого значення показника прийняття в експлуатацію житла: за даними Державної служби статистики України;

– стандартизованого значення показника прийняття в експлуатацію квартир у житлових будинках за місцем будівництва: за даними Державної служби статистики України;

рівня застосування просторової інформації у містобудівному розвитку використання земель регіону:

– показник рівня формування єдиної цифрової топографічної основи території Автономної Республіки Крим і областей на підставі топографічних карт і планово-картографічної основи державного земельного кадастру на відповідні території: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня розробки схем планування території Автономної Республіки Крим, областей та окремих частин території з об'єктами регіонального значення за межами населених пунктів: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня розробки та застосування результатів моніторингу стану формування генеральних планів населених пунктів, планів зонування територій (зонінгів) та детальних планів: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня формування та реалізації інформаційних ресурсів галузевих кадастрів та інформаційних систем з питань використання територій, екологічного, інженерно-геологічного, сейсмічного, гідрогеологічного та іншого районування території регіону на підставі даних, що надійшли з відповідних галузевих кадастрів та інформаційних систем: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня реалізації нормативно-правових актів у сфері містобудування, а також будівельних норм, державних стандартів і правил на підставі рішень про їх затвердження відповідно до законодавства: за даними результатів експертної оцінки;

Таблиця 1 *– Результати оцінки інтегрального містобудівного показника територіального розвитку використання нерухомості регіонів, відн. од.*

Table 1 *– The results of the assessment of the integrated urban planning indicator of the territorial development of the use of real estate in the regions, resp. unit*

Регіони	Значення показника
Вінницький	4,118
Волинський	4,12
Дніпропетровський	4,117
Донецький	4,115
Житомирський	4,122
Закарпатський	4,116
Запорізький	4,119
Івано-Франківський	4,12
Київський	4,12
Кропивницький	4,115
Луганський	4,115
Львівський	4,119
Миколаївський	4,128
Одеський	4,119
Полтавський	4,117
Рівненський	4,12
Сумський	4,128
Тернопільський	4,119
Харківський	4,117
Херсонський	4,118
Хмельницький	4,118
Черкаський	4,119
Чернівецький	4,116
Чернігівський	4,121

рівня формування кадастрової інформації у сфері використання земель регіонів для містобудування:

– показник рівня взаємодії з базовими суб'єктами містобудівного кадастру та постійне отримання від них інформації, що підлягає реєстрації у містобудівному кадастрі: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня первинного оброблення, вхідного контролю та систематизації отриманих даних і документів та введення їх в базу даних інформаційної системи містобудівного кадастру: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня формування програмно-технічних комплексів щодо створення та використання містобудівного кадастру: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня організації робіт з інформаційного наповнення баз даних щодо створення містобудівного кадастру: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня фінансування робіт з проведення заходів, визначених програмою щодо створення містобудівного кадастру та його ведення, формування і утримання Служби містобудівного кадастру на державному рівні, які здійснюються за рахунок коштів державного бюджету, на регіональному та базовому (адміністративний район, місто) рівнях - за рахунок коштів відповідних місцевих бюджетів або інших джерел, не заборонених законом: за даними результатів експертної оцінки.

Для формування кількісної основи розробки геоінформаційних моніторингових карт використання нерухомості регіонів здійснено оцінку інтегрального містобудівного показника (табл. 1).

Враховуючи отримані дані, побудована геоінформаційна моніторингова карта використання нерухомості регіонів, враховуючи вплив містобудівних чинників (рис. 1).

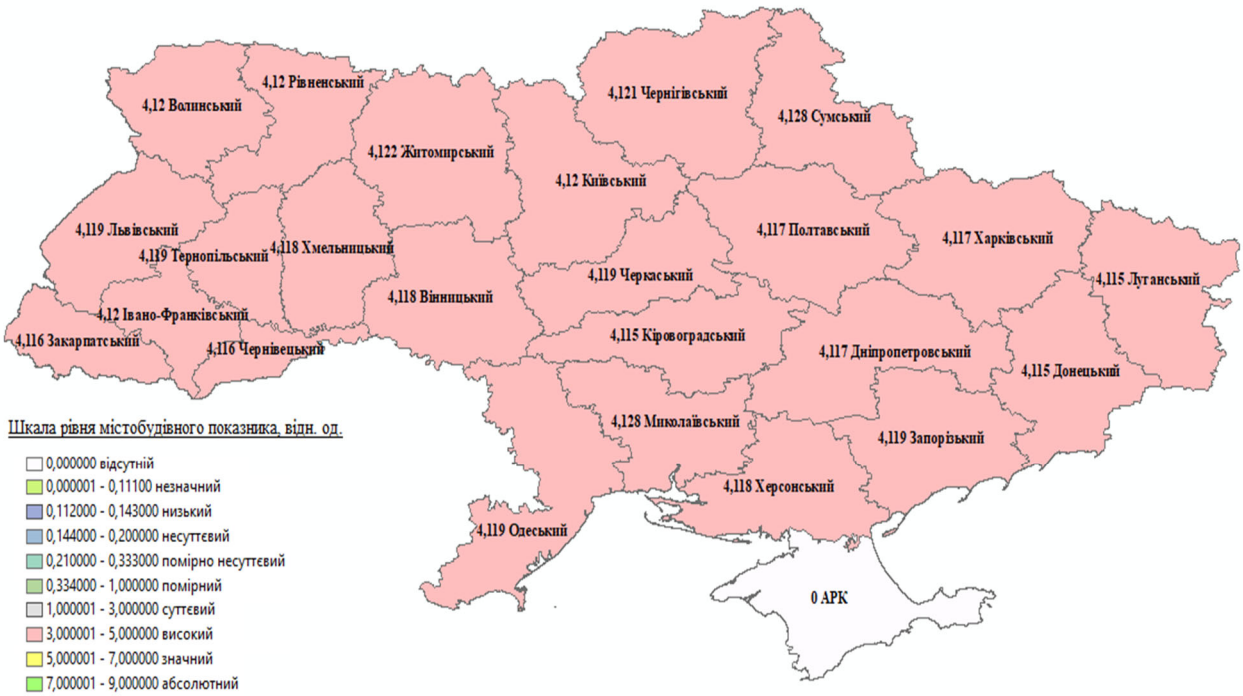


Рисунок 1 – *Геоінформаційна моніторингова карта інтегрального містобудівного показника територіального розвитку використання нерухомості регіонів, відн. од.*

Figure 1 – *Geoinformational monitoring map of the integral urban planning indicator of the territorial development of the use of real estate in the regions, relative to unit*

Висновки. Значення інтегрального містобудівного показника свідчать про зростання значення містобудівних напрямів у системі територіального розвитку використання нерухомості регіонів. На регіональному рівні несистемно реалізуються напрями спрямовані на:

– формування зонінгу;
– забезпечення реалізації структурно-планувальних, планувально-обмежувальних, інженерної підготовки та обладнання територій, транспортного забезпечення;
– формування історико-архітектурного середовища;
– реалізації напрямів функціонування будівельної сфери;
– здійснення рівня забудови й щільності територій;
– застосування просторової інформації у містобудуванні;
– формування кадастрової інформації у сфері використання нерухомості регіонів для містобудування.

Найбільш активно реалізовані містобудівні напрями у системі територіального розвитку використання нерухомості у регіонах: Волинському, Житомирському, Івано-Франківському, Київському, Миколаївському, Рівненському, Сумському, Чернігівському. Гальмувались містобудівні напрями у регіонах: Донецькому, Кропивницькому, Луганському.

Таким чином, запропоновано застосовувати геоінформаційний моніторинговий інструментарій для забезпечення використання нерухомості на регіональному рівні, враховуючи вплив містобудівних чинників, який базується на оцінних процедурах, геоінформаційних системах та комплексному врахуванні містобудівних чинників.

Перелік посилань

1. Про національну інфраструктуру геопросторових даних. Закон України. Документ 554-IX від 31.12.2023. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text
2. Про затвердження Порядку функціонування національної інфраструктури геопросторових даних. Постанова Кабінету міністрів України від 26 травня 2021 р. Документ 532-2021-п від 14.06.2023. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/532-2021-п#n11
3. Мамонов К. А., Нестеренко С. Г., Вяткін К. І. ГІС-забезпечення у раціональному використанні земельних ресурсів міської забудови. Науковий вісник будівництва. 2016. Том 86. №4. с. 283–286.
4. Мамонов К. А. Геоінформаційний аналіз ринку нерухомості. Містобудування та територіальне планування. 2016. Вип. 62. Ч. 1. с. 390–396.
5. Mamonov K., Radzinskaya Y., Shterndok E. Geoinformation Analysis of Investment Land Attraction of City. International science and technology conference «Earth science». OP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2019, pp. 102–111.
6. Mamonov K., Pomortseva O., Kobzan S., Zatkhei V., Korotkov V. Designing residential areas using geospatial modelling. Ukrainian Metrological Journal. 2023. № 3. Pp. 53–60.
7. Mamonov K., Nalivayko T., Nalivayko T., Pomortseva O., Kobzan S. Modern approaches to studying the accuracy of determination of deformation values in geodesic monitoring of crane equipment. Український метрологічний журнал. 2024. № 1. С. 59–64. URL: http://umj.metrology.kharkov.ua/issue/view/17862
8. Бландіньєр Ж.-П. Проблеми містобудування та благоустрою територій. Економіка. Фінанси. Право. 2001. № 3. С. 3–4.
9. Грек М. О. Методи і моделі оцінки впливу містобудівних факторів на використання земель міст. Комунальне господарство міст. 2017. Вип. 137. С. 9–12.
10. Лихогруд О. М. Наукові підходи до визначення цінності земельних ресурсів містобудівних систем у ринкових умовах. 2016. Агросвіт. С. 62–67. URL: http://www.agrosvit.info/pdf/6_2016/13.pdf

11. Мамонов К. А. Територіальний розвиток використання земель регіону: визначення, оцінка та напрями трансформацій. Монографія. Харків : ФОП Панов А. М., 2019. 332 с.

12. Мамонов К. А., Лю Чан, Канівець О. М. Розробка методу інтегральної оцінки використання земель об'єднаних територіальних громад. Комунальне господарство міст. 2022. Том 4. Вип. 171. С. 87–91.

13. Мамонов К. А., В'яткін Р. С., Штерндок Е. С., Штерндок А. В. Математичне моделювання чинників використання земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів. Комунальне господарство міст. 2024. Том 1. Вип. 182. С. 132–136.

14. Мамонов К. А., В'яткін Р. С., Фролов В. О. Моніторинг використання земель регіонів: геоінформаційні аспекти. Комунальне господарство міст. 2023. Том 6. Вип. 180. С. 98–102.

15. Мамонов К., Ковальчук В., Горб О. Моніторинг просторових параметрів рекультивованих земель засобами аерофотознімання. Вісник Львівського національного університету природокористування. 2023. Вип. 24. С. 133–139. URL: https://visnyk.lnup.edu.ua/index.php/architecture/article/view/211

URBAN DEVELOPMENT SUPPORT FOR THE DEVELOPMENT OF GEO-INFORMATIONAL MONITORING MAPS OF REAL ESTATE USE IN REGIONS

Kostiantyn Mamonov, Doctor of Economic Sciences, Professor, Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com, tel. +380992917354, http://orcid.org/0000-0002-0797-2609

Elena Kondrashchenko, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Materials Science and Engineering of Composite Structures, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: olena.kondraschenko@kname.edu.ua, tel. +380503024822, https://orcid.org/0000-0002-6739-3457

Kostiantyn Meteshkin, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: meteshkin@gmail.com, тел.+ 380984091642, https://orcid.org/0000-0002-1170-2062

Nesterenko Serhii, Candidate of technical sciences, Associate professor, Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, nesterenkosg34@gmail.com, tel.+ 380669291752, https://orcid.org/0000-0001-5124-9728

Summary. The topic of the research is relevant and has a timely character to ensure the improvement of the efficiency of the use of real estate at the regional level.

The study achieved the goal of the formation and application of urban planning support for the use of regional real estate for the development of geo-informational monitoring maps. In accordance with the purpose of the research, the following tasks were solved: the identification of urban planning factors affecting the development of geo-informational monitoring maps at the regional level; determination of directions and features of development and application of geo-informational monitoring maps of real estate use of regions.

The values of the integral urban planning indicator testify to the growing importance of urban planning directions in the system of territorial development of the use of real estate in the regions. At the regional level, non-systematic directions are implemented aimed at: formation of zoning; ensuring the implementation of structural and planning, planning and limiting, engineering preparation and equipment of territories, transport support; formation of the historical and architectural environment; implementation of directions of operation of the construction sphere; implementation of the level of development and density of territories; application of spatial information in urban planning; formation of cadastral information in the field of real estate use of regions for urban planning.

The most actively implemented urban planning directions in the system of territorial development of the use of real estate in the regions: Volyn, Zhytomyr, Ivano-Frankivsk, Kyiv, Mykolaiv, Rivne, Sumy, Chernihiv. City planning directions were slowed down in the regions: Donetsk, Kropyvnytskyi, Luhansk.

It is proposed to use a geo-information monitoring toolkit to ensure the use of real estate at the regional level, taking into account the influence of urban planning factors, which is based on assessment procedures, geo-information systems and comprehensive consideration of urban planning factors.

Keywords: real estate, urban development support, geoinformation systems, land use, monitoring, integral method, factors of real estate use, integral indicator, territorial development, geoinformation monitoring maps, regions.

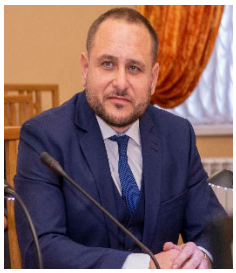
References

1. About the national infrastructure of geospatial data. Law of Ukraine. Document 554-IX dated 12/31/2023. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text [in Ukrainian].
2. On the approval of the Procedure for the functioning of the national infrastructure of geospatial data. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated May 26, 2021. Document 532-2021-p dated June 14, 2023. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/532-2021-п#n11 [in Ukrainian].
3. Mamonov K. A., Nesterenko S. G., Vyatkin K. I. (2016) GIS support in the rational use of land resources in urban development. Scientific bulletin of construction. Volume 86. № 4. pp. 283–286 [in Ukrainian].
4. Mamonov K. A. (2016) Geoinformation analysis of the real estate market. Urban planning and territorial planning. Issue 62. Part 1. p. 390–396 [in Ukrainian].
5. Mamonov K., Radzinskaya Y., Shterndok E. (2019) Geoinformation Analysis of Investment Land Attraction of City. International science and technology conference «Earth science». OP Conf. Series: Earth and Environmental Science, pp. 102–111 [in Ukrainian].
6. Mamonov K., Pomortseva O., Kobzan S., Zatkhei V., Korotkov V. (2023) Designing residential areas using geospatial modelling. Ukrainian Metrological Journal. № 3. Pp. 53–60 [in Ukrainian].
7. Mamonov K., Nalivayko T., Nalivayko T., Pomortseva O., Kobzan S. (2024) Modern approaches to studying the accuracy of determination of deformation values in geodesic monitoring of crane equipment. Ukrainian Metrological Journal. № 1. pp. 59–64. URL: http://umj.metrology.kharkov.ua/issue/view/17862 [in Ukrainian].
8. Blandignier J.-P. (2001) Problems of urban planning and improvement of territories. Economy. Finances. Right. № 3. P. 3–4 [in Ukrainian].
9. Grek M. O. (2017) Methods and models for assessing the impact of urban planning factors on the use of urban land. Communal management of cities. Issue 137. P. 9–12 [in Ukrainian].
10. Lyhogrud O. M. (2016) Scientific approaches to determining the value of land resources of urban planning systems in market conditions. Agroworld. № 6. Pp. 62–67. URL: http://www.agrosvit.info/pdf/6_2016/13.pdf [in Ukrainian].
11. Mamonov K. A. (2019) Territorial development of land use in the region: definition, evaluation and directions of transformations. Monograph. Kharkiv: FOP Panov A. M. 332 p. [in Ukrainian].
12. Mamonov K. A., Liu Chan, Kanivets O. M. (2022) Development of the method of integral assessment of land use of united territorial communities. Communal management of cities. Volume 4. Issue 171. P. 87–91 [in Ukrainian].
13. Mamonov K. A., Vyatkin R. S., Shterndok E. S., Shterndok A. V. (2024) Mathematical modeling of land use factors of objects of the nature reserve fund of regions. Communal management of cities. Volume 1. Issue 182. P. 132–136 [in Ukrainian].
14. Mamonov K. A., Vyatkin R. S., Frolov V. O. (2023) Monitoring land use of regions: geoinformational aspects. Communal management of cities. Volume 6. Issue 180. P. 98–102 [in Ukrainian].
15. Mamonov K., Kovalchuk V., Horb O. (2023) Monitoring of spatial parameters of reclaimed land using aerial photography. Bulletin of the Lviv National University of Nature Management. Issue 24. P. 133–139. URL: https://visnyk.lnup.edu.ua/index.php/architecture/article/view/211 [in Ukrainian].

УДК 528.9:332.3:004
UDC 528.9:332.3:004
DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-199-206

ПРОСТОРОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ НЕРУХОМОСТІ РЕГІОНІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ МОНІТОРИНГОВИХ КАРТ

SPATIAL SUPPORT FOR THE USE OF REGIONAL REAL ESTATE FOR THE DEVELOPMENT OF GEO-INFORMATIONAL MONITORING MAPS



Мамонов Костянтин Анатолійович, *доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com*

http://orcid.org/0000-0002-0797-2609



Паламар Альона Юріївна, *кандидат технічних наук, доцент кафедри геодезії, Криворізький національний університет, Кривий Ріг, Україна, e-mail: palamar1alena@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0003-2682-6786



Вяткін Роман Сергійович, *кандидат технічних наук, асистент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: viatkinr@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0001-8807-9988



Гой Василь Васильович, *кандидат економічних наук, докторант кафедри економіки та маркетингу, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, e-mail: vasssgoi@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0003-1822-4478

Анотація. Актуальним питанням є формування просторового забезпечення використання нерухомості регіонів дл я розробки геоінформаційних моніторингових карт.

Узагальнюючи існуючи теоретичні положення, визначено нерухомість як системну категорію, яка формується із землі, об'єктів, що знаходяться зверху знизу, інших об'єктів нерухомого майна, основною характеристикою яких є неможливість їх руху, довготривалий термін використання.

Досягнута мета дослідження щодо формування та застосування просторового забезпечення використання нерухомості регіонів для розробки геоінформаційних моніторингових карт. У дослідженні вирішені завдання: сформовані чинники просторового забезпечення використання нерухомості регіонів; визначені напрями та виокремлені практичні аспекти розробки геоінформаційних моніторингових карт.

У результаті дослідження визначено низький рівень формування та використання просторового забезпечення у системі використання нерухомості на регіональному рівні. У таких умовах виникає необхідність зміни траєкторії формування та використання просторового забезпечення за рахунок територіальних, функціональних, соціальних, політичних параметрів, картографічного та геодезичного забезпечення використання нерухомості регіонів.

Ключові слова: нерухомість, просторове забезпечення, геоінформаційні системи, використання земель, моніторинг, інтегральний метод, чинники використання нерухомості, інтегральний показник, територіальний розвиток, геоінформаційні моніторингові карти, регіони.

Вступ. *Трансформаційні процеси, що відбуваються на регіональному рівні, визначаються зниження основних показників функціонування регіонів, негативним впливом зовнішніх і внутрішніх чинників. Зокрема, уповільнюється зростання валового регіонального продукту, знижується основні показники діяльності підприємства за сферами, зростаються екологічні диспропорції, знижується інвестиційна активність. Слід вказати на відсутність системного підходу до застосування геоінформаційних систем як сучасного інструментарію забезпечення територіального розвитку та його моделювання на основі формування просторового забезпечення.*

У сучасних умовах особливого значення набуває підвищення ефективності використання земель та інших об'єктів нерухомості. Крім того, на недостатньому рівні представлені обґрунтування щодо визначення нерухомості на регіональному рівні.

Отже, актуальним питанням є формування просторового забезпечення використання нерухомості регіонів для розробки геоінформаційних моніторингових карт.

Огляд існуючих теоретичних розробок. В існуючих наукових розробках приділена значна увага застосуванню геоінформаційних систем у контексті використання земель та інших об'єктів нерухомості [1–5].

Для застосування геоінформаційних систем у сфері використання нерухомості на регіональному рівні особливого значення має формування та застосування просторового забезпечення [6–8].

Результатом застосування геоінформаційних систем є розробка та реалізація геоінформаційних моніторингових карт, як важливого інструментарію виокремлення процесів територіального розвитку та впливу на виникнення негативних явищ і своєчасного реагування на них у сфері використання земель та іншої нерухомості [9–11].

Розробка геоінформаційних моніторингових карт залежить від сформованого кількісного підґрунтя, яке базується на застосуванні кількісних методів, інструментарію математичного моделювання. У цьому контексті заслуговують на увагу розробки вчених [12–13].

Узагальнюючи існуючи теоретичні положення, визначено нерухомість як системну категорію, яка формується із землі, об'єктів, що знаходяться зверху знизу, інших об'єктів нерухомого майна, основною характеристикою яких є неможливість їх руху, довготривалий термін використання.

Таким чином, систематизація існуючих теоретичних положень дозволила встановити необхідність формування та застосування просторового забезпечення використання нерухомості регіонів для розробки геоінформаційних моніторингових карт.

Метою дослідження є формування та застосування просторового забезпечення використання нерухомості регіонів для розробки геоінформаційних моніторингових карт. У дослідженні вирішені завдання:

– сформовані чинники просторового забезпечення використання нерухомості регіонів;

– визначені напрями та виокремлені практичні аспекти розробки геоінформаційних моніторингових карт.

Виклад основного матеріалу. Побудова геоінформаційної моніторингової карти використання нерухомості на регіональному рівні з урахуванням просторового забезпечення здійснюється на основі сформованої кількісної основи. Вона побудована із визначенням змін просторових чинників:

територіальні:

– показник рівня стимулювання розвитку регіонів: визначається за даними результатів експертної оцінки;

– рівня реалізації секторальних напрямів забезпечення територіального розвитку: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня реалізації територіальних напрямів забезпечення розвитку: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня реалізації управлінських напрямів забезпечення територіального розвитку: за даними результатів експертної оцінки;

– рівень реалізації інструментальних напрямів забезпечення територіального розвитку: за даними результатів експертної оцінки;

функціональні:

– показник рівня використання земель житлової та громадської забудови визначається за даними результатів експертної оцінки;

– рівня проведення інвентаризації земель при здійсненні землеустрою за даними результатів експертної оцінки;

– коефіцієнти, що визначають вплив локальних факторів місця розташування кадастрового кварталу за територіально-планувальними, інженерно-геологічними, історико-культурними, природно-ландшафтними, санітарно-гігієнічними та іншими умовами: за встановленим критерієм;

– питомої ваги земель сільськогосподарського призначення у загальному фонді земель за регіонами: за даними Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру;

– рівня стану та використання підземної нерухомості: за запропонованим методом;

соціальні:

– показник рівня забезпечення населення житлом: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня забезпечення дитячими дошкільними установами: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня забезпечення загальноосвітніми школами: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня забезпечення медичними установами (лікарнями, поліклініками, аптеками): за даними результатів експертної оцінки;

– рівня забезпечення об'єктами культури (театрами, кінотеатрами, танцювальними залами, клубами, бібліотеками): за даними результатів експертної оцінки;

політичні:

– показник рівня зміцнення матеріальної бази органів місцевого самоврядування та підвищення рівня їх ресурсного забезпечення: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня посилення відповідальності представників органів місцевого самоврядування, сільських, селищних, міських голів перед територіальними громадами, що їх обрали: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня створення ефективних механізмів забезпечення активної участі територіальних громад та органів місцевого самоврядування у формуванні та реалізації державної регіональної політики: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня досягнення високої функціональної спроможності кадрового потенціалу регіонів, передусім шляхом створення системи і технологій залучення інвестицій для підготовки високопрофесійних управлінських кадрів: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня формування інфраструктури ринку земель, забезпечення оформлення правовстановлюючих документів на право власності на землю: за даними результатів експертної оцінки;

Таблиця 1 – Результати оцінки інтегрального просторового показника територіального розвитку використання нерухомості регіонів, відн. од.

Table 1 – The results of the assessment of the integral spatial indicator of the territorial development of the use of real estate in the regions, resp. unit

Регіони	Значення показника
Вінницький	2,595
Волинський	2,592
Дніпропетровський	2,596
Донецький	2,596
Житомирський	2,592
Закарпатський	2,588
Запорізький	2,596
Івано-Франківський	2,59
Київський	2,593
Кропивницький	2,596
Луганський	2,595
Львівський	2,593
Миколаївський	2,596
Одеський	2,596
Полтавський	2,595
Рівненський	2,591
Сумський	2,595
Тернопільський	2,595
Харківський	2,596
Херсонський	2,595
Хмельницький	2,595
Черкаський	2,594
Чернівецький	2,593
Чернігівський	2,594

картографічного та геодезичного забезпечення використання нерухомості регіонів:

– показник рівня додержання вимог стандартів та нормативно-технічної документації: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня впровадження прогресивних технологій і методів організації топографо-геодезичного і картографічного виробництва: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня розроблення, впровадження та організації програмного, технологічного і технічного забезпечення ефективного використання цифрових карт і геоінформаційних систем: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня геодезичних, топографічних, аерозйомочних та інших спеціальних робіт під час інших вишукувань і спеціальних робіт: за даними результатів експертної оцінки;

– рівня взаємодії регіональних органів влади з органами державного геодезичного нагляду в питаннях виконання топографо- геодезичних та картографічних робіт, а також використання носіїв топографо-геодезичної та картографічної інформації, що є державною власністю: за даними результатів експертної оцінки.

Застосовуючи інтегральний метод, визначено інтегральний показник територіального розвитку використання нерухомості регіонів із врахуванням змін просторових чинників (табл. 1).

Визначений інтегральний просторовий показник дозволив побудувати геоінформаційну моніторингову карту із застосуванням сучасної геоінформаційної системи (рис. 1).

Висновки. Таким чином, у результаті дослідження визначено низький рівень формування та використання просторового забезпечення у системі використання нерухомості на регіональному рівні. У таких умовах виникає необхідність зміни траєкторії формування та використання просторового забезпечення за рахунок територіальних, функціональних, соціальних, політичних параметрів, картографічного та геодезичного забезпечення використання нерухомості регіонів.

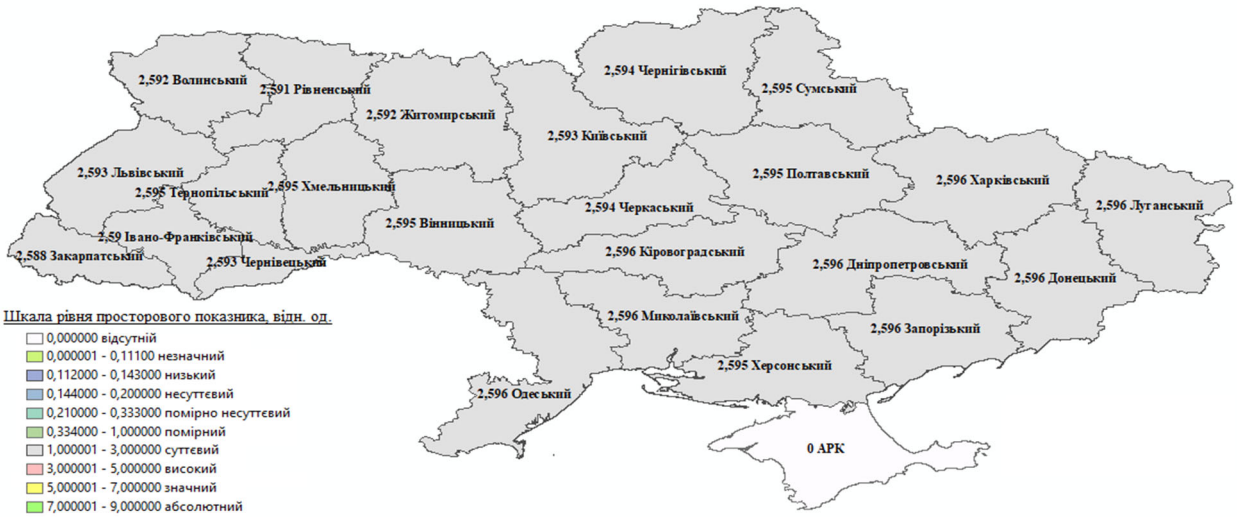


Рисунок 1 **–** Геоінформаційна моніторингова карта інтегрального просторового показника використання нерухомості регіонів, відн. од.

Figure 1 **–** Geo-informational monitoring map of the integral spatial indicator of real estate use of the regions, resp. Unit

Перелік посилань

1.Мамонов К. А., Нестеренко С. Г., Вяткін К. І. ГІС-забезпечення у раціональному використанні земельних ресурсів міської забудови. Науковий вісник будівництва. 2016. Том 86. №4. С. 283–286.

2.Мамонов К. А. Геоінформаційний аналіз ринку нерухомості. Містобудування та територіальне планування. 2016. Вип. 62. Ч. 1. С. 390–396.

3.Mamonov K., Radzinskaya Y., Shterndok E. Geoinformation Analysis of Investment Land Attraction of City. International science and technology conference «Earth science». OP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. pp. 102–111.

4.Mamonov K., Palamar A., Viatkin R., Kondratyuk I. Geoinformation support for monitoring the land of the ecological network of regions. GeoTerrace–2020. Eage: Матеріали міжнародної конференції, 7–9 December 2020, Lviv.

5.Mamonov K., Nalivayko T., Nalivayko T., Pomortseva O., Kobzan S. Modern approaches to studying the accuracy of determination of deformation values in geodesic monitoring of crane equipment. Український метрологічний журнал. 2024. № 1. С. 59–64. URL: http://umj.metrology.kharkov.ua/issue/view/17862

6.Палеха Ю. М. Просторовий аналіз вартості територій поселень України та їх грошова оцінка. Укрфінський географічний журнал. 2008. № 1. С. 57–61.

7.Шипулін В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем: навч. посіб. Харків. 2010. 313 с.

8.Мамонов К. А., Вяткін К. І., Нестеренко С. Г. Геоінформаційні технології для транспортної галузі міського будівництва. Сучасні технології та методи розрахунку у будівництві. 2017. Вип. 6. С. 56–

9.Мамонов К. А., В'яткін Р. С., Фролов В. О. Моніторинг використання земель регіонів: геоінформаційні аспекти. Комунальне господарство міст. 2023. Том 6. Вип. 180. С. 98–102.

10.Мамонов К., Ковальчук В., Горб О. Моніторинг просторових параметрів рекультивованих земель засобами аерофотознімання. Вісник Львівського національного університету природокористування. 2023. Вип. 24. С. 133–139. URL: https://visnyk.lnup.edu.ua/index.php/architecture/article/view/211

11.Мамонов К. А., Вяткін Р. С., Штерндок Е. С., Штерндок А. В. Інструментарій формування геопросторового забезпечення використання земель регіонів. Науковий журнал «АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ І ДОРОЖНЄ БУДІВНИЦТВО». 2023. Випуск 114. Частина 2. С. 143–152. http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/114.2/143.pdf

12.Мамонов К. А. Територіальний розвиток використання земель регіону: визначення, оцінка та напрями трансформацій. Монографія. Харків : ФОП Панов А. М., 2019. 332 с.

13.Мамонов К. А., В'яткін Р. С., Штерндок Е. С., Штерндок А. В. Математичне моделювання чинників використання земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів. Комунальне господарство міст. 2024. Том 1. Вип. 182. С. 132–136.

SPATIAL SUPPORT FOR THE USE OF REGIONAL REAL ESTATE FOR THE DEVELOPMENT OF GEO-INFORMATIONAL MONITORING MAPS

Mamonov Kostiantyn, Doctor of Economic Sciences, Professor, Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com, tel. +380992917354, http://orcid.org/0000-0002-0797-2609

Palamar Alena, Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Geodesy, Kryvyi Rih National University, e-mail: palamar1alena@gmail.com, тел. +380980349840, https://orcid.org/0000-0003-2682-6786

Vyatkin Roman, Candidate of technical sciences, assistant of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: viatkinr@gmail.com, tel. +380950034439, https://orcid.org/0000-0001-8807-9988

Goi Vasyl, PhD (Candidate of Economic Science), Doctoral Candidate at the Department of Economics and Marketing, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine, e-mail: vasssgoi@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-1822-4478

Summary. An urgent issue is the formation of spatial support for the use of regional real estate for the development of geo-informational monitoring maps.

Summarizing the existing theoretical provisions, real estate is defined as a systemic category that is formed from land, objects located from top to bottom, other real estate objects, the main characteristic of which is the impossibility of their movement, a long term of use.

The goal of the research on the formation and application of spatial support for the use of regional real estate for the development of geo-informational monitoring maps has been achieved. In the study, the tasks were solved: the factors of spatial provision of the use of real estate in the regions were formed; determined directions and isolated practical aspects of the development of geo-informational monitoring maps.

As a result of the study, a low level of formation and use of spatial support in the system of real estate use at the regional level was determined. In such conditions, there is a need to change the trajectory of the formation and use of spatial support at the expense of territorial, functional, social, political parameters, cartographic and geodetic support for the use of regional real estate.

Keywords: real estate, spatial support, geoinformation systems, land use, monitoring, integral method, factors of real estate use, integral indicator, territorial development, geoinformation monitoring maps, regions.

References

16. Mamonov K. A., Nesterenko S. G., Vyatkin K. I. (2016) GIS support in the rational use of land resources in urban development. Scientific bulletin of construction. Volume 86. № 4. P. 283–286 [in Ukrainian].

17. Mamonov K. A. (2016) Geoinformation analysis of the real estate market. Urban planning and territorial planning. Issue 62. Part 1. P. 390–396 [in Ukrainian].

18. Mamonov K., Radzinskaya Y., Shterndok E. (2019) Geoinformation Analysis of Investment Land Attraction of City. International science and technology conference «Earth science». OP Conf. Series: Earth and Environmental Science, pp. 102–111 [in Ukrainian].

19. Mamonov K., Palamar A., Viatkin R., Kondratyuk I. (2020) Geoinformation support for monitoring the land of the ecological network of regions. GeoTerrace–2020. Eage: Materials of the international conference, Lviv [in Ukrainian].

20. Mamonov K., Nalivayko T., Nalivayko T., Pomortseva O., Kobzan S. (2024) Modern approaches to studying the accuracy of determination of deformation values in geodesic monitoring of crane equipment. Ukrainian Metrological Journal. № 1. pp. 59–64. URL: http://umj.metrology.kharkov.ua/issue/view/17862 [in Ukrainian].

21. Palekha Yu. M. (2008) Spatial analysis of the value of territories of settlements of Ukraine and their monetary assessment. Ukrainian Geographical Journal. № 1. P. 57–61 [in Ukrainian].

22. Shipulin V.D. (2010) Basic principles of geoinformation systems: teaching. manual Kharkiv. 313 p [in Ukrainian].

23. Mamonov K. A., Vyatkin K. I., Nesterenko S. G. (2017) Geoinformation technologies for the transport industry of urban construction. Modern technologies and calculation methods in construction. Issue 6. P. 56–63 [in Ukrainian].

24. Mamonov K. A., Vyatkin R. S., Frolov V. O. (2023) Monitoring land use of regions: geoinformational aspects. Communal management of cities. Volume 6. Issue 180. P. 98–102. [in Ukrainian].

25. Mamonov K., Kovalchuk V., Horb O. (202) Monitoring of spatial parameters of reclaimed land using aerial photography. Bulletin of the Lviv National University of Nature Management. Issue 24. P. 133–139. URL: https://visnyk.lnup.edu.ua/index.php/architecture/article/view/211 [in Ukrainian].

26. Mamonov K. A., Vyatkin R. S., Sterndok E. S., Sterndok A. V. (2023) Toolkit for the formation of geospatial provision of land use in regions. Scientific journal "ROADS AND ROAD CONSTRUCTION". Issue 114. Part 2. P. 143–152. http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/114.2/143.pdf [in Ukrainian].

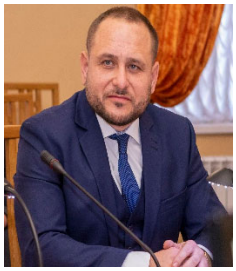
27. Mamonov K. A. (2019) Territorial development of land use in the region: definition, assessment and directions of transformations. Monograph. Kharkiv: FOP Panov A. M., 332 p. [in Ukrainian].

28. Mamonov K. A., Vyatkin R. S., Shterndok E. S., Shterndok A. V. (2024) Mathematical modeling of land use factors of objects of the nature reserve fund of regions. Communal management of cities. Volume 1. Issue 182. P. 132–136 [in Ukrainian].

УДК 528.9:332.3:004 **DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-207-213**
UDC 528.9:332.3:004

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ МОНІТОРИНГОВИХ СИСТЕМ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД НА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНІ

PECULIARITIES OF THE FORMATION OF GEO-INFORMATIONAL MONITORING SYSTEMS OF LAND USE OF TERRITORIAL COMMUNITIES AT THE REGIONAL LEVEL



Мамонов Костянтин Анатолійович, *доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com*

http://orcid.org/0000-0002-0797-2609



Пілічева Марина Олегівна*, кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків,Україна, e-mail: marynapilicheva@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0003-1733-7534



Штерндок Ернест Сергійович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: shterndok@ukr.net*

https://orcid.org/0000-0003-1107-7401



Фролов Вячеслав Олександрович, *кандидат технічних наук, асистент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, e-mail: frolgis@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0001-8045-3963

Анотація: Доведена актуальність теми дослідження. Досягнута мета дослідження щодо виокремлення особливостей формування геоінформаційних моніторингових систем використання земель територіальних громад на регіональному рівні. Вирішені завдання: визначення напрямів формування геоінформаційних моніторингових систем використання земель територіальних громад

на регіональному рівні; формування практичних аспектів побудови геоінформаційних моніторингових систем використання земель територіальних громад.

У результаті дослідження визначені напрями та особливості застосування геоінформаційних систем для функціонування територіальних громад, їх земель. Встановлена необхідність їх використання для вирішення складних проблемних аспектів щодо забезпечення розвитку територіальних громад.

Розроблена геоінформаційна тривимірна модель моніторингу стану територіального розвитку використання земель територіальних громад, яка базується на сучасному інструментарію геоінформаційних систем, виокремлених чинників використання земель, напрямах застосування геоінформаційних систем, побудованій кількісній основі, що дозволило сформувати моніторингову систему для забезпечення територіального розвитку..

Ключові слова: територіальні громади, геоінформаційні системи, використання земель, моніторинг, чинники використання земель, територіальний розвиток.

Вступ *Сучасні напрями розвитку місцевого самоврядування, гальмування напрямів розвитку територіальних громад (ТГ), зниження ефективності їх функціонування потребує переосмислення підходів до можливостей застосування геоінформаційних систем (ГІС) та формування моніторингу використання земель.*

На важливість функціонування територіальних громад вказує сформоване нормативно-правове забезпечення: Закони України «Про землеустрій», «Про місцеве самоврядування в Україні», «Про добровільне об'єднання територіальних громад», «Про співробітництво територіальних громад», Постанови Кабінету міністрів України «Про визначення формату електронних документів комплексного плану просторового розвитку території територіальної громади, генерального плану населеного пункту, детального плану території», «Про затвердження порядків з питань відновлення та розвитку регіонів і територіальних громад».

Крім того, особливого значення має застосування геоінформаційних систем як сучасної технології моделювання та формування напрямів управління територіальним розвитком [1–2].

Поглиблюють проблемні аспекти функціонування територіальних громад негативний вплив зовнішніх і внутрішніх чинників, наслідки агресії РФ.

Отже, застосування геоінформаційних систем, виявлення особливостей їх використання для забезпечення територіального розвитку територіальних громад на регіональному рівні є актуальним завданням.

Огляд існуючих теоретичних розробок. Функціонування та розвиток територіальних громад має багатоаспектний характер. Він включає просторове та містобудівне забезпечення, екологічні напрями та інвестиційні параметри.

У цьому контексті особливого значення має використання геоінформаційних систем, на важливість яких наголошується у наукових розробках авторів [3–6].

Забезпечення функціонування громад через призму застосування інноваційного інструментарію представлено у роботах [7–9].

Для застосування геоінформаційних систем у системі розвитку територіальних громад на регіональному рівні визначаються напрями формування та використання просторового забезпечення. У цьому контексті заслуговують на увагу розробки [10–12].

Для застосування геоінформаційних систем у сфері функціонування територіальних громад необхідно побудувати кількісну основу шляхом використання інтегрального методу оцінки чинників землекористування [13].

Ефективність використання земель територіальних громад визначається розробкою та застосуванням моніторингових систем, враховуючи напрями та особливості використання геоінформаційних систем.

Таким чином, недостатній рівень теоретичного обґрунтування напрямів розробки й застосування геоінформаційних моніторингових систем використання земель територіальних громад на регіональному рівні визначає шляхи подальших досліджень.

Метою дослідження є виокремлення особливостей формування геоінформаційних моніторингових систем використання земель територіальних громад на регіональному рівні. У представленому дослідженні вирішуються наступні завдання:

– визначення напрямів формування геоінформаційних моніторингових систем використання земель територіальних громад на регіональному рівні;

– формування практичних аспектів побудови геоінформаційних моніторингових систем використання земель територіальних громад.

Виклад основного матеріалу. Технологія застосування ГІС для територіального розвитку використання земель територіальних громад, а також моделювання відповідних чинників передбачає визначення особливостей роботи баз геоданих та етапів застосування геоінформаційного інструментарію:

1. Створення інформаційної бази для аналізу територіального розвитку використання земель в ArcCatalog:

– розробка базових узагальнюючих груп показників територіального розвитку використання земель ТГ;

– формування бази геоданих узагальнюючих показників та створення бази геоданих інтегральних показників територіального розвитку використання земель територіальних громад;

– створення шейп файлу та прив’язка визначених показників.

2. Геоінформаційний аналіз узагальнюючих та інтегрального показника в модулі ArcMap:

– візуалізація даних оцінки узагальнюючих просторових, містобудівних, інвестиційних та екологічних показників територіального розвитку використання земель територіальних громад;

– створення набору шарів узагальнюючих показників, розробка та візуалізація інтегральних показників територіального розвитку використання земель ТГ;

– розробка стандартизованої шкали рівнів показників;

– аналіз інтегральних показників територіального розвитку використання земель ТГ за територіальними ознаками.

3. Побудова та моделювання тривимірного сценарного представлення шарів системи територіального розвитку використання земель територіальних громад в програмному модулі ArcScene.

Алгоритм створення просторової інформації для моделювання та аналізу даних територіального розвитку використання земель територіальних громад характеризується сукупністю взаємопов’язаних операцій з розробки та підготовки баз геоданих показників у програмному середовищі ГІС.

Система геоінформаційного забезпечення територіального розвитку використання земель ТГ з урахуванням просторових, містобудівних, інвестиційних і екологічних узагальнюючих даних реалізується за наступними складовими:

1. Застосування програмного забезпечення для розробки геоінформаційної системи територіального розвитку використання земель.

2. Використання бази геоданих показників територіального розвитку використання земель для створення набору шарів геоінформаційної системи.

3. Аналіз узагальнюючих інтегральних показників територіального розвитку використання земель з урахуванням територіальних та законодавчих характеристик.

4. Вибір технології оцінки інтегральних показників територіального розвитку використання земель.

5. Застосування програмного модулю ГІС і технології математичного моделювання показників територіального розвитку використання земель.

6. Створення моделей процесу та аналізу показників територіального розвитку використання земель ТГ.

7. Розробка набору шарів просторових, містобудівних, інвестиційних і екологічних узагальнюючих показників.

8. Аналіз та розробка шару інтегральних показників територіального розвитку використання земель.

9. Застосування шкали впливу даних моделювання показників територіального розвитку використання земель.

10. Візуалізація даних, представлення сцени геоінформаційної системи територіального розвитку використання земель територіальних громад.

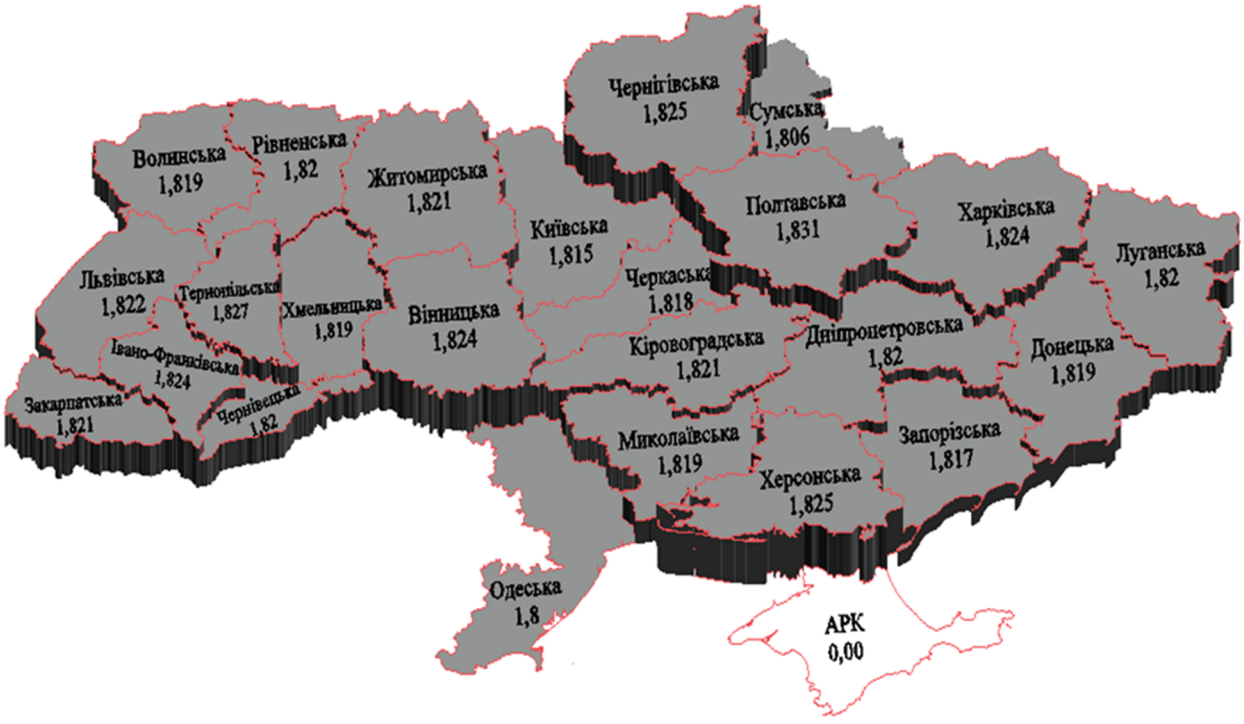


Рисунок 1 − Геоінформаційна тривимірна модель моніторингу стану територіального розвитку використання земель територіальних громад, відн. од.

Figure 1 − Geoinformation three-dimensional model of monitoring the state of territorial development of land use of territorial communities, resp. unit

На основі запропонованих етапів, побудована геоінформаційна тривимірна модель моніторингу стану територіального розвитку використання земель територіальних громад (рис. 1).

Висновки. Таким чином, у результаті дослідження визначені напрями та особливості застосування геоінформаційних систем для функціонування територіальних громад, їх земель. Встановлена необхідність їх використання для вирішення складних проблемних аспектів щодо забезпечення розвитку ТГ.

Розроблена геоінформаційна тривимірна модель моніторингу стану територіального розвитку використання земель територіальних громад, яка базується на сучасному інструментарію ГІС, виокремлених чинників використання земель ТГ, напрямах застосування геоінформаційних систем, побудованій кількісній основі, що дозволило сформувати моніторингову систему для забезпечення територіального розвитку.

Перелік посилань

1.Про національну інфраструктуру геопросторових даних. Закон України. Документ №554-IX від 31.12.2023. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text

2.Про затвердження Порядку функціонування національної інфраструктури геопросторових даних. Постанова Кабінету міністрів України від 26 травня 2021 р. № 532. Документ 532-2021-п від 14.06.2023. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/532-2021-п#n11

3.Мамонов К. А., Нестеренко С. Г., Вяткін К. І. ГІС-забезпечення у раціональному використанні земельних ресурсів міської забудови. Науковий вісник будівництва. 2016. Том 86. №4. С. 283–286.

4.Мамонов К. А. Геоінформаційний аналіз ринку нерухомості. Містобудування та територіальне планування. 2016. Вип. 62. Ч. 1. С. 390–396.

5.Mamonov K., Radzinskaya Y., Shterndok E. Geoinformation Analysis of Investment Land Attraction of City. International science and technology conference «Earth science». OP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. pp. 102–111.

6.Mamonov K., Nalivayko T., Nalivayko T., Pomortseva O., Kobzan S. Modern approaches to studying the accuracy of determination of deformation values in geodesic monitoring of crane equipment. Український метрологічний журнал. 2024. № 1. С. 59–64. URL: http://umj.metrology.kharkov.ua/issue/view/17862

7.Зайченко В. В. Роль територіальних громад у забезпеченні розвитку інноваційно-інтегрованих структур в умовах децентралізації. Центральноукраїнський науковий вісник. Економічні науки. 2018. Вип. 1 (34). С. 21–32. URL: https://www.mnau.edu.ua/files/olimp/kon-gromadi/rez/28.pdf

8.Мокій А. І., Павліха Н. В., Науменко Н. С., Дацко О. І. Інституціональне забезпечення інноваційного розвитку територіальних громад України. Регіональна економіка. 2018. № 4. С. 17–27.

9.Tomashuk I. Features of formation and use of innovative potential of rural territories of Ukraine. Slovak international scientific journal. 2020. № 46. Vol. 2. P. 27–42.

10.Палеха Ю. М. Просторовий аналіз вартості територій поселень України та їх грошова оцінка. Укрфінський географічний журнал. 2008. № 1. С. 57–61.

11.Шипулін В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем: навч. посіб. Харків. 2010. 313 с.

12.Мамонов К. А., Вяткін К. І., Нестеренко С. Г. Геоінформаційні технології для транспортної галузі міського будівництва. Сучасні технології та методи розрахунку у будівництві. 2017. Вип. 6. С. 56–63.

13.Мамонов К. А., Лю Чан, Канівець О. М. Розробка методу інтегральної оцінки використання земель об'єднаних територіальних громад. Комунальне господарство міст. 2022. Том 4. Вип. 171. С. 87–91.

PECULIARITIES OF THE FORMATION OF GEO-INFORMATIONAL MONITORING SYSTEMS OF LAND USE OF TERRITORIAL COMMUNITIES AT THE REGIONAL LEVEL

Kostiantyn Mamonov, Doctor of Economic Sciences, Professor, Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com, tel. +380992917354, http://orcid.org/0000-0002-0797-2609

MarynPilicheva, Candidate of technical sciences, Docent of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv e-mail: marynapilicheva@gmail.com, тел. +380992125802, https://orcid.org/0000-0003-1733-7534

Ernest Shterndok, Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems**,** O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: shterndok@ukr.net, tel. +380934289234, https://orcid.org/0000-0003-1107-7401

Viacheslav Frolov, Candidate of Technical Sciences, Assistant of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: frolgis@gmail.com, тел. +380509816112, https://orcid.org/0000-0001-8045-3963

Summary. The relevance of the research topic is proven. The goal of the study to identify the peculiarities of the formation of geo-informational monitoring systems for the use of land of territorial communities at the regional level has been achieved. Solved tasks: determination of directions for the formation of geo-informational monitoring systems for land use of territorial communities at the regional level; formation of practical aspects of building geo-informational monitoring systems of land use of territorial communities.

As a result of the study, directions and features of the application of geoinformation systems for the functioning of territorial communities and their lands were determined. The need to use them to solve complex problematic aspects of ensuring the development of territorial communities has been established.

A three-dimensional geo-information model for monitoring the state of territorial development of land use of territorial communities has been developed, which is based on modern tools of geo-information systems, identified factors of land use, areas of application of geo-information systems, built on a quantitative basis, which made it possible to form a monitoring system to ensure territorial development.

Keywords: territorial communities, geoinformation systems, land use, monitoring, land use factors, territorial development.

References

1.About the national infrastructure of geospatial data. Law of Ukraine. Document № 554-IX dated 12/31/2023. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text [in Ukrainian].

2.On the approval of the Procedure for the functioning of the national infrastructure of geospatial data. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated May 26, 2021. №532. Document 532-2021-p dated June 14, 2023. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/532-2021-п#n11 [in Ukrainian].

3.Mamonov K. A., Nesterenko S. G., Vyatkin K. I. (2016) GIS support in the rational use of land resources in urban development. Scientific bulletin of construction. Volume 86. № 4. P. 283–286 [in Ukrainian].

4.Mamonov K. A. (2016) Geoinformation analysis of the real estate market. Urban planning and territorial planning. Issue 62. Part 1. P. 390–396 [in Ukrainian].

5.Mamonov K., Radzinskaya Y., Shterndok E. (2019) Geoinformation Analysis of Investment Land Attraction of City. International science and technology conference «Earth science». OP Conf. Series: Earth and Environmental Science, pp. 102–111 [in Ukrainian].

6.Mamonov K., Nalivayko T., Nalivayko T., Pomortseva O., Kobzan S. (2024) Modern approaches to studying the accuracy of determination of deformation values in geodesic monitoring of crane equipment. Ukrainian Metrological Journal. № 1. pp. 59–64. URL: http://umj.metrology.kharkov.ua/issue/view/17862 [in Ukrainian].

7.Zaichenko V. V. (2018) The role of territorial communities in ensuring the development of innovative integrated structures in conditions of decentralization. Central Ukrainian scientific bulletin. Economic sciences. Issue 1 (34). P. 21–32. URL: https://www.mnau.edu.ua/files/olimp/kon-gromadi/rez/28.pdf [in Ukrainian].

8.Mokii A. I., Pavlikha N. V., Naumenko N. S., Datsko O. I. (2018) Institutional support for innovative development of territorial communities of Ukraine. Regional economy. № 4. P. 17–27 [in Ukrainian].

9.Tomashuk I. (2020) Features of formation and use of innovative potential of rural territories of Ukraine. Slovak international scientific journal. № 46. Vol. 2. P. 27–42 [in Ukrainian].

‘0.Palekha Yu. M. (2008) Spatial analysis of the value of territories of settlements of Ukraine and their monetary assessment. Ukrainian Geographical Journal. № 1. P. 57–61 [in Ukrainian].

11.Shipulin V.D. (2010) Basic principles of geoinformation systems: teaching. manual Kharkiv. 313 p [in Ukrainian].

12.Mamonov K. A., Vyatkin K. I., Nesterenko S. G. (2017) Geoinformation technologies for the transport industry of urban construction. Modern technologies and calculation methods in construction. Issue 6. P. 56–63 [in Ukrainian].

13.Mamonov K. A., Liu Chan, Kanivets O. M. (2022) Development of the method of integral assessment of land use of united territorial communities. Communal management of cities. Volume 4. Issue 171. P. 87–91 [in Ukrainian].

УДК 528.9:332.3:004 **DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-214-220**
UDC 528.9:332.3:004

РОЗРОБКА НАУКОВО ОБҐРУНТОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕОПРОСТОРОВОГО РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

DEVELOPMENT OF SCIENTIFICLY BASED RECOMMENDATIONS FOR ENSURING GEOSPATIAL DEVELOPMENT OF TERRITORIAL COMMUNITIES



***Халіков Сергій Анатолійович**, здобувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна,*
e-mail: serhii.khalikov@kname.edu.ua

https://orcid.org/0009-0005-7439-9864

Анотація: Доведена актуальність та необхідність розробки напрямів забезпечення геопросторового розвитку територіальних громад на основі науково обґрунтованих рекомендацій.

Досягнута мета дослідження щодо розробки науково обґрунтованих рекомендацій щодо забезпечення геопросторового розвитку територіальних громад. Вирішені наступні завдання: визначені напрями зростання чинників забезпечення геопросторового розвитку територіальних громад; обґрунтовано геопросторовий інструментарій забезпечення геопросторового розвитку територіальних громад.

Геопросторовий розвиток територіальних громад розглядається як системна категорія, що визначається комплексом функціональних, просторових, містобудівних, екологічних, нормативно-правових, безпекових, інвестиційних, стейкхолдерних, інфраструктурних, соціальних, інноваційних чинників та спрямований на формування більш якісного середовища функціонування територіальних громад.

Дістало подальшого розвитку науково обґрунтовані рекомендації відносно забезпечення геопросторового розвитку територіальних громад, які базуються на результатах інтегральної оцінки, математичного моделювання та прогнозування чинників, що дозволило визначити напрями забезпечення геопросторового забезпечення, розробити геоінформаційні моніторингові карти та організаційно-просторовий механізм, враховуючи особливості функціонування територіальних громад та регіональні аспекти їх діяльності.

Ключові слова: геопросторовий розвиток, територіальні громади, землеустрій, геоінформаційні системи, використання земель, інтегральний показник рівня забезпечення геопросторового розвитку територіальних громад, науково обґрунтовані рекомендації, геоінформаційні моніторингові карти, організаційно-просторовий механізм.

Вступ. Для забезпечення ефективності функціонування територіальних громад (ТГ) як важливого елементу місцевого самоврядування, актуальним питанням є переосмислення підходів до забезпечення їх розвитку. За останні роки спостерігається гальмування процесів ефективності діяльності ТГ внаслідок трансформаційних процесів, що віддзеркалюються в уповільненні формування та використання просторового й містобудівного забезпечення, ефективності використання земель та інших об’єктів нерухомості, нарощуванням екологічних проблем, скорочення безпекового рівня.

Поряд з цим, сформовано та застосовується нормативно-правове забезпечення функціонування територіальних громад: Закони України «Про регулювання містобудівної діяльності», «Про землеустрій», «Про місцеве самоврядування в Україні», «Про добровільне об'єднання територіальних громад», «Про співробітництво територіальних громад», Постанови Кабінету міністрів України «Деякі питання надання субвенції з державного бюджету місцевим бюджетам на розроблення комплексних планів просторового розвитку територій територіальних громад», «Про визначення формату електронних документів комплексного плану просторового розвитку території територіальної громади, генерального плану населеного пункту, детального плану території», «Про затвердження порядків з питань відновлення та розвитку регіонів і територіальних громад».

Визначено несистемний характер використання сучасних геоінформаційних систем, які дозволяють забезпечити моделювання та реалізацію моніторингових процедур чинників розвитку територіальних громад.

Крім того, на недостатньому рівні обґрунтовані концептуальні підходи та сформовано категоріальний апарат до визначення геопросторового розвитку територіальних громад.

Таким чином, тема дослідження щодо забезпечення геопросторового розвитку територіальних громад шляхом розробки та реалізації відповідних науково обґрунтованих рекомендацій є актуальною.

Метою дослідження є розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо забезпечення геопросторового розвитку територіальних громад. Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні завдання:

– визначення напрямів зростання чинників забезпечення геопросторового розвитку територіальних громад;

– обґрунтування геопросторового інструментарію забезпечення геопросторового розвитку ТГ.

Огляд наукових розробок. Узагальнення існуючих теоретичних положень [1–4] дозволило обґрунтувати поняття геопросторового розвитку територіальних громад, яке розглядається як системна категорія, що визначається комплексом функціональних, просторових, містобудівних, екологічних, нормативно-правових, безпекових, інвестиційних, стейкхолдерних, інфраструктурних, соціальних, інноваційних чинників та спрямований на формування більш якісного середовища функціонування ТГ.

Для розробки науково обґрунтованих рекомендацій формується кількісна основа, напрями та підходи до побудови якої представлені у роботах [5–7].

Поряд з цим, в існуючих теоретичних підходах на недостатньому рівні сформовані науково обґрунтовані рекомендації забезпечення геопросторового розвитку територіальних громад.

Виклад основного матеріалу. Запропоновані науково обґрунтовані рекомендації забезпечення геопросторового розвитку територіальних громад відповідно чинників, що визначаються напрямами та особливостями функціонування ТГ та регіональними аспектами.

Визначена необхідність зростання чинників, що визначають напрями та особливості функціонування територіальних громад на 7% і більше за рахунок:

– забезпечення ефективного функціонування громад; розроблення, затвердження, реалізації, проведення моніторингу та оцінювання реалізації стратегій розвитку територіальних громад; зростання впливу процесів децентралізації на функціонування територіальних громад; активізації напрямів використання геоінформаційних систем у ТГ; розвитку партнерських та договірних умов;

– зростання рівня формування та застосування просторового забезпечення територіальних громад; наявності просторової інформації у територіальних громадах; можливостей та застосування геодезично-картографічного забезпечення для геопросторового розвитку територіальних громад;

збільшення рівня формування та використання інфраструктури геопросторових даних у системі функціонування ТГ; активізації застосування геоінформаційних систем для забезпечення управління земельно-майнових комплексів територіальних громад; збільшення ефективності формування та функціонування організаційної структури для створення та використання просторової інформації територіальних громад;

– забезпечення інтегрованого розвитку території територіальної громади; зростання рівня розробки та реалізації комплексного плану просторового розвитку території територіальної громади; програм комплексного відновлення території територіальної громади (її частини); забезпечення моніторингу виконання комплексного плану просторового розвитку території територіальної громади; моніторингу виконання програм комплексного відновлення території територіальної громади (її частини);

– забезпечення екологізації функціонування територіальних громад; зростання рівня розробки та реалізації екологічних програм у ТГ; забезпечення ефективності формування та застосування організаційної структури у територіальних громадах щодо забезпечення екологічної безпеки; збільшення рівня застосування сучасних технологій відносно формування екологічної безпеки ТГ;

– забезпечення економічної, соціальної, інформаційної, екологічної, фізичної, енергетичної, політичної, військової, техногенної безпеки територіальних громад;

– забезпечення стимулювання інвестиційної діяльності на території пріоритетного розвитку; зростання рівня повноважень органів місцевого самоврядування та їх виконавчих органів у сфері управління територією пріоритетного розвитку; забезпечення гарантій та обов'язків інвесторів, що функціонують на територіях пріоритетного розвитку; забезпечення контролю та нагляду за інвестиційною діяльністю на території пріоритетного розвитку; формування та забезпечення інвестиційної привабливості територіальних громад; оптимізація видатків місцевих бюджетів на одного мешканця територіальних громад за регіонами;

– зростання рівня стейкхолдерних відносин ТГ;

– зростання рівня ефективності формування та використання інфраструктури територіальних громад;

– збільшення рівня соціального забезпечення територіальних громад;

– зростання рівня формування та реалізації інноваційних напрямів для забезпечення функціонування територіальних громад.

Запропоновано зростання регіональних чинників геопросторового розвитку територіальних громад на 4% і більше за рахунок:

– створення умов та забезпечення доступу до достатнього, безпечного і недорогого житла та основних життєвих послуг; розвитку надійної, безпечної та зручної транспортної та іншої інфраструктури (з дотриманням принципів універсального дизайну, тобто для осіб з обмеженими можливостями, жінок з дітьми, людей похилого віку тощо); розвитку поселень і територій виключно на засадах комплексного і сталого планування (на підставі генеральних планів) та управління за участю громадськості на принципах сталого розвитку за умови збереження наявних та визначення нових об'єктів культурної і природної спадщини; розвитку системи оповіщення населення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій, а також запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, забезпечення реагування на них і подолання їх наслідків; мінімізації негативного впливу за будь-яким виміром (екологічний, безпековий тощо) на життя і здоров'я жителів; зростання рівня формування та застосування геоінформаційних систем на регіональному рівні;

– рівні визначення напрямів пріоритетного розвитку територій; забезпечення функціонування Державного реєстру сертифікованих інженерів-геодезистів; забезпечення саморегулювання у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності; зростання ефективності державного управління у сфері топографо-геодезичної та картографічної діяльності; забезпечення ефективності діяльності топографо-геодезичних і топографічних робіт ефективності функціонування картографо-геодезичного фонду України; забезпечення порядку користування та фінансування топографо-геодезичними і картографічними матеріалами та даними; забезпечення охорони геодезичних пунктів та державного геодезичного нагляду; забезпечення відповідальності за порушення законодавства в сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності; здійснення міжнародного співробітництва; зростання рівня формування картографі-геодезичних матеріалів; збільшення рівня формування та використання інфраструктури геопросторових даних регіонів; можливостей та використання геоінформаційних систем для управління відносинами у сфері земельно-майнового комплексу на регіональному рівні; розвитку програм щодо використання геоінформаційних систем на регіональному рівні; рівня обстеження та оновлення пунктів Державної геодезичної мережі (ДГМ);

– забезпечення рівня взаємодії стейкхолдерів у сфері містобудування; зростання ефективності управління у сфері містобудівної діяльності, державного архітектурно-будівельного контролю та нагляду; організації планування та забудови територій; нормативного планування та забудови територій; фінансування робіт із планування та забудови територій; здійснення зонування, генерального планування територій; зростання ефективності формування та застосування містобудівного моніторингу; формування, ведення та інформаційного й організаційного забезпечення системи містобудівного кадастру; врахування даних, що характеризують функціонування будівельної сфери на регіональному рівні;

– забезпечення розробки та реалізації державних цільових та інших екологічних програм; зростання рівня освіти і виховання в галузі охорони навколишнього природного середовища та здійснення наукових досліджень; ефективності управління в галузі охорони навколишнього природного середовища; забезпечення моніторингу навколишнього природного середовища та формування кадастрів природних ресурсів; забезпечення державного обліку об'єктів, що шкідливо впливають на стан навколишнього природного середовища; зростання рівня формування та використання екологічного інформаційного забезпечення та ін.

– зростання ефективності формування та використання законодавчого забезпечення на регіональному рівні щодо геопросторового розвитку;

– діяльності військових адміністрацій; здійснення органами місцевого самоврядування повноважень в умовах воєнного стану; відшкодування збитків, завданих під час введення воєнного стану або повернення майна, що збереглося; зростання відповідальності і контролю в умовах воєнного стану; збільшення ефективності діяльності органів місцевого самоврядування у сфері оборони; забезпечення територіальної оборони та цивільного захисту; зростання рівня організації і порядку проведення мобілізаційної підготовки та мобілізації; забезпечення екологічної; фізичної; енергетичної; політичної; військової; техногенноїбезпеки на регіональному рівні;

– забезпечення реалізації прав суб’єктів інвестиційної діяльності; забезпечення відносин між суб’єктами інвестиційної діяльності формування та використання джерел фінансування інвестиційної діяльності; створення партнерських відносин щодо державного регулювання інвестиційної діяльності; забезпечення захисту та гарантій здійснення інвестицій; іноземних інвестицій; зростання ефективності стейкхолдерних відносин у сфері формування та використання іноземних інвестицій;

– зростання рівня формування та реалізації стейкхолдерних відносин на регіональному рівні щодо забезпечення геопросторового розвитку ТГ забезпечення взаємодії органів регіональної влади та ТГ щодо геопросторового розвитку;

– забезпечення ефективності державної політики у сфері захисту критичної інфраструктури; формування та використання критичної інфраструктури; функціональних стейкхолдерних відносин щодо формування та використання критичної інфраструктури; формування та реалізації організаційних засад національної системи захисту критичної інфраструктури; розробки та реалізації інфраструктурних проектів щодо відновлення земельно-майнового комплексу на регіональному рівні;

– забезпечення формування та функціонування системи надання соціальних послуг;

– забезпечення ефективності державного регулювання інноваційної діяльності; взаємодії стейкхолдерів у сфері забезпечення інноваційної діяльності; правового режиму інноваційних проектів, продуктів і продукції, інноваційних підприємств; зростання рівня фінансової підтримки інноваційної діяльності; міжнародного співробітництва у сфері інноваційної діяльності.

Для формування та реалізації напрямів геопросторового розвитку територіальних громад особливого значення має застосування та використання геоінформаційних систем.

У результаті дослідження визначено, що для формування та застосування геоінформаційних систем забезпечення геопросторового розвитку територіальних громад застосовується інформаційно-аналітичне забезпечення, база даних щодо функціональних, просторових, містобудівних, екологічних, нормативно-правових, безпекових, інвестиційних, стейкхолдерних, інфраструктурних, соціальних, інноваційних чинників, застосування інструментарію геоінформаційного аналізу. Застосовуючи інструментарій геоінформаційних систем, побудовані моніторингові геоінформаційні карти прогнозування змін інтегрального показника рівня забезпечення геопросторового розвитку територіальних громад залежно від зростання групових показників, що характеризують напрями та особливості функціонування територіальних громад і регіональні аспекти.

У результаті дослідження розроблені моніторингові геоінформаційні карти, які дозволяють своєчасно визначати напрями та особливості геопросторового розвитку територіальних громад і своєчасно реагувати на негативні тенденції, які виникають у системі функціонування ТГ.

Узагальнюючи існуючи теоретичні положення та практичні аспекти, результати дослідження напрямів, особливостей та оцінки рівня геопросторового розвитку територіальних громад, у рамках науково обґрунтованих рекомендацій, розроблено організаційно-просторовий механізм забезпечення геопросторового розвитку ТГ.

Організаційно-просторовий механізм забезпечення геопросторового розвитку територіальних громад включає організаційно-аналітичне та просторове забезпечення, теоретичні узагальнення й законодавчі акти, що дозволяє визначити функціональні, просторові, містобудівні, екологічні, нормативно-правові, безпекові, інвестиційні, стейкхолдерні, інфраструктурні, соціальні, інноваційні чинники забезпечення геопросторового розвитку територіальних громад. У рамках представленого механізму застосовується багаторівнева система показників та інтегральний методи оцінки рівня забезпечення геопросторового розвитку ТГ. На основі інструментарію математичного моделювання встановлюються причинно-наслідкові зв’язки між чинниками геопросторового розвитку та інтегральним показником і узагальнюючим чинником регіонального розвитку. Це дозволило здійснити прогнозування їх змін та побудувати кількісну основу для розробки та реалізації науково обґрунтованих рекомендацій забезпечення геопросторового розвитку ТГ. Узагальнюючим елементом організаційно-просторового механізму є моніторингові геоінформаційні карти, побудова яких здійснюється на основі сучасного інструментарію геоінформаційних систем, застосування яких

дозволяє визначати тенденції геопросторового розвитку та своєчасно реагувати на негативні явища, що виникають у системі функціонування територіальних громад, враховуючи вплив регіональних аспектів та особливостей.

Висновки. Отже, дістало подальшого розвитку науково обґрунтовані рекомендації відносно забезпечення геопросторового розвитку територіальних громад, які базуються на результатах інтегральної оцінки, математичного моделювання та прогнозування чинників, що дозволило визначити напрями забезпечення геопросторового забезпечення, розробити геоінформаційні моніторингові карти та організаційно-просторовий механізм, враховуючи особливості функціонування територіальних громад та регіональні аспекти їх діяльності.

Перелік посилань

1. Безуглий О. В. Територіальна громада в Україні: напрями та чинники сталого розвитку: автореф. дис. ... канд. наук з держ. упр.: 25.00.04. Нац. акад. держ. упр. при Президентові України. Харків, 2008. 20 с.

2. Васильєва О. І., Васильєва Н. В. Концептуальні засади сталого розвитку територіальних громад. Державне управління. Інвестиції: практика та досвід. 2018. Вип. 8. С. 74–78.

3. Пронько Л. М., Затайдух К. Ю., Чорний Я. І. Економічний розвиток територіальних громад: сутність, особливості та стратегічні перспективи. Економіка та суспільство. Менеджмент. 2024. Вип. 29. URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/3428/3356.

4. Струк Н. П. Соціально-економічний розвиток територіальних громад і місцеве оподаткування: взаємозв'язок та взаємовплив. Ефективна економіка. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7864

5. Мамонов К. А., Величко В. А., Поморцева О. Є., Грянік В. О. Стандартизація оцінки площ лісового господарства для формування геопросторового забезпечення моніторингу використання земель. Український метрологічний журнал. 2023. №1. С. 53–60.

6. Mamonov K., Nalivayko T., Nalivayko T., Pomortseva O., Kobzan S. Modern approaches to studying the accuracy of determination of deformation values in geodesic monitoring of crane equipment. Український метрологічний журнал. 2024. № 1. С. 59–64. URL: http://umj.metrology.kharkov.ua/issue/view/17862.

7. Мамонов К. А., В'яткін Р. С., Штерндок Е. С., Штерндок А. В. Математичне моделювання чинників використання земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів. Комунальне господарство міст: Харків : Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова. Серія: Інженерні науки і архітектура. 2024. Том 1. Вип. 182. С. 132–136. DOI: https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-1-182-132-136.

DEVELOPMENT OF SCIENTIFICLY BASED RECOMMENDATIONS FOR ENSURING GEOSPATIAL DEVELOPMENT OF TERRITORIAL COMMUNITIES

Serhii Khalikov, Graduate student of the Department of Land Administration and Geoinformation Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (Kharkiv, Ukraine), e-mail: serhii.khalikov@kname.edu.ua, ORCID: https://orcid.org/0009-0005-7439-9864

Summary. The relevance and necessity of developing directions for ensuring the geospatial development of territorial communities on the basis of scientifically based recommendations has been proven.

The goal of the research on the development of scientifically based recommendations for ensuring the geospatial development of territorial communities has been achieved. The following tasks were solved: the directions of growth of the factors of ensuring the geospatial development of territorial communities were determined; the geospatial toolkit for ensuring the geospatial development of territorial communities is substantiated.

Geospatial development of territorial communities is considered as a systemic category defined by a complex of functional, spatial, urban planning, ecological, regulatory, security, investment, stakeholder, infrastructural, social, innovative factors and aimed at forming a better environment for the functioning of territorial communities.

Scientifically based recommendations regarding the provision of geospatial development of territorial communities, which are based on the results of integral assessment, mathematical modeling and forecasting of factors, have been further developed, which made it possible to determine the directions of provision of geospatial provision, to develop geo-informational monitoring maps and an organizational-spatial mechanism, taking into account the peculiarities of the functioning of territorial communities and regional aspects of their activities.

Keywords: geospatial development, territorial communities, land management, geoinformation systems, land use, integral indicator of the level of provision of geospatial development of territorial communities, scientifically based recommendations, geoinformation monitoring maps, organizational and spatial mechanism.

References

1. Bezugliy O. V. (2008) Territorial community in Ukraine: trends and factors of sustainable development: autoref. thesis ... candidate sciences from state control: 25.00.04. Kharkiv, 20 [in Ukrainian].

2. Vasylieva O. I., Vasylieva N. V. (2018) Conceptual principles of sustainable development of territorial communities. Governance. Investments: practice and experience. 8, 74–78 [in Ukrainian].

3. Pronko L. M., Zataydukh K. Yu., Chornyi Y. I. (2024) Economic development of territorial communities: essence, features and strategic perspectives. Economy and society. Management. 29. Access from the Internet: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/3428/3356 [in Ukrainian].

4. Struk N. P. Socio-economic development of territorial communities and local taxation: relationship and mutual influence. Efficient economy. Access from the Internet: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7864 [in Ukrainian].

5. Mamonov K. A., Velychko V. A., Pomo rtseva O. E., Hryanik V. O. (2023) Standardization of forestry area assessment for the formation of geospatial support for land use monitoring. Ukrainian Metrological Journal. 1, 53–60 [in Ukrainian].

6. Mamonov K., Nalivayko T., Nalivayko T., Pomortseva O., Kobzan S. (2024) Modern approaches to studying the accuracy of determination of deformation values in geodesic monitoring of crane equipment. Ukrainian Metrological Journal. 1, 59–64. Access from the Internet: http://umj.metrology.kharkov.ua/issue/view/17862 [in Ukrainian].

7. Mamonov K. A., Vyatkin R. S., Sht erndok E. S., Shterndok A. V. (2024) Mathematical modeling of land use factors of objects of the nature reserve fund of regions. Communal management of cities. 1(182), 132–136. Access from the Internet: https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-1-182-132-136 [in Ukrainian].

UDC 624.21 **DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-221-232**
УДК 624.21

АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МОСТІВ УКРАЇНИ. НАЯВНІ ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

ANALYSIS OF THE CURRENT TECHNICAL CONDITION OF UKRAINIAN BRIDGES. EXISTING PROBLEMS AND PROSPECTS



Онищенко Артур Миколайович, *доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0002-1040-4530



Завгородній Сергій Сергійович, *завідувач відділу досліджень транспортних споруд, Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна, e-mail: serhiy.zavhorodniy@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0003-1928-4544

Анотація. Стаття присвячена аналізуванню поточного технічного стану мостів України, що є ключовим елементом транспортної інфраструктури країни. В умовах воєнного стану та поступового вичерпування ресурсу інфраструктури проблема забезпечення надійної експлуатації мостів набуває особливої актуальності. В статті розглянуто поточну ситуація з технічним станом мостів на дорогах державного та місцевого значення, наведено основні виклики, з якими стикається система управління мостами, та обґрунтовано необхідність систематичного підходу до їх обстеження.

Проаналізовано дані фактичних обстежень мостів за період з 2014 по 2024 роки, що дозволило виявити тенденцію до збільшення кількості обстежень на дорогах державного значення та значно меншу увагу до мостів на дорогах місцевого значення. Підкреслено важливість розширення практики проведення випробувань, особливо для споруд із прогонами довжиною понад 35 метрів та нетиповими конструкціями, де стандартні обстеження можуть бути недостатніми для повної оцінки технічного стану.

У статті також детально розглянуто нормативні та законодавчі аспекти обстеження мостів, що регулюються українським законодавством, зокрема Законом України «Про регулювання містобудівної діяльності», постановою Кабінету Міністрів України від 12 квітня 2017 року № 257, та іншими

нормативно-правовими актами. Наголошено на важливість дотримання встановлених норм та стандартів, таких як ДБН В.2.3-6:2009 «Мости та труби. Обстеження і випробування», що регламентують порядок і періодичність проведення обстежень.

Значна увага приділена питанням планування обстежень мостів та фінансовим аспектам, пов'язаним із їх виконанням. Наведено орієнтовну вартість обстеження мостів різних розмірів, а також запропоновано план обстежень на період з 2024 по 2027 роки. План передбачає поступове зниження кількості необстежених мостів на дорогах державного значення до повного покриття обстеженнями всіх споруд до кінця 2027 року. Це дозволить отримати актуальні дані щодо технічного стану мостів, оптимізувати витрати на їх експлуатаційне утримання та підвищити рівень безпеки на дорогах.

Вчасне та регулярне проведення обстежень і випробувань мостів є не лише необхідністю для забезпечення їх безпечної експлуатації, але й економічно доцільним кроком, що дозволяє зменшити витрати на подальше ремонтування. Запропонований підхід до управління технічним станом мостів сприятиме підвищенню надійності транспортної інфраструктури України, що, у свою чергу, позитивно вплине на економічний розвиток країни.

Ключові слова: міст, технічний стан, прогонова будова, обстеження, динамічне випробування, планування обстежень, утримання мостів.

Вступ. У ході російського вторгнення на територію Україну відбулись масові руйнування інфраструктури, включаючи житлові та цивільні будівлі, транспортні споруди та інші критичні об'єкти. Внаслідок ведення воєнних дій було зруйновано та пошкоджено близько 400 мостів та інших ключових елементів транспортної мережі України. Це призвело до порушення логістичних ланцюгів, що значно вплинуло на економічну діяльність країни. Економіка України зазнала серйозних збитків, оскільки необхідно перебудовувати логістичні системи та визначати нові маршрути для доставки товарів і гуманітарної допомоги. Це додатково збільшує навантаження на вже пошкоджену дорожню інфраструктуру, ускладнюючи забезпечення безперебійного постачання необхідних ресурсів.

Якщо проаналізувати реальний стан мостового господарства, то занепокоєння викликає не тільки ситуація з пошкодженими та зруйнованими спорудами у ході військових дій, а також з поточним технічним станом мостів на дорогах загального користування державного та місцевого значення та на вулицях та дорогах населених пунктів, яку наразі можна охарактеризувати як критичну, з погляду дотримання вимог чинних норм з обстеження [1, 2] та проведення заходів з експлуатаційного утримання [3].

Основними проблемами мостів України є їхній вік, особливості експлуатації у різні періоди, якість матеріалів, які використовувались при будівництві та вантажопідйомність. Близько 81 % мостів були побудовані до 1980 року, що потребує підвищеної уваги до їх обстеження та визначення фактичного технічного стану. Крім того, значне збільшення транспортного навантаження, що спостерігається останніми роками, прискорює процеси деградації мостів, що робить їх ще більш вразливими до зовнішніх впливів.

В умовах таких викликів проведення регулярних обстежень та випробувань мостів стає критично важливим завданням. Ці заходи дозволяють виявляти дефекти на ранніх стадіях та своєчасно розробляти заходи для їх усунення, що сприяє продовженню терміну служби мостів та забезпеченню безпеки транспортного руху.

Виклад основного матеріалу. Мостове господарство України є важливою складовою транспортної інфраструктури країни. На сьогоднішній день воно включає близько 28 тисяч споруд, розташованих на дорогах загального користування, залізничних магістралях, а також на вулицях та дорогах населених пунктів. Станом на липень 2024 року на підконтрольних територіях експлуатується приблизно 24 729 мостів. Розподіл мостів за видами доріг виглядає таким чином:

– дороги загального користування державного значення – 5 406 мостів;
– дороги загального користування місцевого значення – 9 433 моста;
– вулиці та дороги населених пунктів – 3 700 мостів;
– на залізниці (на балансі АТ «Укрзалізниця») – 6 190 мостів.

Загалом, поточний технічний стан мостів викликає серйозне занепокоєння (табл. 1). З наявної інформації випливає, що 2 239 мостів (9,1 % від загальної кількості) перебувають у непрацездатному стані, що означає їх неспроможність забезпечувати безпечне функціонування транспортних потоків. Ці мости потребують негайного проведення протиаварійних заходів та виконання капітального ремонтування. Додатково, 2049 споруд (8,3 %) знаходиться в обмежено працездатному стані, що також вимагає проведення ремонтних робіт і може включати обмеження на використання мостів або їх закриття до виконання відповідних заходів. Таким чином, майже чверть всіх транспортних споруд України потребує негайного втручання для відновлення їхньої працездатності.

Таблиця 1 – Кількість транспортних споруд в Україні відповідно до експлуатаційного стану, шт.
Table 1 – Number of bridge structures in Ukraine according to their operational condition, pcs.

Експлуатаційний стан	Автомобільні дороги загального користування		Вулиці і дороги в населених пунктах	Всього на залізничних лініях	**Всього транспортних споруд в Україні**
	державного значення	місцевого значення			
1 справний	124	10	150	370	**654**
2 обмежено справний	442	94	210	1 940	**2 686**
3 працездатний	2 126	693	950	2 170	**5 939**
4 обмежено працездатний	1 064	355	500	130	**2 049**
5 непрацездатний	415	54	190	1 580	**2 239**
Відсутня інформація	1 235	8 227	1 700	0	**11 162**
Всього	**5 406**	**9 433**	**3 700**	**6 190**	**24 729**

Ще одним критичним аспектом є відсутність інформації про технічний стан 11 162 мостів (45,14 % від загальної кількості). Це значна частка споруд, які можуть становити потенційну небезпеку, оскільки відсутність даних свідчить або про відсутність регулярних обстежень, або про втрату результатів таких обстежень. Особливо складною є ситуація на дорогах місцевого значення, де близько

87,2 % мостів не мають жодної інформації про їх поточний стан, а також у комунальних господарствах, де 45,9 % мостів залишаються без належного контролю.

Важливим фактором, що суттєво впливає на стан мостів, є їх вік. Значна частина мостів була збудована понад 60 років тому, і на сьогоднішній день вони фактично вичерпали свій проєктний ресурс. Такі мости складають суттєву частку від загальної кількості споруд на автомобільних дорогах та залізничних магістралях – це орієнтовно 10 600 мостів, що становить 42,9 % від загальної кількості. З цих мостів 5 570 споруд (52,5 %) перебувають у непрацездатному або обмежено працездатному стані, або ж їх технічний стан взагалі невідомий. Ці мости представляють особливий ризик для транспортної мережі і вимагають регулярних обстежень та визначення їх фактичного технічного стану для прийняття своєчасних рішень щодо їх ремонтування або реконструювання.

Окрім того, в Україні є мости, які були побудовані або реконструйовані після 1991 року. Загалом, таких споруд налічується близько 3 800, з яких орієнтовно 1 600 були побудовані з нуля, а 2 200 були реконструйовані. Незважаючи на їх новий вік, ці мости також потребують періодичного контролю та обстежень для забезпечення їх безпечної експлуатації, оскільки навіть нові конструкції можуть піддаватися впливу зовнішніх факторів, що впливають на їх стан.

Наявні виклики, пов'язані з технічним станом мостів в Україні, вимагають негайної уваги та систематичного підходу до обстеження, моніторингу та проведення ремонтних робіт для забезпечення безпеки та надійності транспортної інфраструктури країни.

В Україні існує чітко вибудована законодавча і правова база, яка регулює питання огляду та обстеження будівель і споруд, зокрема мостів, що є ключовими елементами транспортної інфраструктури. Ці заходи спрямовані на забезпечення обізнаності власників та балансоутримувачів з реальним технічним станом мостів, а також на гарантування безпечної експлуатації протягом усього терміну їхнього існування.

Основним документом, що регламентує порядок проведення оглядів і обстежень, є Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» [4]. Стаття 39-2 цього закону передбачає, що власники або управителі об'єктів будівництва зобов'язані забезпечувати регулярні огляди та періодичні обстеження прийнятих в експлуатацію об'єктів, включаючи мости. Мета обстежень – визначення фактичного стану споруд та оцінка їхньої відповідності вимогам безпеки, встановленим законодавством, а також прийняття необхідних заходів для забезпечення їх надійної та безпечної експлуатації. За неналежне виконання цих вимог власники або управителі несуть відповідальність згідно із законом.

Процедури, пов'язані з обстеженням мостів, регулюються також постановою Кабінету Міністрів України від 12 квітня 2017 року № 257 [5], яка визначає механізм проведення обстежень об'єктів будівництва, прийнятих в експлуатацію. Постанова охоплює також обстеження споруд, пошкоджених внаслідок надзвичайних ситуацій, військових дій або терористичних актів, з метою визначення можливості їх подальшої експлуатації або необхідності відновлення.

Особливу увагу в нормативно-правовій базі приділяють мостам, які належать до об'єктів із середніми та значними наслідками (клас наслідків СС2 та СС3). Згідно з Порядком проведення обстежень прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва, обов'язковому обстеженню підлягають мости на автомобільних дорогах та залізницях, які відповідають зазначеним класам наслідків. Визначення класу наслідків об'єктів проводиться відповідно до Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» [4] та інших нормативних актів, таких як ДСТУ 8855 [6] та ДБН В.2.3-22:2009 «Мости та труби. Основні вимоги проектування» [7].

Ключовим документом, що регулює проведення обстежень мостів, є ДБН В.2.3-6:2009 «Мости та труби. Обстеження і випробування» [1], який встановлює загальні правила обстеження та випробування мостів і труб, які перебувають в експлуатації. Норми поширюються на мости різних типів, у тому числі пішохідні мости та тунелі.

Для забезпечення правильного та ефективного виконання обстежень транспортних споруд важливе значення мають також стандарти, такі як ДСТУ 9123:2019 «Настанова з обстеження та випробування мостів і труб» та ДСТУ 9181:2022 «Настанова з оцінювання та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів». Ці стандарти встановлюють правила оцінювання технічного стану мостів, класифікацію дефектів і пошкоджень, методику розрахунку рейтингу мостів, а також процедуру класифікації експлуатаційного стану елементів мостів.

Також варто згадати про ДСТУ 8903:2019 «Мости автодорожні. Класифікація елементів» [8] та ДСТУ 8908:2019 «Мости автодорожні. Класифікація дефектів» [9], які визначають термінологію, класифікацію елементів мостів та типові дефекти, що можуть виникати під час експлуатації. Ці документи є важливими інструментами для фахівців, що займаються оглядом, обстеженням, паспортизацією та експлуатаційним утриманням мостів.

Відповідальність за належне проведення обстежень транспортних споруд лежить на власниках або балансоутримувачах, які повинні забезпечити виконання всіх вимог, передбачених законодавством та нормативними документами, з метою гарантування безпеки під час експлуатування мостів.

Вчасне проведення обстежень мостів є ключовим елементом у системі забезпечення безпеки та надійності транспортної інфраструктури. В умовах інтенсивного використання транспортних споруд та поступового вичерпування ресурсу інфраструктури, обстеження стають першочерговим завданням для виявлення проблем на ранніх стадіях та розроблення ефективних заходів для їх усунення.

Обстеження мостів дозволяє оцінити технічний стан споруди та виявити наявні дефекти, такі як тріщини, корозія, різноманітні пошкодження, замокання, деформації конструкцій тощо. Це надзвичайно важливо для прогнозування можливих ризиків і визначення необхідності проведення ремонтних робіт. Згідно з нормативами, регулярні обстеження повинні проводитись із суворим дотриманням встановленої періодичності. Це особливо актуально для споруд, які вже досягли граничного терміну експлуатації або перебувають у зонах з підвищеним транспортним навантаженням.

Однак, в окремих випадках звичайного обстеження може бути недостатньо для повного оцінювання стану мосту. У таких ситуаціях доцільним є проведення додаткових випробувань, які можуть надати більш детальну інформацію щодо технічного стану споруди. Випробування мостів можуть включати статичні та динамічні завантаження конструкцій споруд, вібраційні дослідження, модальні випробування та інші методи, які дозволяють визначити характеристики матеріалів, перевірити несні елементи, виявити приховані дефекти та оцінити стійкість конструкцій до навантажень.

Такі випробування є особливо важливими у випадках, коли необхідно прийняти рішення щодо подальшої експлуатації мосту, його ремонту або реконструкції. Наприклад, якщо в результаті обстеження було виявлено значні дефекти або ознаки деградації матеріалів, проведення випробувань може підтвердити або спростувати необхідність виконання капітального ремонту або навіть повної заміни окремих елементів конструкції. Випробування дозволяють експертам отримати точні дані, які є критично важливими для розробки технічних рішень, що забезпечать подальшу безпечну експлуатацію мосту.

Одним із прикладів ефективного використання динамічних випробувань є дослідження залізобетонного автодорожнього моста завдовжки 420 метрів [10], розташованого на заході України. Прогонова будова цього моста складається з десяти нерозрізних балкових прогонів, виконаних із 163 збірних залізобетонних блоків коробчастого перерізу (рис. 1), які об'єднані між собою за допомогою напруженої арматури.



Рисунок 1 – Прогонова будова, вид знизу
Figure 1 – Span structure, bottom view

Результати динамічних випробувань показали зниження власних частот прогонової будови на 3 % у порівнянні з даними 2003 року, що свідчить про зміни в технічному стані моста, зокрема про зменшення жорсткості конструкції. Подібне зниження частот могло бути викликане збільшенням маси моста або появою дефектів, таких як тріщини. Порівняння натурних і розрахункових форм коливань вказало на зменшення жорсткості в певних ділянках моста до 20 %.

Завдяки проведенню динамічного випробування вдалося виявити приховані тріщини в прогоновій будові (рис. 2), які не були б виявлені за допомогою звичайного обстеження. Виявлення таких дефектів на ранніх стадіях дозволить своєчасно вжити заходів для усунення проблеми та запобігти подальшому погіршенню стану моста та підвищенню безпеки його експлуатації. Цей приклад демонструє важливість і користь динамічних випробувань, які можуть надати додаткову інформацію, необхідну для повного розуміння стану складних конструкцій і прийняття обґрунтованих рішень щодо їх ремонтування або модернізації.



Рисунок 2 – Тріщина в залізобетоні зовнішнього канату підсилення праворуч у прогоні 7-8 на відстані 2 м від опори 7 з розкриттям до 1,5 мм

Figure 2 – Crack in the reinforced concrete of the outer reinforcement rope on the right in span 7-8 at a distance of 2 m from support 7 with an opening of up to 1.5 mm

З економічної точки зору, витрати на проведення обстежень і випробувань є виправданими та навіть необхідними. Регулярні обстеження дозволяють своєчасно виявляти дефекти та проводити профілактичні ремонти, що значно знижує ймовірність виникнення серйозних пошкоджень або аварій. Це, в свою чергу, дозволяє уникнути великих фінансових витрат на капітальне ремонтування або реконструкції, які можуть бути набагато дорожчими, якщо дефекти не будуть виявлені вчасно.

Наприклад, своєчасне виявлення та усунення корозійних процесів у несучих елементах мосту може запобігти їх подальшому розвитку, що в підсумку дозволяє зберегти конструкцію у робочому стані без необхідності проведення масштабних ремонтних робіт. Навпаки, якщо корозія або інші дефекти не будуть виявлені на ранніх стадіях, це може призвести до значного погіршення стану споруди, що вимагатиме проведення капітального ремонту або навіть повної реконструкції, витрати на які будуть неспіврозмірно вищими за витрати на регулярне обстеження.

Крім того, обстеження та випробування є важливими інструментами для планування витрат на утримання мостів. Вони дозволяють розробити довгострокову стратегію експлуатації та обслуговування, визначити пріоритетні об'єкти, які потребують негайного втручання, а також оцінити

майбутні витрати на ремонтні роботи. Це сприяє ефективному використанню фінансових ресурсів та забезпеченню стабільної експлуатації мостової інфраструктури.

Вчасне проведення обстежень та випробувань мостів є не лише питанням безпеки, але й економічної доцільності. Інвестування в регулярні обстеження та випробування дозволить уникнути великих фінансових витрат на аварійне ремонтування та реконструкцію, забезпечуючи довгострокову надійність та безпеку транспортної інфраструктури.

У період з 2014 по 2023 роки (табл. 2) кількість обстежень мостів в Україні демонструє тенденцію до зростання, що свідчить про підвищення уваги до підтримки мостової інфраструктури у належному стані. За цей період було проведено 3 324 обстеження транспортних споруд, що включають як планові, так і спеціальні обстеження, а також обстеження, проведені перед введенням споруди в експлуатацію.

Таблиця 2 – Фактичні обстеження мостів на дорогах загального користування (за інформацією наявною в ПК «АЕСУМ» станом на липень 2024 року)
Table 2 – Actual inspections of bridges on public roads (according to the information available in AESUM PC as of July 2024)

Види обстежень	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
Всього проведено обстежень	**181**	**204**	**329**	**257**	**131**	**183**	**385**	**455**	**222**	**672**
у т.ч. з випробуванням		1		2	1	5	3	5		11
у т.ч. що передують введенню в експлуатацію			1		1	6	1	7	7	17
планових обстежень	177	196	321	246	127	176	382	444	156	648
спеціальних обстежень	4	8	7	11	3	1	2	4	59	7
На дорогах державного значення	**174**	**119**	**243**	**228**	**131**	**172**	**370**	**455**	**222**	**609**
в т.ч. що передують введенню в експлуатацію			1		1	6	1	7	7	17
планових обстежень	171	113	236	220	127	165	367	444	156	586
спеціальних обстежень	3	6	6	8	3	1	2	4	59	6
На дорогах місцевого значення	**7**	**85**	**86**	**29**		**11**	**15**			**63**
у т.ч. що передують введенню в експлуатацію										
планових обстежень	6	83	85	26		11	15			62
спеціальних обстежень	1	2	1	3						1

Аналізування фактичних обстежень мостів на дорогах державного та місцевого значення показує, що з 2014 по 2019 роки кількість обстежень залишалася відносно стабільною та доволі низькою, з невеликими коливаннями від 131 до 329 обстежень на рік. Починаючи з 2020 року, спостерігається значне збільшення кількості обстежень, особливо на дорогах державного значення. Це пов'язано із збільшенням уваги до забезпечення безпеки та надійності мостів, що розташовані на

стратегічно важливих транспортних магістралях. Так, у 2020 році було обстежено 385 мостів, у 2021 році – 455, у 2023 році – 672, з яких 609 припадає на дороги державного значення. На противагу цьому, обстеження мостів на дорогах місцевого значення залишаються на дуже низькому рівні протягом усього періоду, що викликає серйозні занепокоєння щодо поточного технічного стану цих споруд. Це свідчить про недостатню увагу до місцевих транспортних мереж, які є важливими для забезпечення місцевого транспортного сполучення та підтримки економіки в регіонах.

Особливу увагу слід звернути на необхідність розширення практики проведення випробувань мостів, зокрема на спорудах з прогонами довжиною понад 35 метрів та нетиповими конструкціями прогонових будов. Наразі кількість проведених випробувань є відносно низькою, що вказує на недооцінку цього важливого інструменту діагностики. Динамічні та інші види випробувань дозволяють отримати додаткові дані, які не завжди можна виявити під час стандартного обстеження. Розширення практики випробувань дозволить точніше оцінювати технічний стан таких об’єктів, виявляти потенційні проблеми на ранніх стадіях та своєчасно планувати необхідні ремонтні роботи.

Планування проведення обстежень мостів є критичним та необхідним елементом для забезпечення безпеки транспортної інфраструктури. Відсутність планових обстежень може призвести до невчасного виявлення дефектів, що згодом може спричинити збільшення витрат на ремонтування або навіть аварійні ситуації. У зв’язку з цим, дотримання графіка обстежень і належне фінансування таких робіт має бути пріоритетом для держави та відповідних органів управління.

Станом на липень 2024 року, орієнтовна вартість проведення обстеження одного мосту в залежності від його розмірів та складності орієнтовно складає для малих мостів – 90 тисяч гривень з урахуванням ПДВ, для середніх мостів – 120 тисяч гривень з урахуванням ПДВ, для великих мостів – 180 тисяч гривень з урахуванням ПДВ. З огляду на обмежене фінансування та поточні можливості виконавців, в даній статті пропонується розглянути план обстежень мостів на дорогах державного значення на найближчі роки, що включає як повторні обстеження мостів, так і перші обстеження для об'єктів, щодо яких відсутня актуальна інформація про їхній експлуатаційний стан.

Кількість мостів на державних дорогах України становить 6 102 споруди, з яких на підконтрольних територіях знаходиться 5 406 мостів. Станом на 2024 рік, 1 235 споруд (22,8 %) на цих дорогах не було обстежено, що потребує негайного втручання. План на 2024 рік передбачає обстеження 650 мостів, з яких 300 обстежень будуть повторними, а 350 – першими обстеженнями. У результаті очікується, що до кінця року кількість необстежених мостів зменшиться до 885 споруд (16,4 %). Орієнтовний бюджет на виконання цих робіт складе 75 мільйонів гривень.

На 2025 рік заплановано обстеження 700 мостів, з яких 350 повторних і 350 перших обстежень. Очікується, що до кінця року кількість необстежених споруд знизиться до 535 (9,9 %). Орієнтовний бюджет на ці роботи становить 85 мільйонів гривень.

У 2026 році планується обстеження 800 мостів, з яких 450 обстежень будуть повторними, а 350 – першими. У результаті кількість необстежених споруд зменшиться до 185 (3,4 %), а орієнтовний бюджет на цей рік складе 97 мільйонів гривень.

Завершенням плану стане 2027 рік, протягом якого передбачається обстежити всі залишкові 850 споруд, з яких 663 обстеження будуть повторними, а 187 – першими. Після цього всі мости на дорогах державного значення України будуть обстежені, що забезпечить точну характеристику їх технічного стану та дозволить планувати подальші роботи з утримання і ремонтування. Орієнтовний бюджет на 2027 рік складе 105 мільйонів гривень.

Планування обстежень мостів є критично важливим процесом, що забезпечує довгострокову надійність та безпеку транспортної інфраструктури України. Виконання запропонованого плану обстежень на 2024-2027 роки дозволить не лише суттєво зменшити кількість необстежених транспортних споруд, але й створить основу для більш ефективного управління інфраструктурними об'єктами, оптимізації витрат на їх утримання та підвищення рівня безпеки на дорогах.

Перш за все, реалізація плану дозволить досягти повного покриття обстеженнями всіх мостів на дорогах державного значення до кінця 2027 року. Це забезпечить наявність актуальної інформації про технічний стан кожної споруди, що, у свою чергу, дозволить розробити обґрунтовані рекомендації щодо їх подальшої експлуатації, ремонтування або реконструкції. Отримання таких даних є важливим для прийняття стратегічних рішень щодо розвитку та модернізації транспортної інфраструктури.

Завдяки систематичному підходу до планування обстежень, буде можливо більш точно прогнозувати обсяги необхідних ремонтних робіт та планувати відповідні бюджети. Це сприятиме більш ефективному використанню державних коштів та дозволить уникнути непередбачених витрат, що можуть виникнути у разі раптового виявлення серйозних дефектів. Окрім того, наявність чітко структурованого плану обстежень забезпечить прозорість і контроль за виконанням робіт, що є важливим для забезпечення підзвітності та ефективного управління державними ресурсами.

Таким чином, реалізація запропонованого плану обстежень на 2024-2027 роки принесе значні позитивні результати, включаючи підвищення безпеки, оптимізацію витрат, покращення управління інфраструктурою та забезпечення стабільної експлуатації мостів на дорогах державного значення. Це є важливим кроком на шляху до модернізації та розвитку транспортної системи України, що сприятиме економічному зростанню та підвищенню якості життя населення.

Висновки. Відповідно до наведеного аналізування поточного технічного стану мостів України спостерігаються серйозні проблеми, які вимагають негайного втручання. Значна частина мостів перебуває у непрацездатному або обмежено працездатному стані, що створює потенційну загрозу для безпеки дорожнього руху та функціонування транспортної інфраструктури країни. Особливо критичним є те, що для значної частини мостів відсутня актуальна інформація про їхній технічний стан, що ускладнює планування та виконання необхідних ремонтних робіт.

Необхідність систематичного підходу до обстеження мостів є очевидною. Регулярні обстеження, що доповнюються випробуваннями, дозволяють вчасно виявляти дефекти і визначати необхідні заходи для забезпечення безпеки експлуатації. Виконання запропонованого плану обстежень на 2024-2027 роки є важливим кроком для забезпечення повного покриття обстеженнями всіх мостів на дорогах державного значення, що забезпечить наявність актуальної інформації про технічний стан кожної споруди.

Розширення практики проведення випробувань мостів дозволить отримувати більш точні дані про їхній технічний стан і запобігати можливим аварійним ситуаціям. Це також сприятиме оптимізації витрат на утримання інфраструктури, оскільки своєчасне виявлення дефектів дозволяє уникнути масштабних ремонтів, які могли б стати необхідними у випадку відсутності належного контролю.

Загалом, реалізація запропонованого плану обстежень дозволить значно підвищити рівень безпеки на дорогах України, забезпечити ефективне управління транспортною інфраструктурою та сприятиме економічному зростанню країни через зниження ризиків і оптимізацію витрат на ремонтно-відновлювальні роботи.

Перелік посилань

1. ДБН В.2.3-6:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування.
2. ДСТУ 9181:2022 Настанова з оцінювання та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів.
3. ДСТУ 8989:2020 Настанова з утримання автодорожніх мостів.
4. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» – Доступ з інтернету. – www.rada.gov.ua.
5. Про порядок проведення обстеження прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва. постанова Кабінету міністрів України від 12.04.2017 року № 257 – Доступ з інтернету. – www.rada.gov.ua.
6. ДСТУ 8855:2019 Будівлі та споруди. Визначення класу наслідків (відповідальності).
7. ДБН В.2.3-22:2009 Мости та труби. Основні вимоги проектування.
8. ДСТУ 9123:2019 Настанова з обстеження та випробування мостів і труб.
9. ДСТУ 8908:2019 Мости автодорожні. Класифікація дефектів.
10. Редченко В. П., Завгородній С. С. Динамічні випробування мостів імпульсним навантаженням. Дороги і мости. Київ, 2023. Вип. 28. С. 185–194.

ANALYSIS OF THE CURRENT TECHNICAL CONDITION OF UKRAINIAN BRIDGES. EXISTING PROBLEMS AND PROSPECTS

Artur Onyshchenko, Doctor of Technical Science, Professor, Head of bridges, tunnels and hydraulic structures Department, National Transportation University Kyiv, Ukraine, e-mail: *onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com*, +380687771899, *https://orcid.org/0000-0002-1040-4530*

Serhii Zavhorodnii, Head of the Department of Transport Facilities Research, National Institute of Infrastructure Development (NIDI), Kyiv, Ukraine, *e-mail: serhiy.zavhorodniy@gmail.com https://orcid.org/0000-0003-1928-4544*

Summary. The article analyzes the current technical condition of Ukraine's bridges, which are a key element of the country's transportation infrastructure. In the context of martial law and the gradual depletion of infrastructure resources, the problem of ensuring reliable operation of bridges is of particular relevance. The article examines the current situation with the technical condition of bridges on roads of state and local importance, outlines the main challenges faced by the bridge management system, and justifies the need for a systematic approach to their inspection.

The data of actual bridge inspections for the period from 2014 to 2024 are analyzed, which revealed a tendency to increase the number of inspections on roads of national importance and much less attention to bridges on local roads. The importance of expanding the practice of testing is emphasized, especially for structures with spans longer than 35 meters and atypical structures, where standard inspections may not be sufficient to fully assess the technical condition.

The article also discusses in detail the regulatory and legislative aspects of bridge inspection regulated by Ukrainian legislation, in particular, the Law of Ukraine "On Regulation of Urban Development", Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 257 dated April 12, 2017, and other regulatory acts. The importance

of compliance with the established norms and standards, such as DBN B.2.3-6:2009 "Bridges and pipes. Inspection and Testing", which regulate the procedure and frequency of inspections.

Considerable attention is paid to the planning of bridge inspections and financial aspects related to their implementation. The approximate cost of inspection of bridges of different sizes is given, and the inspection plan for the period from 2024 to 2027 is proposed. The plan envisages a gradual reduction in the number of uninspected bridges on the roads of national importance until all structures are fully covered by inspections by the end of 2027. This will provide up-to-date data on the technical condition of bridges, optimize the cost of their maintenance and improve road safety.

Timely and regular inspection and testing of bridges is not only a necessity to ensure their safe operation, but also an economically feasible step that reduces the cost of subsequent repairs. The proposed approach to managing the technical condition of bridges will help to improve the reliability of Ukraine's transport infrastructure, which, in turn, will have a positive impact on the country's economic development.

Keywords: bridge, technical condition, span structure, inspection, dynamic testing, inspection planning, bridge maintenance.

References

1. DBN B.2.3-6:2009 Transport facilities. Bridges and pipes. Inspection and testing.
2. DSTU 9181:2022 Guidelines for the assessment and forecasting of the technical condition of road bridges.
3. DSTU 8989: 2020 Guidelines for the maintenance of road bridges.
4. The Law of Ukraine "On Regulation of Urban Development" - Access from the Internet. – www.rada.gov.ua. [in Ukrainian].
5. On the Procedure for Inspection of Commissioned Construction Objects. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 12.04.2017 No. 257 - Access from the Internet. – www.rada.gov.ua. [in Ukrainian].
6. DSTU 8855: 2019 Buildings and structures. Determination of the class of consequences (liability).
7. DBN B.2.3-22: 2009 Bridges and pipes. Basic design requirements.
8. DSTU 9123: 2019 Guidelines for inspection and testing of bridges and pipes.
9. DSTU 8908: 2019 Road bridges. Classification of defects.
10. Vasyl Redchenko, Serhii Zavhorodnii. Dynamic testing of bridges with impulse loading. Dorogi i mosti [Roads and bridges]. Kyiv, 2023. Iss. 28. P. 185–194 [in Ukrainian].

УДК 624.21
UDC 624.21

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-233-244

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ НЕУСТАЛЕНОГО РУХУ РІДИНИ

THEORETICAL BASES OF CALCULATION OF UNSTEADY FLUID MOTION



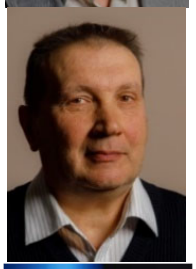
Паровенко Оксана Микитівна, *кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, Київ, Україна,*
e-mail: olenik.lia@gmail.com,

https://orcid.org/0000-0001-8872-8415



Медведєв Костянтин Володимирович, *кандидат фізико-математичних наук, доцент, професор кафедри мостів, тунелі та гідротехнічних споруд Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: kvmedvediev@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0002-0704-7093



Євсейчик Юрій Борисович, *кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри мостів, тунелі та гідротехнічних споруд Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: jura_ntu@ukr.net*

https://orcid.org/0000-0002-3507-4734



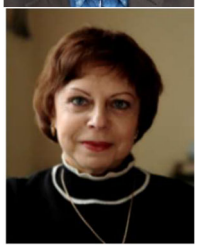
Корецький Андрій Сергійович, *кандидат технічних наук, доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, Київ, Україна,* e-mail: andriy.koretskyi@ntu.edu.ua

https://orcid.org/0000-0003-0307-0306



Снитко Валерій Пилипович, *кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: valeriysnytko49@gmail.com,*

https://orcid.org/0009-0003-0325-7899.



Святишенко Ірина Іванівна, *інженер, Національний транспортний університет, кафедра «Мости, тунелі та гідротехнічні споруди», Київ, Україна, e-mail: irina.svjatishenko@gmail.com,*

https://orcid.org/0000-0002-8905-0826.

Анотація. Важливою складовою для пропускної спроможності зрошувальних каналів є визначення параметрів протікання води. Отже метою проведення дослідження був розгляд умов протікання води, за яких у перерізах зрошувальних каналів і гідротехнічних споруд відбувається неусталений рух. Аналізування цих умов надасть можливість правильно визначити пропускну спроможність таких споруд, що є вкрай важливим для їхнього проєктування та ефективного експлуатування.

Основна проблема полягає у відсутності відповідних рекомендацій для врахування неусталеного руху при розрахунках пропускної здатності споруд на зрошувальних каналах. Тоді як для сталого руху такі рекомендації існують.

Таким чином, одним із завдань дослідження є визначення впливу граничних умов на характеристики руху в перерізах споруд під час неусталеного руху. Отримані результати будуть важливими для визначення пропускної здатності гідротехнічних споруд при різних режимах протікання потоку, що є ключовим для їхньої оптимальної роботи.

При реконструкції зрошувальних каналів одним із способів підвищення їхньої пропускної спроможності є збільшення геометричних розмірів. Проте, якщо розміри споруди залишити без змін, вона буде обмежувати русло каналу після його розширення, що спричинятиме утворення підпору біля споруди. Для вирішення питання про реконструкцію зрошувального каналу важливо врахувати, як впливатиме різний ступінь стиснення каналу спорудою на елементи потоку в умовах неусталеного руху. Вивчення цього питання допоможе визначити, спроможність наявної споруди без реконструкції забезпечити пропуск збільшених витрат води за допустимих рівнів після розширення каналу. Проведено низку числових експериментів, що враховують вплив різних показників на пропускну спроможність споруди.

Аналізування реальних умов руху потоку у зрошувальних каналах дозволило належним чином урахувати природу неусталеного руху при роботі зрошувальної системи вцілому. Розгляд зміни витрати води в перегороджувальній споруді, дозволить визначити, як зменшуються коливання витрати по мірі віддалення від споруди. Це явище відоме як розпластування або трансформація, і воно має важливе значення при розрахунках гідравлічних споруд у зрошувальних системах.

Ключові слова: неусталений рух, гідротехнічні споруди, зрошувальні канали, числові методи, граничні умови, режими протікання потоку.

Вступ. Проблема зрошування та обводнення мільйонів гектарів земель посушливих регіонів півдня України та поліпшення існуючого зрошувального землеробства завжди вважалась пріоритетним завданням сільського господарства. Будівництво систем іригації пов'язано з розширенням господарства та залученням нових сільськогосподарських територій, підвищенням промислового потенціалу, що супроводжується розвитком транспортної інфраструктури. Однак військові дії у південних регіонах України, особливо підрив Каховської ГЕС, поставили питання про відновлення та розбудови системи зрошувальних каналів у післявоєнний час.

Для відновлення сільського господарства південного регіону України необхідно будувати нові гідротехнічні споруди та реконструювати пошкоджені. Основною метою інженерних проєктів цієї галузі є розроблення нових конструкцій і вдосконалення методів розрахунку, що мають ґрунтуватись на глибокому розумінні фізичних принципів роботи споруд. Від правильного визначення розмірів споруд залежать економічні та експлуатаційні показники. Постає питання про доцільність та необхідність збільшення розмірів споруд у зв'язку з розширенням каналу. Якщо залишити споруду без зміни її розмірів, вона може стати перешкодою для русла каналу після його розширення, що призведе до утворення підпору біля споруди. Тому під час реконструкції зрошувальної мережі необхідно уважно розглядати, як граничні умови впливають на характеристики потоку. Крім того збільшення розмірів споруд призведе до зростання вартості будівництва та неефективного використання матеріалів.

Виклад основного матеріалу. Вирішення питання щодо доцільності реконструкції споруди в умовах відновлення каналу потребує врахування умов руху потоку на ділянках, поблизу від споруди.

Тільки проведення такого аналізу дозволить відповісти на питання, чи зможе наявна споруда забезпечити необхідний рівень витрати води після розширення каналу без її реконструкції.

Існуючі методи гідравлічного розрахунку споруд і відкритих русел переважно базуються на припущенні усталеного руху води, за якого приймають максимальний рівень витрати. Проте реальний процес руху потоку води в зрошувальних каналах залежить від фактора часу, тому під час розрахунку таких каналів і споруд необхідно враховувати неусталений рух. Це особливо актуально в контексті загальної тенденції переходу до автоматичного режиму регулювання подачі води в зрошувальних каналах [1].

Було розроблено різноманітні схеми регулювання води в каналі, такі як за нижнім б'єфом, за верхнім б'єфом, змішаного типу, з об'ємами, що перетікають, тощо. Важливо зазначити, що будь-яка з цих схем пов'язана з неусталеним рухом води.

Такий рух води також може бути спричинено змінами витрат або рівнів води в каналах, які відбуваються в результаті автоматичного регулювання або інших факторів.

Отже, при виконанні гідравлічних розрахунків зрошувальних каналів і споруд важливо враховувати неусталений рух води та вибирати відповідну схему регулювання, яка б ураховувала цей фактор [2].

Роботи відомих авторів, таких як Сен-Венан, Буссінеск, Масса, Форхгеймер, С.А. Християнович тощо, дали змогу створити гідравлічну теорію неусталеного руху. Основу цієї теорії складають рівняння Сен-Венана (1): рівняння руху (динамічне) та рівняння нерозривності (суцільності). Неусталений рух може бути розглянуто з різною повнотою, проте у випадку одновимірних задач ураховуються лише середні характеристики потоку.

$$i_0 = \frac{dh}{dS} = \frac{\alpha}{2g}\frac{dV^2}{dS} + \frac{\alpha_0}{g}\frac{dV}{dt} + \frac{V^2}{C^2 R}$$
$$\frac{d\omega}{dt} + \frac{dQ}{dS} = 0 \qquad (1)$$

де i_0 - ухил дна русла;
h – глибина потоку;
S – відстань;
α - коефіцієнт кінетичної енергії потоку;
α_0 - коефіцієнт кількості руху;
V – середня швидкість потоку;
g – прискорення сили тяжіння;
t - час;
C - швидкісний множник;
R – гідравлічний радіус;
Q – витрата;
ω - площа живого перерізу.

Розрахунок неусталеного руху у відкритих руслах ускладнюється тим, що потрібно інтегрувати рівняння, для визначення функцій $Q=f(t,S)$ і $H=f(t,S)$, які відповідають цим рівнянням за певних початкових умов. Рівняння Сен-Венана є нелінійними та містять змінні коефіцієнти, що робить знаходження інтегралів у явному вигляді складним завданням. Таким чином, існуючі методи розрахунку неусталеного руху є наближеними, оскільки точний аналітичний розв'язок рідко досяжний.

Основні рівняння неусталеного руху відповідають припущенню про повільні зміни руху рідини. Цей тип неусталеного руху часто називають "довгими хвилями" тому, що кривизна їхніх

миттєвих профілів незначна. У таких хвилях довжина перевищує висоту підйому рівня рідини, що виникає від них, і характеризується поступовими змінами. Під час розв'язання рівнянь Сен-Венана важливо вказати граничні та початкові умови.

Закон зміни в часі витрати води в початковому перерізі визначає ліву граничну умову, тоді як гідравлічний режим у кінцевому перерізі - праву граничну умову. Початкові умови містять положення рівня води та розподіл витрати по довжині на певний момент часу [3].

У разі наявності неусталеного руху води в руслі, максимальна витрата в кінцевому перерізі буде меншою ніж максимальна в початковому перерізі. Встановлена витрата в кінцевому перерізі визначає розрахункові дані для всіх наступних гідравлічних розрахунків, пов'язаних з визначенням характеристик споруди.

Точні результати регулюючої ємності русла та розпластування хвилі можна отримати шляхом розв'язання рівнянь неусталеного руху.

У відкритих руслах найповніше неусталений рух описується рівняннями Сен-Венана (1), які дозволяють урахувати резервну місткість русла. Розв'язання цих рівнянь за певних початкових і граничних умов дозволяє визначити значення витрати та глибини потоку з урахуванням резервної місткості. Процес руху хвилі в руслі пов'язаний з безперервною зміною витрати, швидкості, глибини та ухилу вільної поверхні потоку залежно від часу в кожному фіксованому створі.

Зв'язок між глибиною потоку і витратою води може бути виражений у вигляді функціональної залежності $Q=f(H)$, яку часто називають кривою витрати. У випадку сталого руху ця залежність є однозначною, тобто кожній витраті відповідає певна стала глибина води, і навпаки.

Проте під час неусталеного руху ця однозначність порушується через зміну ухилу вільної поверхні потоку з плином часу в одному і тому ж перерізі. Глибини, необхідні для пропуску певних витрат, у періоди зростання витрат менші, ніж у періоди спаду, що відрізняється від залежності $Q=f(H)$ у випадку сталого руху. Таким чином, залежність $Q=f(H)$ у випадку неусталеного руху має форму петлі з гілками підйому і спаду.

Залежність, що має петлеподібний вигляд, показує, що максимуми рівня, витрати та швидкості виникають у різний час під час неусталеного руху. Перший максимум, що відповідає швидкості, спостерігається у точці 1 (рисунок 1), другий максимум - витраті - у точці 2, а третій максимум - глибині - у точці 3.

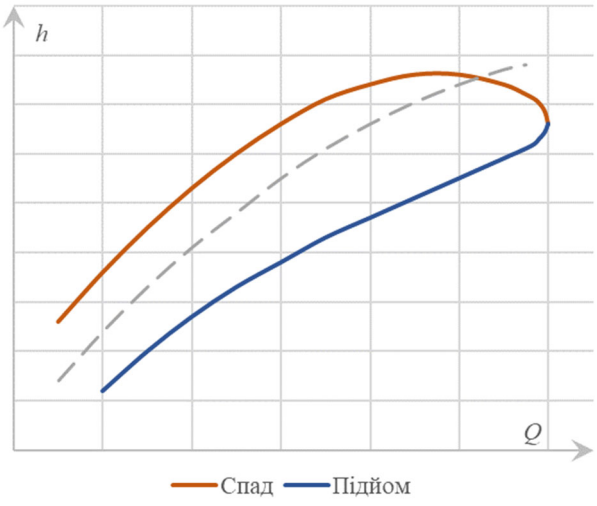


Рисунок 1 - Гілки підйому і спаду
Figure 1 - Branches of rise and fall

У міру віддалення від початкового створу форма кривої для цього допуску змінюється внаслідок розпластування хвиль. Це призводить до зменшення коливань витрати та скорочення розтягнутості петлі уздовж осей H і Q. Крім того, зменшується відхилення петлі від кривої під час сталого руху, що призводить до стиснення петлі до відрізка кривої.

Аналіз рисунку 1 показує необхідність проведення дослідження умов протікання неусталених потоків у перерізах споруд, розташованих на зрошувальних каналах, та визначення розрахункових параметрів потоку в цих перерізах. Що є важливим у процесі проєктування нових і реконструювання вже існуючих споруд. Це дозволить розробити практичні рекомендації щодо визначення їхньої пропускної спроможності.

Завданням розрахунку неусталеного руху на ділянках зрошувальних каналів, за наявності споруд на них, є визначення основних елементів потоку Q і h залежно від часу і положення створа по довжині русла. Для аналізування впливу досліджуваних чинників на елементи неусталеного потоку, а також для розроблення рекомендацій щодо врахування цих параметрів, було проведено розрахунки на основі числового методу розв'язування рівнянь Сен-Венана.

Результати раніше проведених досліджень дають змогу оцінити ступінь впливу різних чинників на елементи неусталеного потоку. До таких чинників можна віднести форму русла, коефіцієнт шорсткості та ухил дна (ширину і довжину русла, форму і параметри вихідного графіка попуску, швидкість підходу потоку в кінцевому перерізі).

Рівняння, що описують неусталений рух, є нелінійними зі змінними коефіцієнтами. Це система диференційних рівнянь у часткових похідних гіперболічного типу. Такі рівняння не мають аналітичної форми розв'язку. Основними методами розв'язання цих рівнянь є числові.

Розрахунок неусталеного руху в природних руслах (за достатніх вихідних даних) з найбільшою точністю можна виконати за допомогою метода неявної скінченно-різницевої схеми, використовуючи метод прогонки.

Метод прогонки має стійкий обчислювальний алгоритм, тобто під час округлення помилки похибки розв'язку не збільшуються. Цей метод складається з прямого прогону та зворотнього прогону.

Пряма прогонка полягає в тому, що ліва гранична умова є початковою і за допомогою скінченно-різницевої схеми отримуємо значення на правій границі, яке порівнюємо з відомими правими граничними умовами. З урахуванням отриманої різниці визначаються нові коефіцієнти для скінченно-різницевої схеми кожної точки всередині області.

Потім процес повторюється в протилежному напрямку - від правої межі до лівої. Визначаються шукані величини Q і h у кожній точці всередині області та на лівій границі за знайденими під час прямого прогону прогоночними коефіцієнтами та обчисленими значеннями шуканих величин на правій границі.

Проводячи розрахунки неусталеного руху за неявною скінченно-різницевою схемою методом прогонки, необхідно зупинитися на понятті стійкості. Скінченно-різницева схема називається стійкою, якщо малі похибки, допущені в процесі розв'язування, загасають або залишаються малими при необмеженому збільшенні номера поточного шару. Необхідною умовою стійкості обчислювального процесу є умова, яку представлено у вигляді:

$$\tau < \frac{c}{g\sqrt{\frac{R}{I}}}, \tag{2}$$

де τ - крок за часом;
R - гідравлічний радіус;
I - гідравлічний ухил;
c – швидкість розповсюдження малих збуджень;
g – прискорення вільного падіння.

У проведених розрахунках ураховували крок за часом, який приймали в досить широкому діапазоні від 0,001 сек. до 120 сек. Під час проведення розрахунків величина кроку за часом була прийнята у вигляді:

$$\tau = \frac{Q}{g\omega I}, \tag{3}$$

ω - площа живого перерізу.

Як показали подальші розрахунки прийнята величина кроку за часом дала необхідну стійкість обчисленням.

Необхідно також звернути увагу на існування залежності між кроком за часом τ і кроком за довжиною русла Δ, тому що точність розрахунку залежить від відношення Δ/τ. Правильний вибір величини кроку по довжини русла значно впливає на обчислення і точність розрахунку. Проведений аналіз показав, що збільшення кроку по довжині русла призводить до появи пилкоподібних коливань значень витрат і глибин (Q і h), при цьому відзначається, що діапазон коливань для витрат збільшується, а для глибин зменшується. З огляду на вищенаведене, взаємозв'язок кроку за часом τ і кроку за довжиною Δ має бути в межах $\Delta/\tau = 1 \div 3$.

Як початкові умови задавали рівень води і розподіл витрати по довжині русла в певний момент часу, який було прийнято за початковий період. При цьому для умов неусталеного руху води в зрошувальних каналах прийнято, що в початковий момент часу рух у руслі сталий рівномірний. Необхідно зазначити, що залежно від призначення каналу величина початкової глибини буде змінюватися. У зв'язку з цим для кожного нового значення початкової глибини слід визначати величину кроку за часом, а отже, і величину кроку по довжині. Значення Δ і τ, прийняті в розрахунках, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Значення Δ і τ залежно від початкової глибини h_0
Table 1 - Values of Δ and τ depending on the initial depth h_0

	Початкова глибина, h_0			
	0,1 м	0,5 м	1,0 м	2,0 м
τ, хв.	30	60	120	200
Δ, м	50	100	200	200

Для розв'язання рівнянь неусталеного руху необхідною умовою є визначення початкових умов, тобто слід задати положення рівня води та розподіл витрати за довжиною русла на момент часу, який приймають за початковий. Досвід експлуатації каналів показує, що початкові умови характеризуються відсутністю руху води (горизонтальна поверхня) або частіше наявністю рівномірного руху. Отже, параметри, що характеризують початкові умови, мають бути відомі й залежати від призначення каналу. Під час складання алгоритму для розв'язання поставленої задачі необхідно вирішити питання про вибір форм графіків попусків, які відповідали б найбільш характерним режимам роботи перегороджувальної споруди. Перегороджувальна споруда визначає собою умову на лівій межі розглянутої ділянки русла.

Натурні спостереження дали змогу чітко вирішити питання вибору форм графіків попусків для лівої граничної умови. Тобто витрата в споруді на лівій межі залежить від часу $Q=f(t)$. Побудовані графіки роботи таких споруд показали, що залежність $Q=f(t)$ мають складну форму. Більш детальний аналіз показав, що форма отриманих графіків поодиноких попусків, близька до трикутної або трапеціїдальної. У подальшому є можливим схематизувати подібні складні за обрисом графіки

попусків у простіші, трикутні. Така схематизація не дає великих розбіжностей у результатах розрахунків. В основних розрахунках було використано трикутну форму графіків попусків. Необхідно зазначити, що прийняття трикутної форми графіка попуску як лівої граничної умови, дає змогу проводити розрахунки для найневигідніших режимів експлуатації каналу. Трикутна форма графіка попуску сприяє різкому збільшенню і зменшенню витрати, і за такої форми графіку попуску жодного згладжувального ефекту не буде. У такому випадку елементи $Q=f(t)$ досягають *max* і *min* протягом короткого проміжку часу, і це різке коливання може бути причиною виникнення негативних явищ у руслі каналу.

Сучасні вимоги стану експлуатації зрошувальних каналів зумовлюють необхідність переходу на автоматичний режим регулювання подачі води в них через перегороджувальну споруду.

Станом на сьогодні існує багато різних схем регулювання подачі води. За таких умов попуск води в каналах проводиться за багатоінтервальним графіком, це пов'язано з питанням поліпшення експлуатації мережі зрошувальних каналів. Багатоінтервальні графіки попуску забезпечують не тільки нормальний режим роботи каналу, а й роботу всіх споруд під час аварійних ситуацій.

Проведені дослідження показують, що багатоінтервальні графіки попуску є оптимальними в питанні непродуктивних скидів води. Подібного роду попуски забезпечують перехід на стаціонарний режим у мінімально короткий час. На рисунках 2 і 3 представлено прийняті в розрахунках форми графіків попусків.

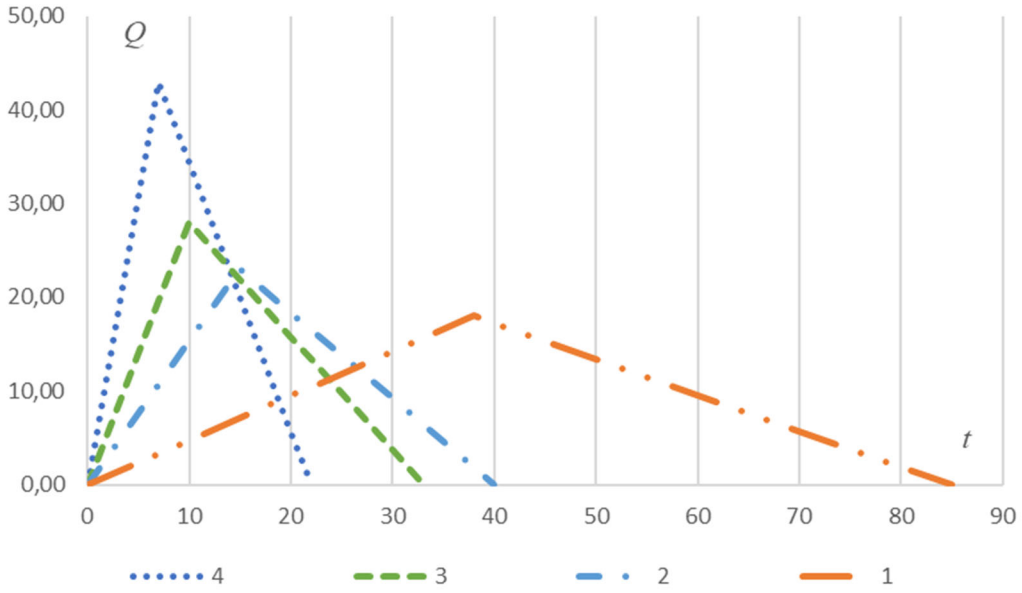


Рисунок 2 – Графік попусків
Figure 2 - Release schedule

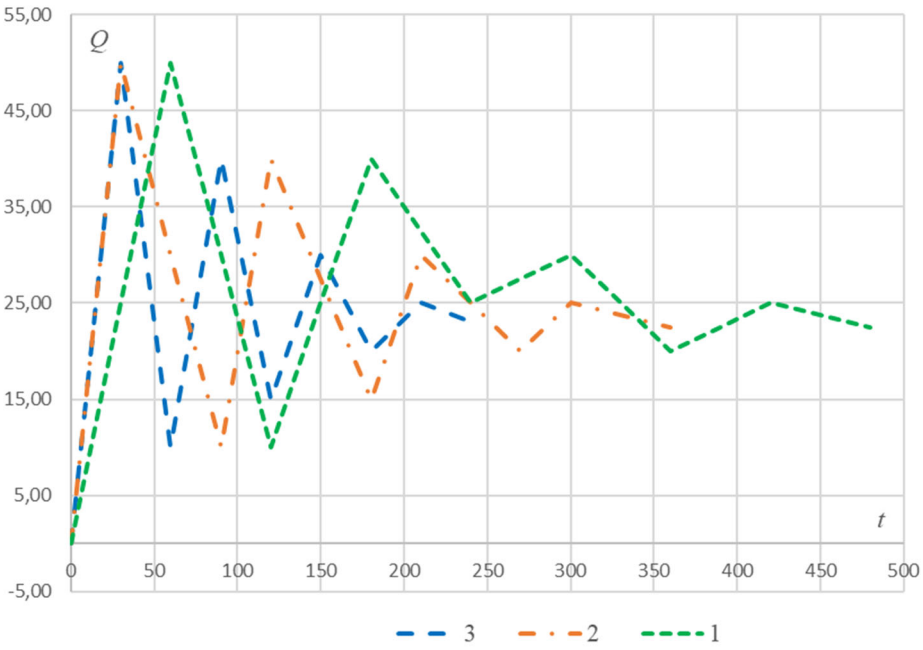


Рисунок 3 – Графік попусків
Figure 3 - Release schedule

Залежність витрати від часу для будь-якої форми графіка попусків представлено на рисунку 4:

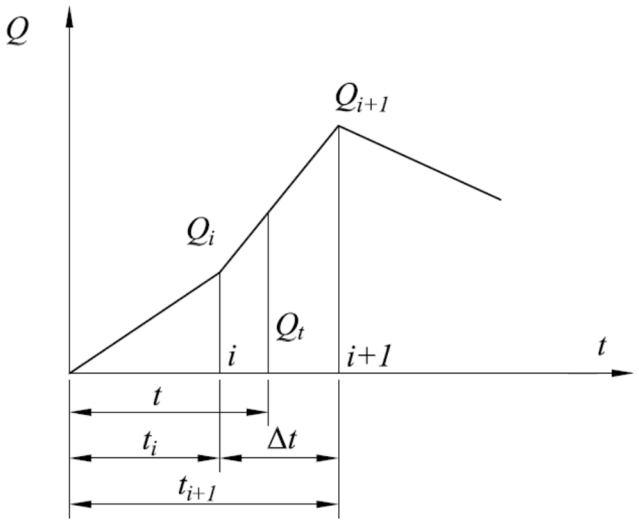


Рисунок 4 - Залежність витрати від часу
Figure 4 - Dependence of consumption on time

Графік залежності витрати від часу для будь-якої форми графіка попусків розраховано за формулою:

$$Q_t = Q_i + (Q_{i+1} + Q_i)\frac{t - t_1}{\Delta t_{i+1}}, \quad (4)$$

де Q_t - величина витрати на будь-який момент часу t;
Q_i - величина витрати на кінець інтервалу i ;
Q_{i+1} - величина витрати на кінці інтервалу i+1;
t_i - час у хвилинах від початку гідрографа до інтервалу i+1 ;
Δt_{i+1}- час у хвилинах, інтервалу i+1.

Для розв'язання задач щодо умов на правій границі було розглянуто дві форми поперечних перерізів каналів (прямокутний і трапецеїдальний) і дві форми підмостових перерізів (прямокутний і трапецеїдальний) [4]. У випадку, коли підмостовий переріз мав прямокутну форму, витрата визначалась за формулою:

$$Q = m\sigma_3 kb\sqrt{2g}H_0^{3/2}. \quad (5)$$

Позначимо $F = m\sigma_3 kb\sqrt{2g}$,

тоді, $Q = FH_0^{3/2}$,

де m - коефіцієнт витрати;
σ_3 - коефіцієнт затоплення;
k - коефіцієнт бічного стиснення, що залежить від відношення b/B;
b - ширина підмостового перерізу;
B – ширина русла каналу;
H_0 - гідродинамічний напір перед спорудою.

Звідси $\frac{dQ}{dh} = 1{,}5FH_0^{3/2}$.

Для випадку трапецеїдальної форми поперечного перерізу підмостового русла витрата визначалась за формулою:

$$Q = m\sigma_3 k\left(b + m_{cn}0{,}8H\right)\sqrt{2g}H_0{}^{3/2}, \quad (6)$$

де m_{cn} – коефіцієнт витрати споруди.

У разі трапецеїдальної форми русла та підмостового перерізу пропускну здатність споруди визначаємо за формулою:

$$\frac{dQ}{dh} = \frac{3}{2}H^{1/2}Fb_{cn} + \frac{5}{2}H^{3/2}F0{,}8m_{cn} = 1{,}5H^{3/2}Fb_{cn} + 2{,}5H^{3/2}F0{,}8m_{cn} = F\left(1{,}5H^{3/2}b_{cn} + 2H^{3/2}m_{cn}\right), \quad (7)$$

де H – гідродинамічний напір у перерізі споруди;
b_{cn} - ширина підмостового русла споруди.

У загальному пипадку коефіцієнти закладання укосів підмостового перерізу та русла каналу не дорівнюють один одному, що й ураховано в рівнянні (7).

Для розв'язання практичних завдань, пов'язаних з експлуатацією різних видів зрошувальних каналів і роботи гідротехнічних споруд, необхідно провести розрахунки, які дали б змогу врахувати вплив початкової глибини наповнення на розпластуваність потоку.

Обстеження гідротехнічних споруд показали, що вони можуть перебувати на різній відстані від перегороджувальної споруди. Проведені раніше дослідження дають змогу встановити вплив довжини русла (відстань, на якій розташована гідротехнічна споруда, від перегороджувальної споруди) на характеристики неусталеного руху. Але дослідження охоплюють лише параметри, що не повною мірою може бути віднесено до зрошувальних каналів. Наступний етап числового експерименту доповнює результати досліджень з визначення впливу відстані, на якій розташована споруда від початкового перерізу, на характеристики неусталеного потоку. Під початковим перерізом слід розуміти споруду, що перегороджує і визначає умову на лівій границі ділянки русла, що розглядається.

Гідротехнічна споруда, зазвичай, обмежує потік у плані, тобто отвір споруди приймається меншим ніж ширина потоку, що викликає підвищення рівня води у верхньому б'єфі, тобто перед спорудою. Але ступінь стиснення каналу спорудою може бути різним, у зв'язку з чим необхідно вирішити питання, як ступінь стиснення впливає на елементи потоку при нестаціонарному русі води. Це дасть змогу відповісти на одне з важливих питань - чи забезпечить наявна споруда без її реконструкції пропуск необхідних витрат води за допустимих рівнів після розширення каналу. З метою отримання більш достовірних результатів під час проведення числового експерименту вихідні дані було прийнято відповідно до реальних. Натурні спостереження роботи перегороджувальних споруд на зрошувальних каналах дали змогу правильно підійти до питання вибору параметрів графіків попусків. Значення коефіцієнта шорсткості та ухилу дна каналу було прийнято на підставі натурних спостережень та розрахунків [5].

На підставі цих спостережень ширина каналу прийнята такою, що дорівнює 10 м, а коефіцієнт закладення укосів русла $m = 0$ і $m = 3$, ширина каналу - b=10 м.

У результаті розрахунків отримано дані для кожної серії розрахунків. Результати отримано для *Q, h, V* у створі русла, зумовленого обраним кроком за довжиною, і через інтервал часу залежно від кроку за часом. Використовуючи ці дані, побудовано залежності $Q=f(t)$ і $H=f(t)$ на кожен момент часу (крок за часом) і $Q=f(l)$ у будь-якому створі з кроком за довжиною.

Висновки. У рамках дослідження було розглянуто умови протікання потоку в перерізах, розташованих поблизу від гідротехнічних споруд на зрошувальних каналах. Слід зауважити, що дослідження проводилося за умови поодиноких попусків (трикутних) та за наявності автоматичного регулювання водоподачі. Ці умови характеризуються багатоінтервальними затухаючими гідрографами.

Методика дослідження ґрунтувалась на проведенні числового експерименту та на його реалізації. В якості методу розрахунку було використано метод прогону за неявною різницевою схемою. Цей метод дозволив ефективно змоделювати процеси руху рідини в умовах неусталеного руху та вивчити їхні характеристики в перерізах споруд.

Проведені натурні спостереження підтвердили раніше виконані теоретичні розрахунки щодо визначення впливу різних чинників на характеристики неусталеного потоку. Аналіз робіт показав, що прийнята методика проведення числового експерименту не показала істотних розбіжностей між дослідними даними та результатами натурних спостережень. Виконані роботи показують, що розбіжність між розрахунковими та досвідченими даними менше ніж 5%.

У подальших етапах числового експерименту планується розширення кола досліджуваних факторів, зокрема вивчення впливу ухилу дна русла на характеристики неусталеного руху в зрошувальних каналах. Також планується розглянути вплив відстані між спорудами на їхню пропускну спроможність, що є ще одним важливим аспектом для розрахунків зрошувальних каналів.

Перелік посилань

1 Ткачук С.Г. Гідравліка, гідрологія, гідрометрія. Київ, «Кафедра», 2013 р., 390 с.

2 Гнатів Р.М.Б Тазалова Н.М. Класифікація неусталеного руху рідини. Львів, вид-во Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». –2013. –№ № 758

3 Константінов Ю.М., Гіжа О.А. «Інженерна гідравліка», К, вид-во, дім «Слово», 2006, 432 с.

4 Башкевич І.В., Євсейчик Ю.Б., Медведєв К.В., Паровенко О.М., Святишенко І.І. Вплив ступеня затоплення та стиснення на протікання потоку в отворі гідротехнічної споруди при неусталеному русі рідини/Зб. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2022, вип.111 – с.140-148.

5 Євсейчик Ю.Б., Медведєв К.В., Паровенко О.М., Святишенко І.І. Визначення коефіцієнту шорсткості для розрахунку потоку неусталеного руху рідини/Зб. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2022, вип.112 – с.163-169.

RESEARCH OF ASPECTS OF REDUCING ROAD TRAFFIC INJURIES BASED ON ABROAD EXPERIENCE

Oksana Parovenko, PhD (Candidate of Technical Science) , Associate Professor, Associate Professor of bridges, tunnels and hydraulic structures, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: olenik.lia@gmail.com, +380442807978, https://orcid.org/0000-0001-8872-8415,

Kostiantyn Medvediev, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, National Transport University, Department of Bridges, tunnels and hydraulic structures, Professor, e-mail: kvmedvediev@gmail.com, +380442807978, https://orcid.org/0000-0002-0704-7093.

Yurii Yevseichyk, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, National Transport University, Department of Bridges, tunnels and hydraulic structures, Associate Professor, e-mail:jura_ntu@ukr.net, +380442807978, https://orcid.org/0000-0002-3507-4734

Andrii Koretsky, PhD (Candidate of Technical Science) , Associate Professor, Associate Professor of bridges, tunnels and hydraulic structures, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: andriy.koretskyi@ntu.edu.ua tel.+3800505433772, https://orcid.org/0000-0003-0307-0306

Snytko Valerii. (Candidate of Technical Science), Associate Professor, Associate Professor of bridges, tunnels and hydraulic structures, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: valeriysnytko@ukr.net, тел. +380442807978, https://orcid.org/0000-0002-9530-4589

Sviatyshenko Iryna, National Transport University, Department of Bridges and tunnels, hydraulic structures, Engineer, e-mail irina.svjatishenko@gmail.com, +380442807978, https://orcid.org/0000-0002-8905-0826

Summary. An important component for the capacity of irrigation canals is the determination of water flow parameters. Therefore, the purpose of the study was to consider the conditions of water flow under which unsteady motion occurs in the cross-sections of irrigation canals and hydraulic structures. Analyzing these conditions will make it possible to correctly determine the capacity of such structures, which is extremely important for their design and efficient operation.

The main problem is the lack of appropriate recommendations for taking into account unsteady traffic when calculating the capacity of structures on irrigation canals. While such recommendations exist for steady-state traffic.

Thus, one of the objectives of the study is to determine the effect of boundary conditions on the characteristics of movement in cross sections of structures during unsteady flow. The results obtained will be important for determining the capacity of hydraulic structures under different flow regimes, which is key to their optimal operation.

When reconstructing irrigation canals, one of the ways to increase their capacity is to increase their geometric dimensions. However, if the dimensions of the structure are left unchanged, it will restrict the channel after it is widened, causing a backwater near the structure. When deciding on the reconstruction of an irrigation canal, it is important to consider how different degrees of compression of the canal by the structure will affect the flow elements under conditions of unsteady flow. Studying this issue will help determine the ability of the existing structure without reconstruction to ensure the passage of increased water flows at

acceptable levels after the canal expansion. A number of numerical experiments have been conducted that take into account the impact of various indicators on the capacity of the structure.

The analysis of the actual conditions of flow in irrigation canals made it possible to properly take into account the nature of unsteady flow in the operation of the irrigation system as a whole. Consideration of the change in water flow in the barrier structure will allow us to determine how flow fluctuations decrease with distance from the structure. This phenomenon is known as flattening or transformation, and it is important in the design of hydraulic structures in irrigation systems.

Keywords: unsteady motion, hydraulic structures, irrigation canals, numerical methods, boundary conditions, flow regimes.

References

1 Tkachuk S.G. Hydraulics, hydrology, hydrometry. Kyiv, “Kafedra”, 2013, 390 p.

2 Hnativ R.M.B Tazalova N.M. Classification of unsteady fluid motion. Lviv, Lviv Polytechnic National University, 2013. -No. 758.

3 Konstantinov Y.M., Giza O.A. “Engineering hydraulics”, K, publishing house “Slovo”, 2006, 432 p.

4 Bashkevich I.V., Yevseichyk Y.B., Medvedev K.V., Parovenko O.M., Svyatyshenko I.I. Influence of the degree of flooding and compression on the flow in the opening of a hydraulic structure at unsteady fluid movement / Collection of automobile roads and road construction. - 2022, issue 111 - pp. 140-148.

5 Yevseichyk Y.B., Medvedev K.V., Parovenko O.M., Svyatyshenko I.I. Determination of the roughness coefficient for calculating the flow of unsteady fluid motion / Collection of scientific papers “Automobile roads and road construction” - 2022, issue 112 - pp.163-169.

УДК 621. 396:621.37
UDC 621. 396:621.37
DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-245-263

ЗАСТОСУВАННЯ ХАОТИЧНОГО СУПЕРРЕГЕНЕРАТОРА В ЗАДАЧАХ МАНІТОРИНГА (Частина 2)

USE CHAOTIC SUPERREGENERATOR IN PROBLEM OF THE MONITORING (Part 2)



Артеменко Владислав Андрійович, UT5UDJ, *магістр екології, науковий співробітник відділу гідрохімії, Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України, м. Київ, Україна, e-mail: ut5udj@ukr.net*

https://orcid.org/0000-0003-0536-5415



Петрович Володимир Васильович, *кандидат технічних наук, професор, старший науковий співробітник, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна e-mail: petrovichvv60@ukr.net*

https://orcid.org/0000-0003-0422-2535

Анотація. В частині І був запропонований новий вид суперрегенерації – хаотична суперрегенерація. В частині ІІ показана перш за все перспективність досліджень хаотичної суперрегенерації з точки зору моніторингу оточуючого середовища.

Визначена нова схема та нова модель хаотичного суперрегенератора, яка більш стійка при її натурній реалізації та моделюванні. Пояснені причини підвищення такої стійкості. Показано, що для реалізації хаотичних суперрегенераторів слід використовувати тільки відносно невелику кількість можливо придатних схем хаотичних автогенераторів. Приведені основні методи синтезу (побудови) хаотичних суперрегенераторів.

Запропонована система звичайних диференціальних рівнянь, яка описує роботу моделі, що розглядається, та визначені всі необхідні для проведення моделювання дані.

Наведені всі важливі результати моделювання. Розроблений метод, який безпосередньо доказує існування такого явища, як хаотична суперрегенерація. Визначено існування якісно різних режимів при реалізації хаотичної суперрегенерації залежно від величини параметру К (співвідношення частоти “власних” коливань та частоти гасіння).

Мета роботи. Дослідження відкритого авторами нового явища - хаотичної суперрегенерації. Дослідження якісно різних режимів роботи хаотичного суперрегенератора. Розробка загальної методики синтезу схем хаотичних суперрегенераторів. Синтез нової стійкої схеми та нової моделі при її математичному моделюванні. Розробка методу прямого доказу існування явища хаотичної суперрегенерації.

Ключові слова: відкриття явища хаотичної суперрегенерації, доказ існування явища хаотичної суперрегенерації, дослідження якісно різних режимів роботи хаотичного суперрегенератора, загальна методика синтезу схем хаотичних суперрегенераторів.

Актуальні задачі екологічного моніторинга.

Звичайно задачі екології вирішують у декілька етапів:

Етап 1. Збір інформації про стан оточуючого середовища (екологічний моніторинг).

Етап 2. Обробка інформації за допомогою статистичних методів та ЕОМ.

Етап 3. Висновки про стан оточуючого середовища та прийняття відповідних рішень для його покращення.

Наскільки надійно виконаний етап 1, залежить адекватність подальших висновків про стан оточуючого середовища в цілому та прийняття заходів щодо його покращення.

Виконання етапу 1 звичайно здійснюється за допомогою періодичних вимірювань фізичних та фізико-хімічних параметрів навколишнього середовища (температури, тиску та ін.), та взяттям проб для виконання відповідних аналізів. Але при цьому виникає ряд істотних проблем, що призводять до втрати оперативності при виконанні досліджень. Тому на сучасному етапі досліджень здійснюють моніторинг безперервний, тобто параметри середовища вимірюють через невеликі однакові проміжки часу (наприклад, через декілька хвилин). При такому моніторингу головну роль відіграють датчики, розроблені на основі досягнень сучасних технологій. У цьому випадку успішно використовують польові транзистори як хімічні сенсори, що працюють при визначенні концентрацій речовин у розчинах, а також у газовому середовищі.

Спеціалізований польовий транзистор може вимірювати концентрації безпосередньо на певному місці, тобто на відміну від класичних аналітичних методів додаткові реактиви стають непотрібними. Інший, перспективний підхід при проведенні моніторингу базується на дослідженні взаємодії речовин із зовнішними електромагнітними полями.

Розглядаються перш за все розчини, які володіють достатньою провідністю. Потужність джерел електромагнітних полів при цьому може бути надзвичайно малою.

При безконтактному моніторингу сигнал малої потужності від зовнішнього генератора взаємодіє із певним розчином.

В результаті розчин, який досліджується, починає сам випромінювати електромагнітні хіилі, але із іншою інтенсивністю (навіть із іншою частотою). Сигнали, які випромінюються розчином, також можуть бути прийняті безпосередньо самим генератором. У цьому випадку маємо автогенераторний метод безконтактного моніторинга.

Звичайно при автогенераторних методах проводять вимірювання за допомогою періодичних сигналів (перш за все синусоідальних).

Модернізуючи такий генератор, можливо провадити вимірювання не тільки на певній частоті, але навіть у спектрі частот.

Однак використання звичайних автогенераторів (наприклад, синусоідальних коливань) не дає змоги у повній мірі реалізувати достатньо високу чутливість методу.

Один із основних способів підвищення чутливості – це переведення генератора періодичних коливань у стан переривчастих коливань (при виконанні відповідних додаткових умов). При цьому, звісно, також реалізується суперрегенеративний режим його роботи. Таким чином, з'являється можливість підвищити чутливість автогенераторного методу приблизно на шість порядків (тобто у мільйон разів).

Авторами замість використання генераторів синусоідальних коливань запропоновано застосовувати генератори хаотичних коливань, що дає змогу проводити також дослідження у досить широкому спектрі частот, без зміни роботи генератора за частотою.

При застосуванні хаотичних суперрегенераторів слід також чекати появи принципово нових ефектів, які при проведенні безконтактного екологічного моніторинга можуть бути використані із очевидною практичною вигодою.

Принципи побудови хаотичних суперрегенераторів

Традиційно в науці був відомий лише один вид суперрегенерації, який можливо назвати “класичним”. Однак до появи нашої роботи явище суперрегенерації розглядалось не в повній мірі, оскільки припускало побудову відповідних обладнань тільки на основі автогенераторів періодичних коливань.

Одне із головних відкриттів XX-го сторіччя – це відкриття явища детермінованого хаосу. Як з'ясувалось, це явище може виникати навіть у маломірних динамічних системах при наявності певних нелінійностей у цих системах.

Ще у 1922 році Е. Амстронг при дослідженні роботи побудованого ним суперрегенератора відзначив появу “нерівного шуму з переливами”[1].

Зараз відомо, що такого роду шуми можуть виникати при появі у динамічній системі хаосу низької розмірності. Сам Е. Амстронг спеціально відмітив це явище, яке зараз має назву “детермінований хаос”. У класичному суперрегенераторі також може спостерігатись (але на достатньо короткі проміжки часу) детерміновано-хаотична поведінка. Виявити таку поведінку досить складно. Висвітлення окремих питань цього явища можна знайти в роботах [2-4]. Але ці роботи не можуть претендувати на достатню об’єктивність та мають певні недоліки.

В частині I був розглянутий хаотичний суперрегенератор із зовнішним гасіням (за рахунок модуляції добротності коливального контура хаотичного автогенератора).

Така модуляція контура була реалізована за допомогою опору, який змінювався за часом та був включений послідовно із індуктивністю.

В частині II модуляція добротності також здійснювалась за допомогою опору із змінною за часом величиною, але який був включений паралельно із індуктивністю (паралельно із коливальним LC-контуром).

На рис. 1 приведена принципова схема модифікованого суперрегенератора. Така зміна в схемі значно поліпшує стійкість її роботи.

Крім того, на відміну від запропонованого у частині I сигналу гасіння синусоідальної форми був використаний сигнал гасіння прямокутної форми. Це також підвищує сталість роботи як самої схеми, так і її математичної моделі.

Таким чином, була досягнута повна картина явища, оскільки була врахована також методика побудови суперрегенераторів на основі автогенераторів хаотичних коливань.

Як було показано в частині І, хаотичні суперрегенератори – це конструкції нового вида, для здійснення роботи яких необхідний принципово новий підхід.

Попередньо можливо було б припустити, що хаотичний суперрегенератор легко побудувати на базі будь-якого хаотичного автогенератора.

Але це не так!

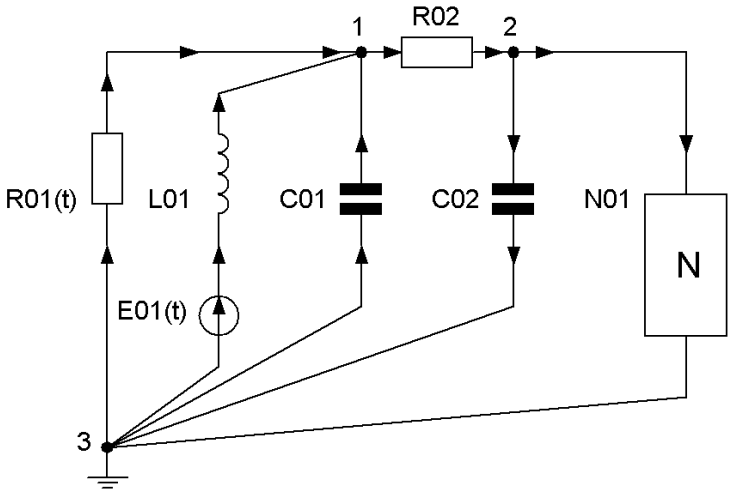


Рисунок 1 – Схема хаотичного суперрегенератора із паралельним включенням індуктивні та опору.
Figure 1 – Circuit of chaotic superregenerator with parallel connection of inductance and resistance.

Як з’ясувалось, хаотичний автогенератор, на базі якого може бути створений хаотичний суперрегенератор, повинен працювати тільки у двох режимах:

1) режимі затухаючих коливань;
2) режимі хаотичних коливань.

В той же час більшість схем хаотичних автогенераторів не задовільняють цим двом вимогам. Тому побудувати хаотичний суперрегенератор із урахуванням зазначених вище вимог виявляється досить складною задачею.

Розглянута у частині І схема хаотичного суперрегенератора, яка створена на базі хаотичного авгенератора Лео Чуа [5], є достатньо унікальною, оскільки цей автогенератор дозволяє працювати практично тільки у двох, зазначених вище режимах. При цьому для досягненна режиму хаотичної суперрегенерації частота гасіння повинна бути відносно низькою (вимоги як для класичного суперрегенератора).

Далі розглянемо випадок, коли по закону гасіння буде змінюватись напруга живлення хаотичного авгенератора. Відповідно, при нульовій напрузі живлення генерація не виникає. При поступовому збільшенні напруги виникають автоколивання. Але ці автоколивання – періодичні! І тільки при подальшому (досить значному!) підвищенні напруги живлення, виникають хаотичні коливання. Тобто хаотичний автогенератор запускається як автогенератор періодичних коливань та

процес суперрегенерації здійснюється в режимі періодичних коливань. По-суті, реалізується класична суперрегенерація, яка ускладнюється за рахунок того, що виникає хаотизація коливань.

Зазначимо, що аналізуються тільки суперрегенератори із зовнішним гасінням. Випадки із самогасінням виявляються ще більш складними.

Нова система диференціальних рівнянь.

Складемо систему звичайних диференціальних рівнянь першого порядку, яка описує певедінку схеми (рис.1). Були використані умовні направлення струмів згідно вказаних стрілочок.

Для контура $R\emptyset1/C\emptyset1$:

$$UR\emptyset1 - UC\emptyset1 = \emptyset, \quad (1)$$

$$UR\emptyset1 = UC\emptyset1, \quad (2)$$

$$IR\emptyset1 = UR\emptyset1/R\emptyset1 = UC\emptyset1/R\emptyset1, \quad (3)$$

або

$$IR\emptyset1 = UC\emptyset1/R\emptyset1. \quad (4)$$

Для контура $C\emptyset1/R\emptyset2/C\emptyset2$

$$UC\emptyset1 + UR\emptyset2 + UC\emptyset2 = \emptyset, \quad (5)$$

$$UR\emptyset2 = -UC\emptyset1 - UC\emptyset2, \quad (6)$$

$$IR\emptyset2 = UR\emptyset2/R\emptyset2=(-UC\emptyset1 - UC\emptyset2)/R\emptyset2, \quad (7)$$

$$IR\emptyset2 = (-UC\emptyset1 - UC\emptyset2)/R\emptyset2. \quad (8)$$

Для контура $C\emptyset2/N\emptyset1$

$$-UC\emptyset2 + UN\emptyset1 = \emptyset, \quad (9)$$

$$UN\emptyset1 = UC\emptyset2, \quad (10)$$

$$IN\emptyset1 = \Psi(UN\emptyset1). \quad (11)$$

Для вузла 1 маємо

$$IR\emptyset1 + IL\emptyset1 + IC\emptyset1 - IR\emptyset2 = \phi, \quad (12)$$

$$IC\emptyset1 = -IL\emptyset1 - IR\emptyset1 + IR\emptyset2, \quad (13)$$

$$C\emptyset1 \cdot \frac{dUC\emptyset1}{dt} = -IL\emptyset1 - IR\emptyset1 + IR\emptyset2$$

Для вузла 2 маємо

$$IR\emptyset2 - IC\emptyset2 - IN\emptyset1 = \phi, \quad (15)$$

$$IC\emptyset2 = IR\emptyset2 - IN\emptyset1, \quad (16)$$

$$C\emptyset2 \cdot \frac{dUC\emptyset2}{dt} = IR\emptyset2 - IN\emptyset1$$

Для контуру $E\emptyset1/L\emptyset1/C\emptyset1$

$$E\emptyset1 = UL\emptyset1 - UC\emptyset1, \quad (19)$$

$$UL\emptyset1 = UC\emptyset1 + E\emptyset1, \quad (20)$$

$$L\emptyset1 \cdot \frac{dIL\emptyset1}{dt} = UC\emptyset1 + E\emptyset1$$

Додаткові умови

Для здійснення моделювання необхідно також виконати наступне:

1.Вказати значення параметрів моделі;

2.Вказати необхідні додаткові параметри моделювання;

3.Визначити закон (закони) зміни величин $E\emptyset1(t)$ та $R\emptyset1(t)$ за часом;

4.Задати вольт-амперну характеристику (ВАХ) негатрона N.

Параметри моделі маємо наступні:

$C\emptyset1 = {}^{63}/_{63}$; $R\emptyset1 = {}^{63}/_{63}$;

$C\emptyset2 = {}^{7}/_{63}$; $R\emptyset1\ Min = {}^{63}/_{63}$;

$K = 100$; $R\emptyset1\ Max = {}^{1575}/_{63}$;

$L\emptyset1 = {}^{9}/_{63}$; $R\emptyset2 = {}^{90}/_{63}$.

Амплітуда сигналу, який приймається, складає SignalAmplitide = 1E-6 (один мікровольт). Додаткові параметри моделювання дорівнюють NIForOneW=10 (величина, пов'язана безпосередньо із кроком інтегрування за часом).

Зазначимо, що загальні методи дослідження моделі ті самі, як у частині I дослідження. Тобто також використовуємо нормування "за власною частотою коливань LC-контура хаотичного автогенератора" (нормування за величиною ω).

Але, як відомо, хаотичний автогенератор генерує не на одній частоті, а у неперервній області частот, тому говорити про власну частоту автогенератора взагалі некоректно.

Однак на практиці зручно оперувати із "частотою хаотичного автогенератора" ω, яка визначається як

$$\omega = 1/\sqrt{CL}, \quad (21)$$

де L=$L\emptyset1$, (22)

$C = C\emptyset1$. (23)

У цьому випадку та надалі ω – це колова частота. Відповідно, NIForOneW визначає крок інтегрування, тобто замість "реального часу" використовується ω. Значення NIForOneW=10 має сенс при $dt = 1/10$, якщо будь-яке нормування відсутнє.

Величина K пов'язана із частотою гасіння співвідношенням

$$\text{К} = \frac{\omega_{\text{автогенератора}}}{\omega_{\text{сигнала гасіння}}}, \quad (24)$$

де значення ω автогенератора відповідає виразу згідно (21).

Тобто К=1ØØ означає, що колова частота сигналу гасіння у 100 разів менша колової частоти "власних коливань" автогенератора.

Таким чином, у ході проведених досліджень, задаючи конкретні числові значення величини К, знаходимо також інші параметри моделювання.

Маємо TimeStart=Ø,

TimeStop=1ØØ $\cdot K$,

NI= TimeStop · NIForOneW,

де TimeStart – початковий час моделювання, який завжди дорівнює нулю,

TimeStop – кінцевий час моделювання (інтегрування),

NI – кількість зроблених ітерацій при вирішенні системи ODE, тобто, по-суті, це загальна кількість точок рішення системи.

При інтегруванні системи ODE також використовувалась процедура із постійним кроком інтегрування.

Для визначення коефіцієнта підсилення хаотичного суперрегенератора по напрузі слабкого вхідного сигнала (1 мікровольт для всіх експериментів) використовували тільки останню чверть ряду рішення системи ODE.

Для побудови графіків використовували останню половину рішень системи ODE. Це зроблено для усунення впливу "перехідних ефектів", які неминуче будуть присутні при числовому рішенні системи ODE.

Далі розглянемо закон зміни величини $E\emptyset 1(t)$ (слабкого сигналу, який приймається). Моделювання проводилось для трьох випадків:

1) Сигнал повністю відсутній, $E\emptyset 1 = \emptyset$. (25)
   Це серія "A",
2) Синусоїдальний сигнал, $E\emptyset 1 = \text{SignalAmplitide} \cdot \sin(\omega \cdot t)$. (26)
   Це серія "B",
3) "Шумовий" сигнал,
   $E\emptyset 1 = \text{SignalAmplitide} \cdot \text{RandN}(\ \ ) \cdot \sin(\omega \cdot t)$. (27)
   Це серія "C"
   $\text{RandN}(\ \ )$ - генератор "випадкових" чисел із нормальним законом розподілення,
   ω - колова частота, яка визначається співвідношенням згідно виразу (21).

Ще раз зазначимо, що SignalAmplitide = 1E-6, тобто 1 мікровольт, є константою.

Далі розглянемо сигнал частоти гасіння, який моделює величину опору $\text{R}\emptyset 1$ по "прямокутному" закону.

Це можливо визначити за допомогою псевдокоду

$T_{mp} = sign\left(sin(\omega \cdot t/K)\right)$
If $T_{mp} > 0$
$\text{R}\emptyset 1 = \text{R}\emptyset 1 \cdot \text{Min}$
Else
$\text{R}\emptyset 1 = \text{R}\emptyset 1 \cdot \text{Max}$
EndIf

При цьому слід зазначити, що розглянуті вище вирази приведені у випадку, коли ніякого нормування не передбачається.

При умові нормування за величиною ω будемо мати:

$\text{E}\emptyset 1 = \emptyset$
$\text{E}\emptyset 1 = \text{Signal Amplitide} \cdot \sin(t)$
$\text{E}\emptyset 1 = \text{Signal Amplitide} \cdot \text{RandN}(\ \ ) \cdot \sin(t)$
$T_{mp} = sign\left(sin(t/K)\right)$

Відповідно, це буде присутнє у коді, який використовується для дослідження моделі (при моделюванні).

Наприкінці, для здійснення процесу моделювання, розглянемо згідно пункту 4 (див. вище) ВАХ негатрона.

Але при цьому будемо використовувати більш досконалу модель негатрона у порівнянні з розглянутою у частині I.

ВАХ у цьому випадку (представлений на рисунку 2) має наступний вигляд:

$$BP\emptyset 1 = +{}^{10}/_{10},$$
$$BP\emptyset 2 = +{}^{60}/_{10},$$
$$GA = -{}^{8}/_{10},$$
$$GB = -{}^{5}/_{10},$$
$$GC = +{}^{9}/_{10}.$$

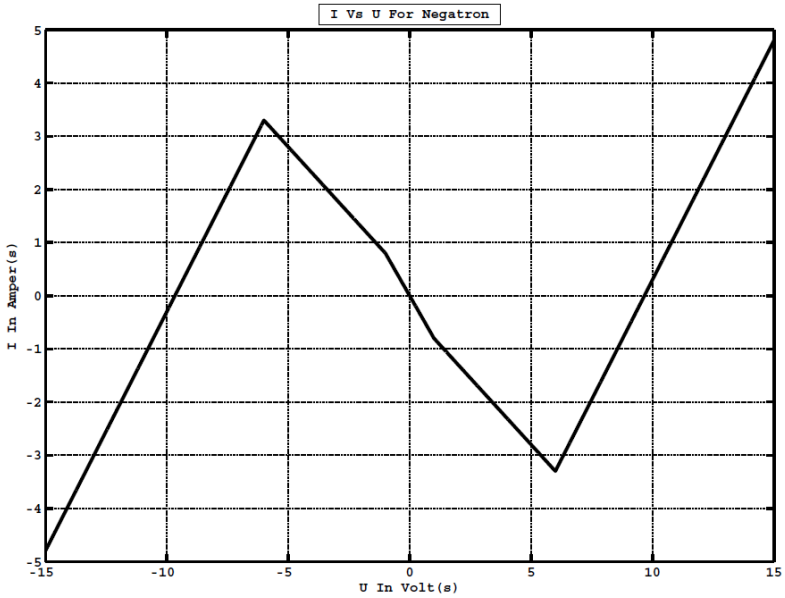


Рисунок 2 **–** Вольт-амперна характеристика негатрона згідно част.2.

Figure 2 **–** Current – voltage characteristic of the negatron which was used in the second part of the research

У даному випадку будемо мати

$$IN = GC \cdot UN + (GA - GB) \cdot (|UN + BP\emptyset 1| - |UN - BP\emptyset 1|)/2 + \\ +(GB - GC) \cdot (|UN + BP\emptyset 2| - |UN - BP\emptyset 2|)/2. \quad (33)$$

Відповідно, IN – це струм негатрона (ампери);

UN – напруга на негатроні (вольти);

$BP\emptyset 1$ та $BP\emptyset 2$ – координати точок зламу на ВАХ негатрона, GA, GB та GC це нахили відповідних сегментів ВАХ.

Нумерація для BP та GA починається від початку координат $(\emptyset;\ \emptyset)$.

Результати моделювання

В числових експериментах величину К змінювали від 10 до 250. Для зручності процесу моделювання величина К приймала тільки суцільночислові значення (у загальному випадку К може приймати навіть дробні значення).

Параметри моделі підібрані так, щоб при значенні $R\emptyset 1 = R\emptyset 1Max$ у системі існувала можливість виникнення хаотичних коливань (типу SS або DS). Відповідно, величину $R\emptyset 1Min$ підбирали таким чином, щоб при $R\emptyset 1 = R\emptyset 1Min$ спостерігалось достатньо сильне шунтування коливального контура $L\emptyset 1C\emptyset 1$ хаотичного автогенератора, та хаотичні коливання затухали (якщо і мали місце). При цьому $R\emptyset 1 = R\emptyset 1Min$ підбирали так, щоб затухання коливань виникали із “певною

оптимальною швидкістю". Надто швидке затухання, так і затухання коливань занадто повільне не дозволяють адекватно реалізувати режим хаотичної суперрегенерації, тобто якісно виконувати необхідні дослідження.

Точка $(\emptyset;\ \emptyset;\ \emptyset)$ є точкою рівноваги системи ODE, хоча і нестійкою по відношенню до малих збурень. У цьому зв'язку для випадку $E\emptyset 1 = \emptyset$ не слід чекати появи спалахів суперрегенерації при будь-яких значеннях К, про що свідчать результати дослідів "серії А".

Експерименти "серії В" відповідають випадку, коли слабкий сигнал, який приймається, це синусоїдальний сигнал із частотою "власних коливань" хаотичного автогенератора (немодульована несуча або CW).

Експерименти "серії С" відповідають випадку, коли слабкий сигнал – це, по-суті, шумовий АМ-сигнал, амплітуда якого змінюється по "випадковому закону" із нормальним ймовірнісним розподіленням.

Далі розглянемо результати експериментів "серії В" (CW- сигнал) та "серії С" (шумовий АМ-сигнал) при зростанні величини К, тобто зменшенні частоти гасіння.

Якщо при значенні К=10 моделювання не показує проявів суперрегенерації, то для випадку К=25 явище суперрегенерації починає проявлятись.

Для CW- сигнала маємо "спалахи" однакової амплітуди (рис. 3), для шумового АМ-сигнала це "спалахи" різної амплітуди, що демонструє можливість прийому АМ-сигналів (рис.4).

Явище суперрегенерації присутнє також при подальшому зростанні параметру К.

На рис. 5 (випадок прийому CW- сигналу) та рис. 6 (випадок прийому шумового АМ-сигналу) представлені результатами моделювання при К=100.

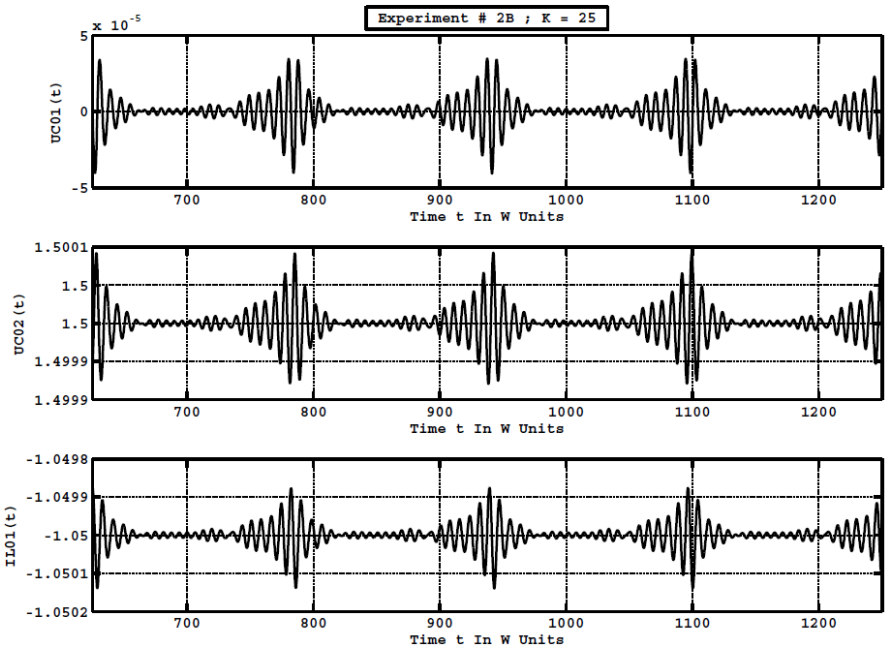


Рисунок 3 – Суперрегенеративні спалахи однакової амплітуди при прийомі немодульованого (CW) сигнала (К=25).

Figure 3 – Super – regenerative flashes of the same amplitude when receiving an unmodulated (CW) signal (K=25).

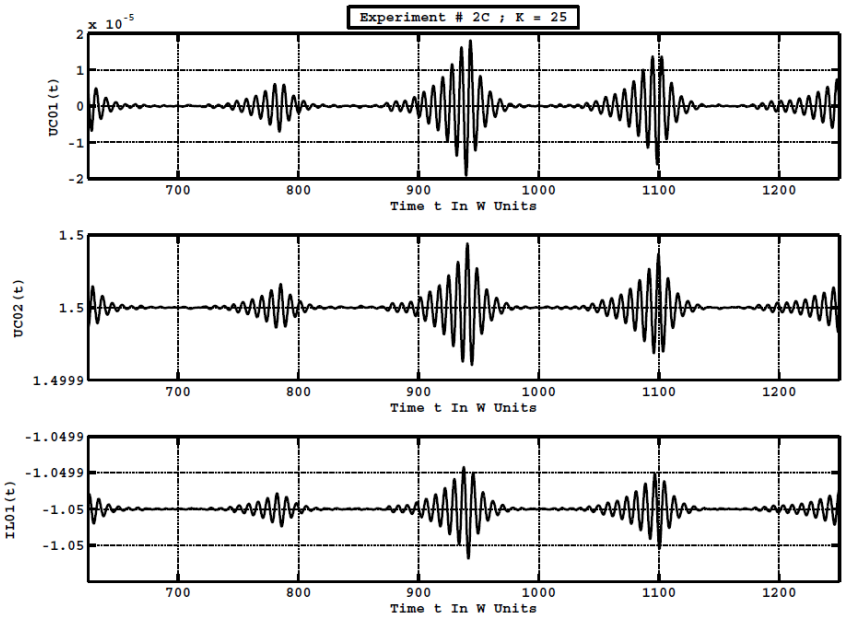


Рисунок 4 – Суперрегенеративні спалахи різної амплітуди при прийомі шумового АМ - сигналу (K=25).

Figure 4 – Super – regenerative flashes of different amplitudes when receiving a noise – modulated AM – signal for the case when K=25.

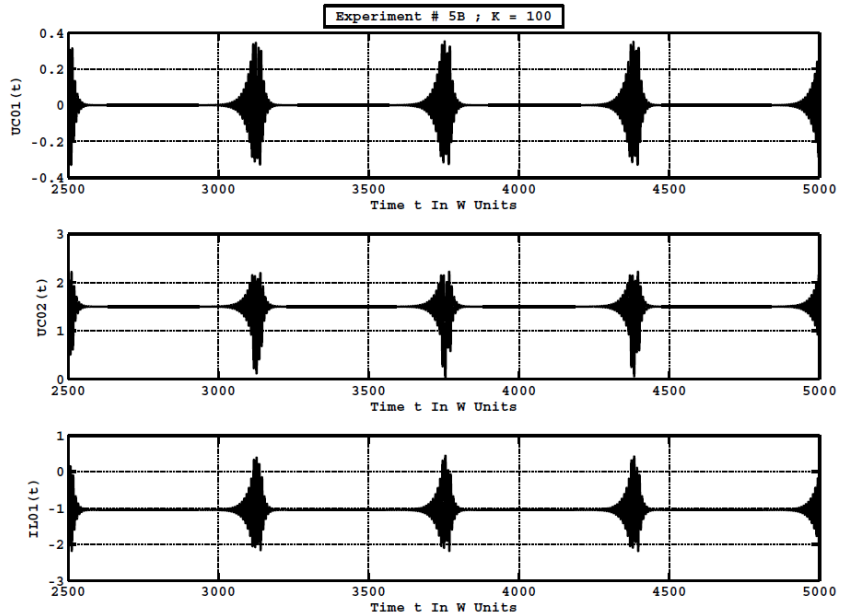


Рисунок 5 – Суперрегенеративні спалахи однакової амплітуди при прийомі немодульованого (CW) сигнала (K=100).

Figure 5 – Super – regenerative flashes of the same amplitude when receiving an unmodulated (CW) signal for the case when K=100.

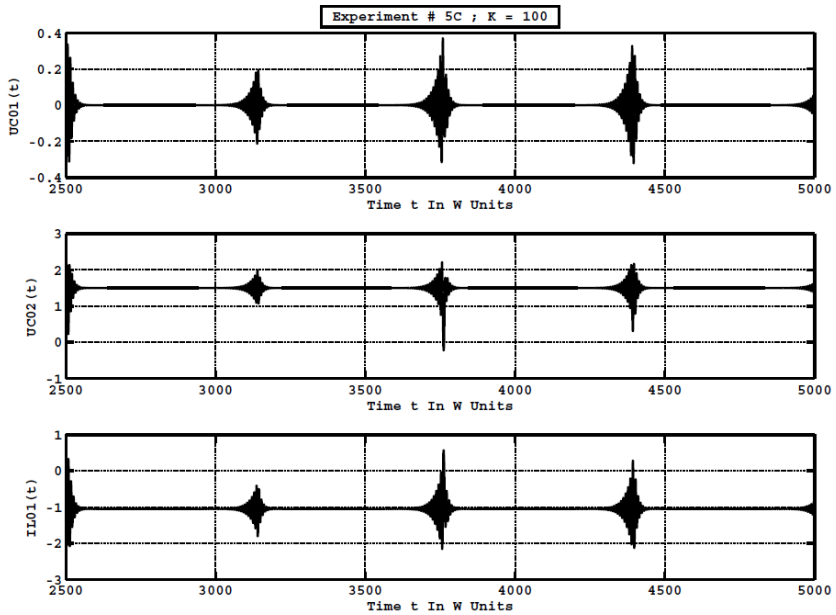


Рисунок 6 – Суперрегенеративні спалахи різної амплітуди при прийомі шумового АМ - сигнала (К=100).

Figure 6 – Super – regenerative flashes of different amplitudes when receiving a noise modulated AM – signal for the case when K=100.

Далі, при значені К≈ 100, виникає зміна режиму роботи системи.

Аналізуючи графіки динамічних змінних $UC\emptyset1(t)$, $UC\emptyset2(t)$ та $IL\emptyset1(t)$, можливо було б прийти до висновку, що робота моделі відповідає роботі звичайного (класичного) суперрегенератора.

Але це не так!

Вже при К>100 спостерігається перехід роботи моделі у якісно інший режим, відсутній у класичного суперрегенератора.

Цей режим можливо назвати “хаотичною суперрегенерацією у істотно нелінійному режимі”.

Для немодульованого сигнала при значенні К=110 (рис.7) амплітуди спалахів залишаються в принципі сталими, однак огинаючі спалахів набувають більш складної форми у порівнянні із випадком класичного суперрегенератора. Відповідно, модульований за амплітудою сигнал (рис.8) викликає триггерне переключення моделі із одного стану в інший, що видно із графіків для $UC\emptyset2(t)$ та $IL\emptyset1(t)$. Можливо при цьому припустити, що між амплітудою сигнала, який приймається, та формою суперрегенеративного спалаху існує певний зв'язок, але при цьому характер його досить складний.

На рис. 9 (випадок прийому CW- сигналу) та рис. 10 (випадок прийому шумового АМ-сигналу) приведені результати моделювання при значенні К=150.

Триггерний ефект спостерігається як у випадку модульованого, так і немодульованого слабкого сигналу. При цьому зв'язок між амплітудою сигнала, що приймається, та формою спалахів суперрегенерації вже візуально не спостерігаються.

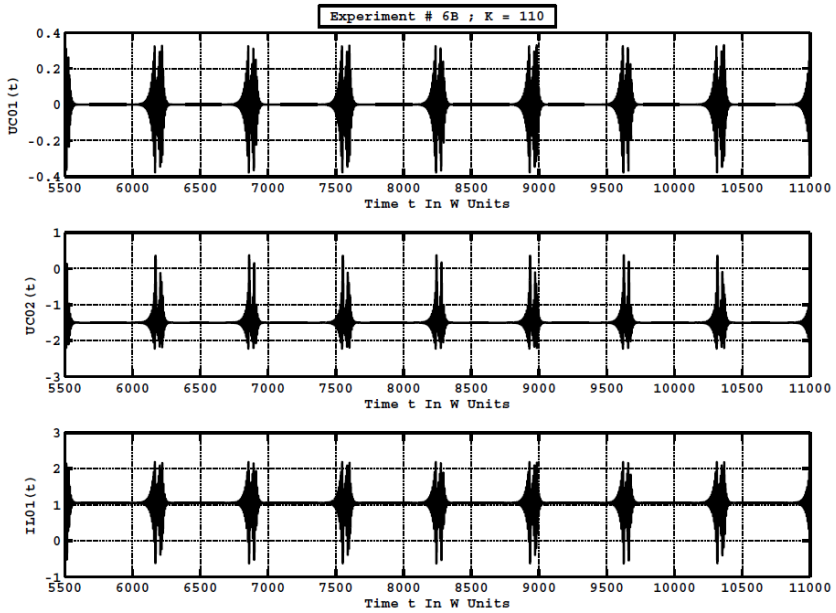


Рисунок 7 – Суперрегенеративні спалахи однакової амплітуди та складної форми при прийомі немодульованого (CW) сигнала (K=110).

Figure 7 – Super – regenerative flashes of the same amplitude and complex shape when receiving an unmodulated (CW) signal for the case when K=110.

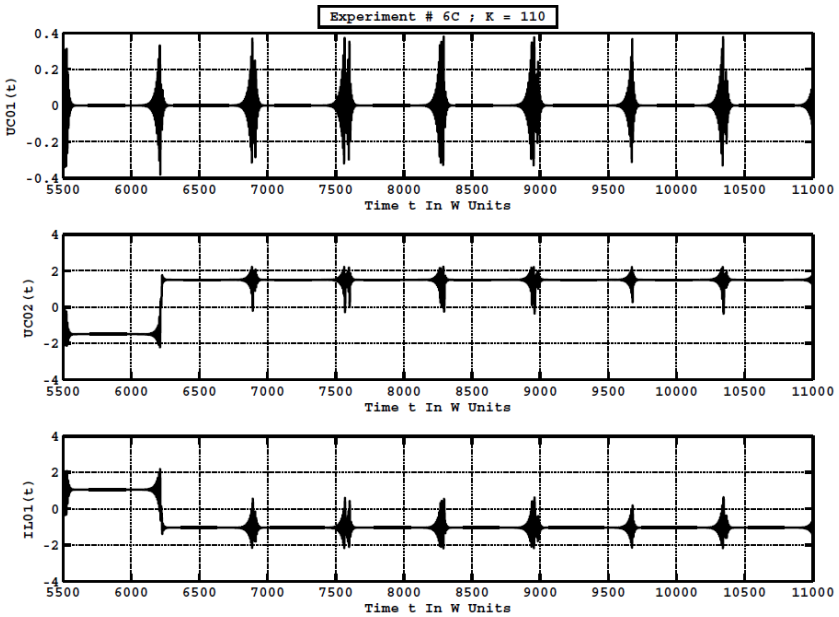


Рисунок 8 – Суперрегенеративні спалахи та виявлення триггерного ефекта при прийомі шумового АМ - сигнала (K=110).

Figure 8 – Super – regenerative flashes and manifestation of the trigger effect when receiving a noise – modulated AM – signal for the case when K=110.

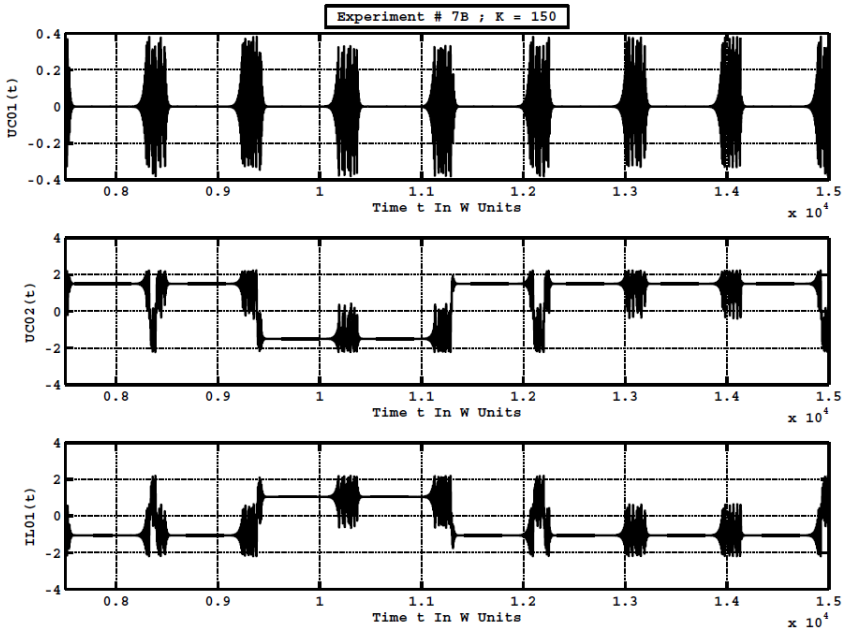


Рисунок 9 – Суперрегенеративні спалахи складної форми та прояв триггерного ефекта при прийомі немодульованого (CW) сигнала (K=150).

Figure 9 – Super – regenerative flashes of complex shape and manifestation of the trigger effect when receiving an unmodulated (CW) signal for the case when (K=150).

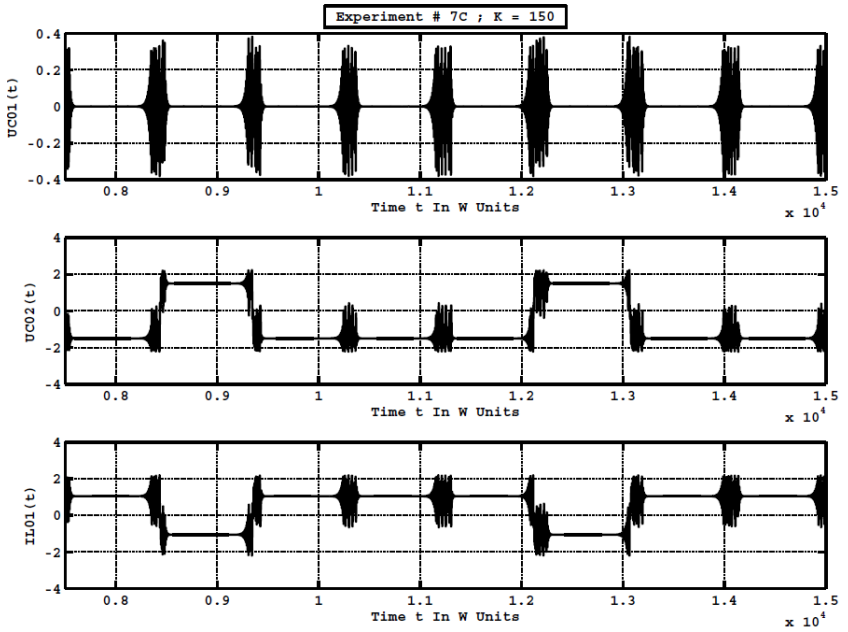


Рисунок 10 – Суперрегенеративні спалахи складної форми та прояв триггерного ефекта при прийомі шумового АМ - сигнала у випадку K=150.

Figure 10 – Super – regenerative flashes of complex shape and manifestation of the trigger effect when receiving a noise modulated AM – signal for the case when K=150.

Останні дослідження, проведені авторами, показали особливу необхідність побудови графіків залежностей однієї динамічної змінної від іншої (наприклад, $UC\emptyset 2(t)$ від $UC\emptyset 1(t)$ і т.д.), оскільки дійсно важливі якості динамічної системи не проявляються у повній мірі при аналізах тільки графіків часових залежностей кожної динамічної змінної окремо.

У цьому зв'язку розглянемо, наприклад, залежність $UC\emptyset 2(t)$ від $UC\emptyset 1(t)$ при різних значеннях параметру К.

На рис. 11 при значенні параметру К=100 для немодульованого сигнала одержуємо фігуру, достатньо схожу на аттрактор типу SS (Single Scroll). Однак цього зовсім не видно, якщо розглядати окремо графіки для цих динамічних змінних.

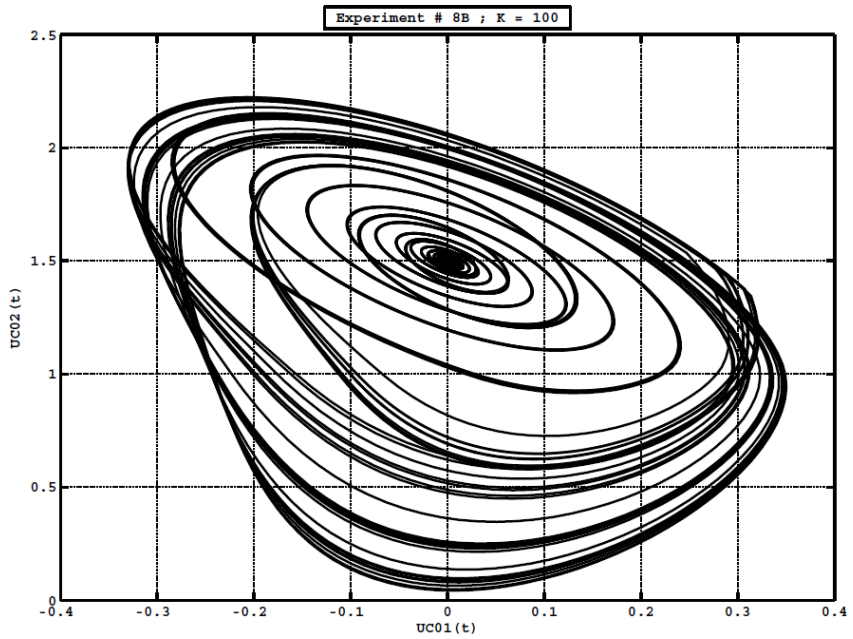


Рисунок 11 – Вид аттрактора системи в координатах UCØ1(t)/ UCØ2(t) при прийомі немодульованого (CW) сигнала у випадку (K=100).

Figure 11 – View of the system attractor in coordinates UCØ1(t)/ UCØ2(t) in case of receiving an unmodulated signal for the case when (K=100).

Відповідно, у випадку модульованого шумового АМ-сигналу (рис.12) маємо фігуру, достатньо схожу на хаотичний аттрактор типу DS (Double Scroll). Цього також не видно при розгляді окремих графіків для цих динамічних змінних.

Далі приведені на рис. 13 (випадок прийому немодульованого CW- сигналу) та рис. 14 (випадок прийому модульованого шумового АМ-сигналу) значення, коли К=250.

Крім того, з'явилась можливість більш адекватно прокоментувати результати числових експериментів при $K \leq 100$.

Як з'ясувалось, обманлива схожість та ототожнення поведінки моделі при $K \leq 100$ із моделью та поведінкою класичного суперрегенератора проявляється тільки у тому випадку, якщо розглядати виключно часові залежності для динамічних змінних окремо одна від одної.

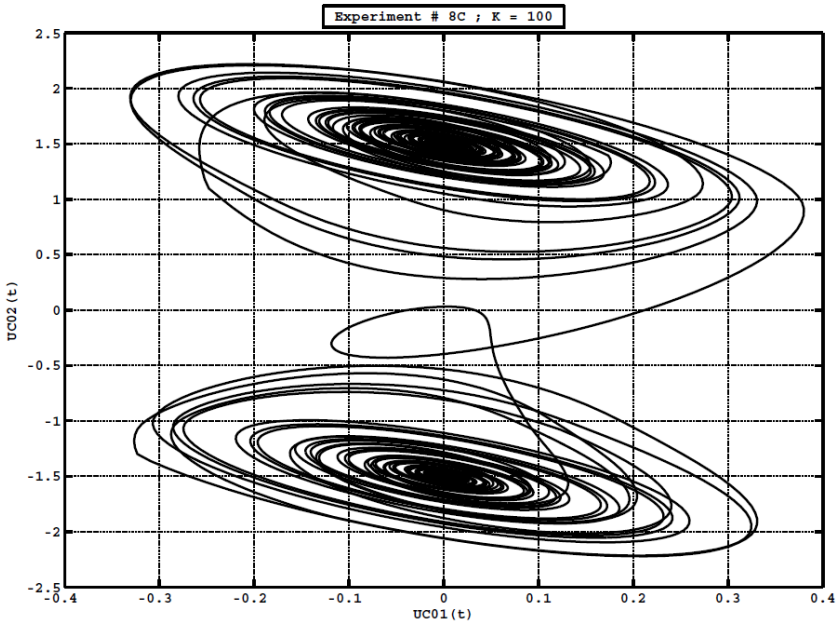


Рисунок 12 – Вид аттрактора системи в координатах UCØ1(t)/ UCØ2(t) у випадку прийому модульованого шумом АМ-сигнала (K=100).

Figure 12 – View of the system attractor in coordinates UCØ1(t)/ UCØ2(t) in the case of receiving for the case when (K=100).

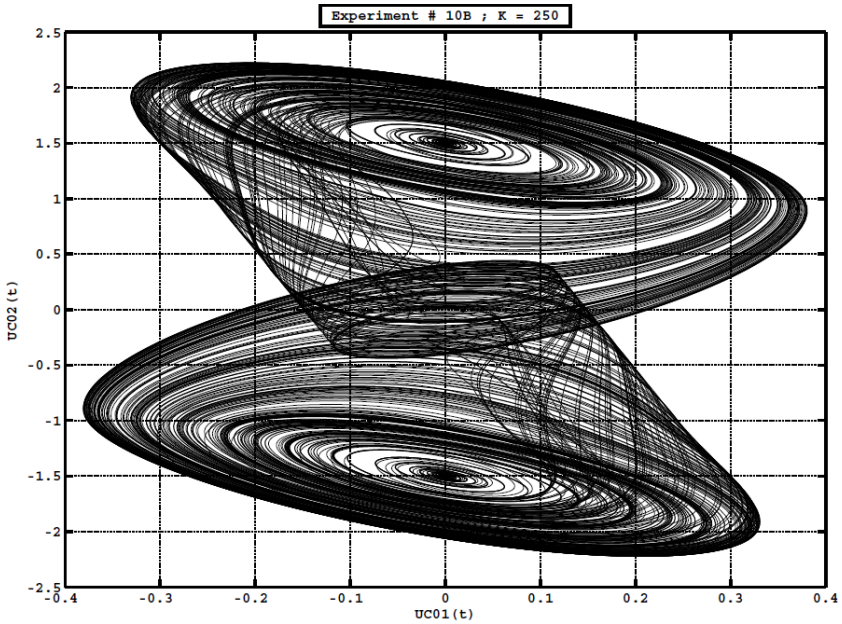


Рисунок 13 – Вид аттрактора системи в координатах UCØ1(t)/ UCØ2(t) при прийомі немодульованого (CW) сигнала у випадку (K=250).

Figure 13 – View of the system attractor in coordinates UCØ1(t)/ UCØ2(t) in the case of receiving an unmodulated signal for the case when (K=250).

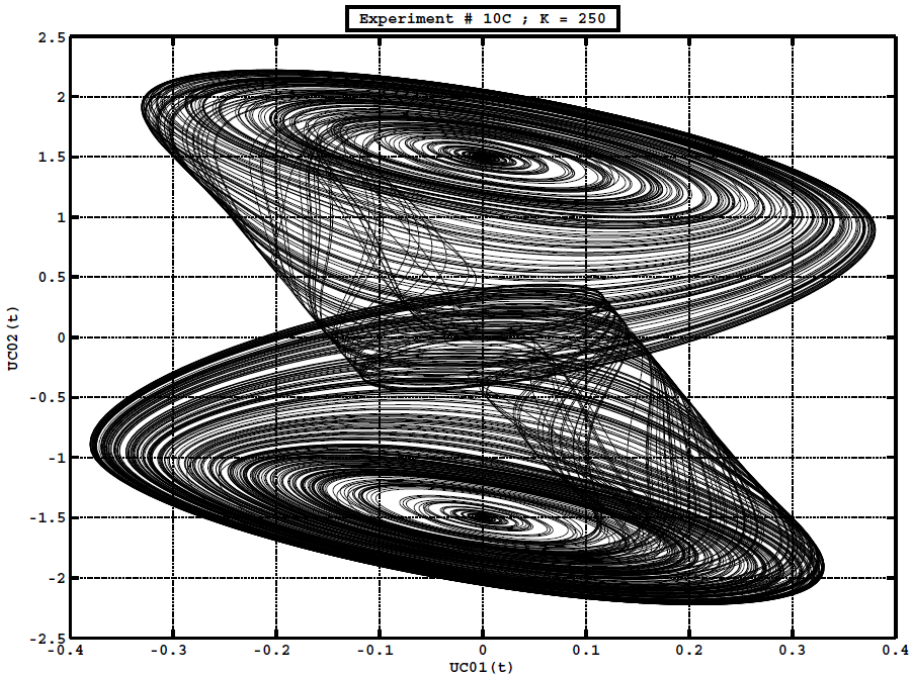


Рисунок 14 – Вид аттрактора системи в координатах UCØ1(t)/ UCØ2(t) при прийомі модульованого шумом АМ-сигнала (K=250).

Figure 14 – View of the system attractor in coordinates UCØ1(t)/ UCØ2(t) in the case of receiving a noice modulated AM-signal for the case when (K=250).

Побудова графіків залежностей однієї динамічної змінної від іншої динамічної змінної дозволило з'ясувати, що модель при $K \leq 100$ також проявляє детерміновано-хаотичну поведінку. Навіть вид відповідного аттрактора (хаотичний) якісно відрізняється від того, що спостерігається у випадку класичного суперрегенератора (періодичний аттрактор).

Таким чином, був запропонований адекватний підхід до аналізу хаотичної суперрегенерації.

Була отримана також залежність коефіцієнта підсилення по напрузі K_u для синусоїдального сигнала із амплітудою в 1 мікровольт (та частотою ω) від величини К.

Як видно (дивись рис. 15), при значенні $K \approx 100$ досягається своєрідне насичення, коли подальше зростання К вже не призводить до зміни коефіцієнта підсилення по напрузі K_u. Зазначимо, що якісно така залежність подібна до залежності, яку маємо для моделі класичного суперрегенератора.

В результаті проведених досліджень з'явилась можливість виділяти два якісно відмінних типи хаотичної суперрегенерації:

Тип I. Хаотична суперрегенерація ($K \leq 100$), при якій обробка слабкого сигналу, що приймається, відповідає класичній суперрегенерації;

Тип II. "Розвинута" (сильно нелінійна) хаотична суперрегенерація, при якій обробка слабкого сигналу якісно відрізняється від випадку класичної хаотичної суперрегенерації (типу I).

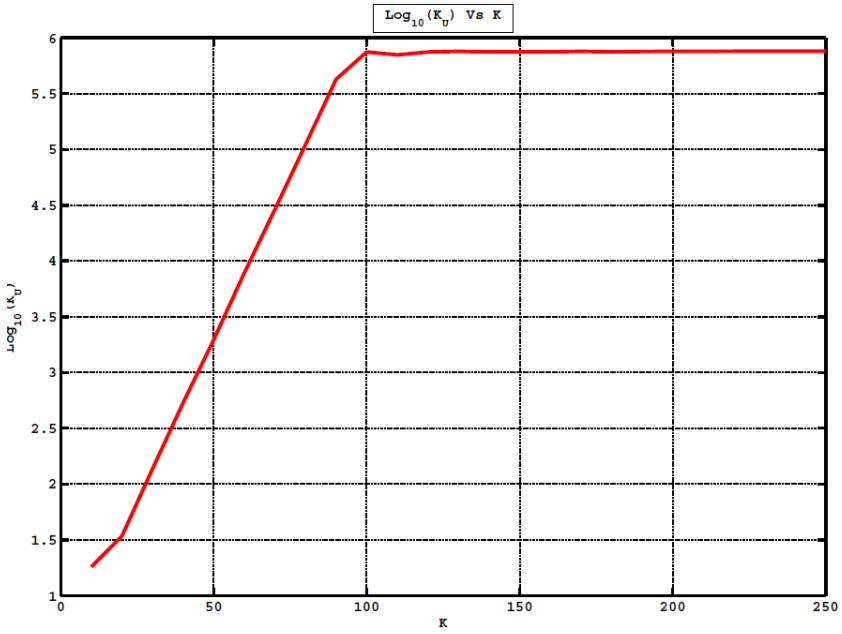


Рисунок 15 – Залежність логарифму підсилення вхідного сигнала в 1 мікровольт від величини K, що безпосередньо пов'язана із частотою суперизації системи, яка досліджується.

Figure 15 – Dependence of the logarithm of the voltage gain of the input (receive) signal of 1 microvolt on the value of K associated with the superization freguency for the system under study.

Висновки по частині II

1. Приведена нова схема та нова модель хаотичного суперрегенератора.

2. Встановлено, що для реалізації хаотичних суперрегенераторів слід використовувати тільки спеціальний вид хаотичних автогенераторів.

3. Розроблені основні методи синтезу моделей хаотичних суперрегенераторів.

4. Приведена система звичайних диференціальних рівнянь моделі та всі необхідні для моделювання дані. Представлені нові результати, що були одержані в ході комп'ютерного моделювання.

5. Встановлено, як мінімум, два якісно різних режиму роботи в даній схемі хаотичного суперрегенератора, які реалізуються залежно від величини параметру K (співвідношення частот "власних" коливань хаотичного автогенератора, на базі якого реалізований хаотичний суперрегенератор, та частоти гасіння).

6. Для схеми (моделі), яка розглядається, визначені два типи хаотичної суперрегенерації. Це звичайна хаотична суперрегенерація (тип I), при якій обробка слабких сигналів, які приймаються, виконується згідно принципів класичної суперрегенерації (у "лінійному" режимі роботи). Цей тип I спостерігається при відносно невеликих значеннях величини K. При достатньо великих значеннях K реалізується тип II. У цьому випадку обробка слабких сигналів, які приймаються, будуть якісно іншими у порівнянні із класичною суперрегенерацією. При цьому досвід, що був одержаний при роботі з класичними схемами суперрегенераторів, використовувати не можна. Тобто тип II – це зовсім не досліджений тип суперрегенерації, який представляє особливий інтерес внаслідок проявів різного роду нетривіальних явищ (наприклад, явища триггерної хаотичної суперрегенерації).

Також встановлено існування відносно вузького діапазону значень параметру K, який відокремлює поведінку хаотичної суперрегенерації типу I від поведінки типу II. У даному разі тип I спостерігається при K < K*, тип II при $K \geq K^*$. Конкретні значення величини K* наведені в основному тексті статті.

7. Розроблено метод, який прямо доказує існування явища хаотичної суперрегенерації.

Перелік посилань

1. Armstrong E.H. Some recent developments in regenerative circuits. PIRE, 1922, №8. I44-260.
2. Leenaerts D.V.W. Chaotic Behavior in Super Regenerative Detectors. IEEE Transactions on Circuits and Systems I.-Fundamental Theory and Applications. Vol. 43, №3, March 1996, 169 – 176.
3. Leenaerts D. Integrated Transceiver Design: Non – Linear Dynamic Issues. Proceedings NDES, 2001.
4. Commercon J. – C., Badard R. “Chaos” in Superregenerative Receivers. Chaos, Sulitons and Fractals 23, 2005, 1267 – 1274.
5. Артеменко В.А., Петрович В.В**.** Застосування хаотичного суперрегенератора в задачах моніторинга (Частина 1). – Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип 114, Частина 1. С. 208-229.

USE CHAOTIC SUPERREGENERATOR IN PROBLEM OF THE MONITORING (Part 2)

Vladuslav Artemenko, *UT5UDJ,* Master of Ecology, Ukrainian Hydrometeorological Institute, State Service on Emergencies of Ukraine and National Academy of Science of Ukraine, Hydrochemical Research, Scientific Employee, *e-mail:* *ut5udj@ukr.net*, tel. 380936011250, Nauki avenue, 37, Kyiv, Ukraine, 03028, room 34, https://orcid.org/0000-0003-0536-5415

Volodymyr Petrovych, Candidate of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher, Professor of the Transportation Construction and Property Management Department, National Transport University. e-mail: petrovichvv60@ukr.net**,** tel. +380442807338, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, room 138, https://orcid.org/0000-0003-0422-2535

Abstract. In the first part of the article, a new type of super – regeneration was considered, namely chaotic super – regeneration.

The second part of the article shows the pramise of research into chaotic super – regeneration, primarily from the perspective of environmental monitoring.

A new scheme and a new model of a chaotic super – regeneration are proposed, which is much more stable during full – scale implementation and modeling.

The reasons for increasing sustainability are explained.

It is shown that only a relatively small number of currently existing chaotic self - oscillator circuits are suitable for the implementation of chaotic super – regenerators. The main methods for the synthesis of chaotic super – regenerators are presented. The principles of compiling systems of ordinary differential equations that describe the operation of the model under consideration, as well as all the data necessary for modeling, are considered.

All important results oftained during modeling are presented.

A method has been developed that directly proves the existence of such phenomena as chaotic super – regeneration. The existence of qualitatively different regimes in the implementation of the phenomenon of

chaotic superregeneration is shown depending on the value of the parameter K (ratio of "natural" oscillation frequencies and damping frequency).

Annotation. In part I, a new type of superregeneration was proposed - chaotic superregeneration. Part II shows, first of all, the perspective of chaotic superregeneration research from the point of view of monitoring the surrounding environment.

A new scheme and a new model of the chaotic superregenerator, which is more stable during its full-scale implementation and simulation, have been determined. Explanations of the reasons for increasing such stability. It is shown that only a relatively small number of potentially suitable schemes of chaotic autogenerators should be used to implement chaotic superregenerators. The main methods of synthesis (construction) of chaotic superregenerators are presented.

A system of ordinary differential equations is proposed, which describes the operation of the model under consideration, and all the data necessary for modeling are determined.

All important simulation results are presented. A method has been developed that directly proves the existence of such a phenomenon as chaotic superregeneration. The existence of qualitatively different regimes during the implementation of chaotic superregeneration was determined, depending on the value of the parameter K (ratio of the frequency of "natural" oscillations and the frequency of quenching).

Goal of the work. Study of a new phenomenon discovered by the authors - chaotic superregeneration. Study of qualitatively different modes of operation of a chaotic superregenerator. Development of a general methodology for the synthesis of chaotic superregenerators. Synthesis of a new stable scheme and a new model in its mathematical modeling. Development of a method of direct proof of the existence of the phenomenon of chaotic superregeneration.

Key words: Discovery of the phenomenon of chaotic superregeneration, proof of the existence of the phenomenon of chaotic superregeneration, study of qualitatively different modes of operation of a chaotic superregenerator, general method of synthesizing schemes of chaotic superregenerators.

References

1. Armstrong E.H. Some recent developments in regenerative circuits. PIRE, 1922, №8.-244-260.
2. Leenaerts D.V.W. Chaotic Behavior in Super Regenerative Detectors. IEEE Transactions on Circuits and Systems I.-Fundamental Theory and Applications. Vol. 43, №3, March 1996, 169 – 176.
3. Leenaerts D. Integrated Transceiver Design: Non – Linear Dynamic Issues. Proceedings NDES 2001.
4. Commercon J. – C., Badard R. "Chaos" in Superregenerative Receivers. Chaos, Sulitons and Fractals, 23, 2005, 1267 – 1274.
5. Artemenko V.A., Petrovych V.V. Zastosuvannya khaotychnoho superreheneratora v zadachakh manitorynha (Chastyna 1). – Avtomobilni dorohy i dorozhnye budivnytstvo. Vyp 114, Chastyna 1. – S. 208-229.

УДК: 502/504 **DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-264-275**
УДК: 502/504

ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ДОРІГ В МЕЖАХ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT FOR ROAD CONSTRUCTION WITHIN FOREST ECOSYSTEMS



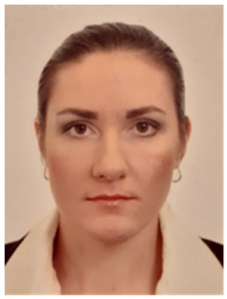
Барабаш Олена Василівна, *доктор технічних наук, професор, професор кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища Національного транспортного університету, e-mail: barabashelena29@gmail.com, тел. +380442885100,*

https://orcid.org/0000-0001-5206-2922



Покшевницька Тетяна Василівна, *аспірантка кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища Національного транспортного університету e-mail: officenttn@gmail.com, тел. +380661552828,*

https://orcid.org/0009-0008-6606-5073



Хрутьба Ольга Володимирівна, *аспірантка кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища Національного транспортного університету e-mail: o.hrutba@gmail.com, тел. +380730419034,*

https://orcid.org0009-0000-5909-8610/



Хрутьба Юлія Сергіївна, *кандидат економічних наук, доцент кафедри транспортного права та логістики Національного транспортного університету, e-mail: hrutbaj@gmail.com, тел. +380956615360,*

https://orcid.org/0000-0002-3419-8364

Анотація. Оцінка впливу на довкілля (ОВД) є ключовим етапом у процесі прийняття рішень щодо реалізації планованої діяльності, особливо у випадках, коли будівництво доріг у лісах може мати негативний вплив на вразливі лісові екосистеми. Основна мета ОВД полягає в тому, щоб гарантувати, що до початку реалізації планованої діяльності будуть розглянуті і враховані не тільки масштаб і значущість потенційних впливів на навколишнє середовище в результаті планованої діяльності, а й екологічні проблеми району реалізації проєкту, а також інтереси всіх зацікавлених сторін. У статті автори підкреслюють важливість ефективного залучення громадськості до процесу ОВД та необхідність врахування державних, громадських та приватних інтересів при прийнятті рішень. У статті підкреслюється необхідність розробки чітких і зрозумілих критеріїв для широкого кола зацікавлених сторін з метою підвищення прозорості та участі громадськості в процесі оцінки впливу на довкілля. Для оцінки впливу будівництва доріг на лісові екосистеми автори пропонують використовувати систему індикаторів, яка відображує вплив на здоров'я населення, економічну ефективність та соціальні наслідки. Методологія оцінки базується на просторовому масштабі, тривалості та градації інтенсивності впливу. Метою такої структури оцінки є покращення розуміння громадськістю результатів оцінки впливу на довкілля (ОВД) шляхом їх узагальнення у розділі під назвою «Резюме нетехнічного характеру інформації, розраховане на широку аудиторію» у звіті з ОВД щодо планованої діяльності.

У статті підкреслюється важливість залучення громадськості та прозорості процесу ОВД, а також пропонується методологія оцінки впливу будівництва доріг на лісові екосистеми, яка може бути корисною для осіб, що приймають рішення, та громадськості під час громадського обговорення звіту з ОВД планованої діяльності. Запропоновані критерії оцінки допоможуть людям без спеціальних знань повністю зрозуміти показники, які використовуються для оцінки впливу планованої діяльності на довкілля, оскільки критерії включають конкретні кількісні параметри. Це сприятиме збалансованому підходу до вирішення питань, що стосуються екологічних, економічних та соціальних аспектів, тим самим сприяючи сталому розвитку лісових екосистем.

***Ключові слова*:** оцінка впливу на довкілля; будівництво доріг; лісові екосистеми; критерії оцінки впливу на довкілля; комунікації із зацікавленими сторонами

***Вступ*.** Оцінка впливу на довкілля (ОВД) – це процедура, яка застосовується для виявлення та оцінки потенційного впливу на довкілля планованої діяльності (ПД) з урахуванням державних, громадських та приватних інтересів [1]. Основна мета ОВД полягає у тому, щоб переконатися, що перед реалізацією планованої діяльності розглянуті та враховані не тільки масштаби та значущість потенційного впливу від здійснення ПД, а також екологічні проблеми території провадження ПД та інтереси всіх зацікавлених сторін.

Громадськість має право брати участь у процесі оцінки впливу на довкілля. Це включає право на доступ до інформації, право на висловлення думок і право на врахування думок громадськості під час прийняття рішень. Існує низка міжнародних стандартів, які містять керівництво щодо участі громадськості в процесі ОВД, зокрема: Орхуська конвенція [2]; Директива 2011/92/ЄС про оцінку впливу окремих державних і приватних проєктів на довкілля [3]; Керівні принципи ЄБРР щодо оцінки впливу на навколишнє середовище та соціальну сферу [4]; Стандарти Міжнародної фінансової корпорації (МФК) з оцінки та управління екологічними та соціальними ризиками і впливами [5]. Ці

стандарти були розроблені з метою забезпечення можливостей участі громадськості при прийнятті рішень щодо допустимості чи недопустимості впровадження планованої діяльності.

На сьогодні проблема ефективної ОВД в Україні стає ще більш гострою. Хоча наукові дослідження ОВД продовжують розвиватися, залишається потреба в розробці критеріїв, зрозумілих для громадськості. Відсутність доступних і зрозумілих критеріїв може призвести до недостатньої участі громадськості в процесі ОВД планованої діяльності. В свою чергу, недостатня участь громадськості може призвести до прийняття неповних та упереджених рішень щодо прийнятності ПД, що загрожує сталому розвитку та охороні навколишнього середовища. Тому, для підтримки участі громадськості в ОВД необхідно вирішити проблему нерозуміння громадськістю критеріїв ОВД та забезпечити широку участь громадськості в оцінці впливу на довкілля планованих заходів.

У Законі України «Про оцінку впливу на довкілля» передбачено розділ «Резюме нетехнічного характеру інформації, розраховане на широку аудиторію» [1]. Цей розділ має важливе значення для донесення інформації про ОВД у доступній формі. Резюме повинне бути написано доступно, з урахуванням критеріїв, зрозумілих широкому колу зацікавлених сторін. Важливість розробки критеріїв для ОВД є критичним для підвищення прозорості та сприяння участі громадськості у процесі прийняття рішень щодо впровадження проєктних рішень. Чіткі та доступні критерії дозволять громадськості активно брати участь в оцінці можливих наслідків здійснення планованої діяльності, висловлювати свої погляди та впливати на прийняття рішень щодо впровадження ПД.

Нещодавні дослідження підкреслюють важливість участі громадськості в процесі оцінки впливу на довкілля планованої діяльності. Досі дебати були зосереджені на причинах і варіантах залучення громадськості до ОВД та визначенні переваг для прийняття рішень щодо провадження планованої діяльності. Більша увага до участі громадськості під час процесу ОВД призводить до кращої оцінки навколишнього середовища, а отже, до формулювання проєктів, які забезпечують більше соціальних вигод, менше екологічних витрат і більші економічні та фінансові вигоди. [6]. Необхідно зробити прозорим на основі яких міркувань і критеріїв особи, які приймають рішення, робили свій вибір [7].

Огляд сучасної наукової літератури з питань ефективності участі громадськості в оцінці впливу на довкілля (ОВД) дозволив визначити ключові параметри, яким мають відповідати критерії оцінки, щоб бути зрозумілими для широкої громадськості (рис. 1).

В результаті досліджень встановлено, що формулювання чітких, вимірних та зрозумілих для пересічних громадян критеріїв ОВД є важливим кроком для забезпечення їх повноцінної участі у цьому процесі та прийнятті обґрунтованих рішень.

Результати і пояснення. За даними Державного лісового кадастру, загальна площа лісів, що належать до лісового фонду України, становить 10,4 млн.га, з яких вкриті лісовою рослинністю 9,6 млн.га. Рівень лісистості в Україні становить 15,9%. Розподіл лісів вкрай нерівномірний. В основному вони зосереджені на Поліссі та в Українських Карпатах (рис. 2) [8].



Рисунок 1 – Ключові параметри критеріїв ОВД
Figure 1 – Key parameters of the EIA criteria

В українських лісах у 2020 році було збудовано близько 100 км транспортних шляхів. На думку фахівців Державної служби лісових ресурсів України, розширення мережі доріг у лісовому фонді України сприятиме мінімізації пошкодження ґрунту та лісової підстилки під час лісозаготівель. Будівництво лісових доріг відповідає вимогам міжнародних зобов'язань України в рамках «Конвенції про охорону біологічного різноманіття», «Рамкової конвенції про охорону та сталий розвиток Карпат», «Конвенції про охорону дикої фауни, флори та природного середовища їх перебування в Європі», якими задекларовано покращення якості життя, сприяння розвитку місцевої економіки та місцевих громад, зміцнення і захист природної цінності та культурної спадщини, а також декларують комплексну політику захисту та сталого розвитку регіонів. Будівництво лісових доріг – проєвропейський вектор розвитку лісового господарства. У європейських країнах, наприклад, будівництво лісових доріг є одним із пріоритетних напрямків. У Латвії щільність мереж і доріг на 1000 га лісового фонду становить 10 км, у Скандинавії – 30 км, у Німеччині – 36 км. В Україні мережа лісових доріг недостатньо розвинута, а її щільність варіюється в залежності від лісової зони (Карпати, Полісся, Лісостеп і Степ), коливаючись від 3,0 км/1000 га до 13,5 км/1000 га, і є нерівномірною по регіонах. Щільність транспортної мережі напряму залежить від ґрунтово-гідрологічних умов і топографії. Наприклад, у гірських лісах Карпат вона становить 3,5-6,0 км/1000 га, тоді як середнє значення цього показника в гірських лісах Європи-8,0-33,0 км/1000 га, що в два-п'ять разів вище, ніж в Україні [9].

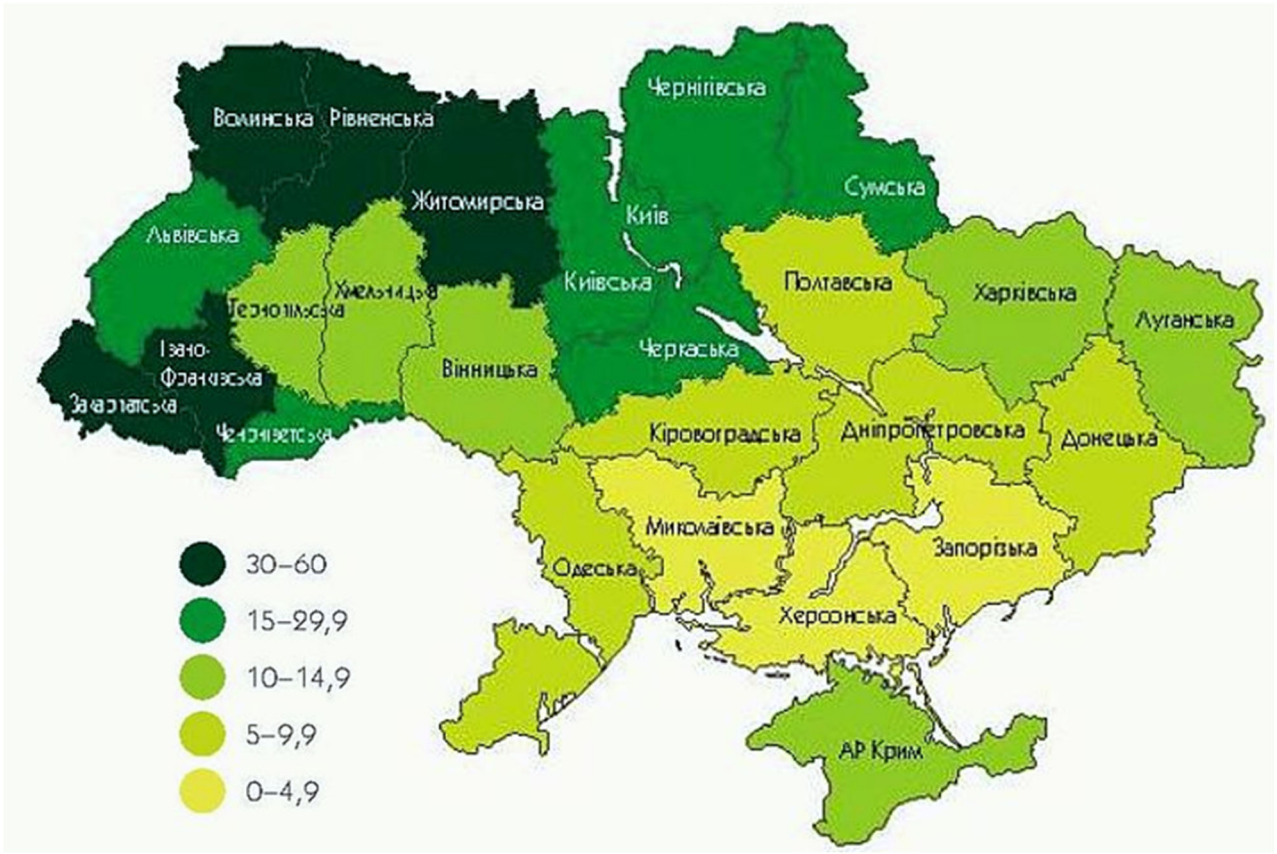


Рисунок 2 – Лісистість України у розрізі адміністративно-територіальних одиниць, %
Figure 2 – Forest cover in Ukraine by administrative-territorial units, %

Будівництво автодоріг першої категорії, згідно Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» відносяться до першої категорії видів планованої діяльності, яка підлягає обов'язковій оцінці впливу на довкілля [1].

Основні екологічні проблеми, пов'язані з будівництвом доріг у лісових екосистемах, можна розділити на дві основні категорії: порушення та фрагментація лісових екосистем.

Будівництво доріг призводить до фрагментації лісових масивів, що негативно впливає на стан популяцій тварин і рослин [10]. Це пов'язано з порушенням їхніх міграційних шляхів та взаємозв'язків всередині екосистеми. Крім того, фрагментація лісів може призвести до ізоляції окремих ділянок, що, в свою чергу, погіршує умови для збереження біорізноманіття. Будівництво доріг супроводжується зняттям ґрунтового покриву та лісової підстилки, що порушує структуру ґрунту, призводить до ерозії та зміни гідрологічного режиму. Ці зміни можуть призвести до осушення територій, які є критично важливими для водопостачання лісових екосистем. Крім того, будівництво та експлуатація доріг може призвести до забруднення навколишнього середовища, оскільки викиди транспорту, матеріали дорожнього покриття та інші речовини потрапляють у повітря, ґрунт та водні об'єкти. Будівництво доріг може призвести до прямого знищення цінних природних ландшафтів та місць існування рідкісних видів флори і фауни [11].

При будівництві доріг у лісових екосистемах надзвичайно важливо проводити оцінку впливу на довкілля. Вона дозволяє визначити та оцінити потенційні екологічні ризики та негативні наслідки будівництва. Вкрай важливо, щоб екологічні, економічні та соціальні міркування були інтегровані в процес прийняття рішень щодо доцільності будівництва доріг у лісових екосистемах.

Участь громадськості в процесі оцінки впливу на довкілля будівництва доріг у лісових екосистемах є важливим кроком у забезпеченні відкритого, прозорого та демократичного прийняття рішень. Громадські обговорення, публічна інформація, консультації та діалог, публікація результатів є ключовими аспектами залучення громадськості (рис. 3).



Рисунок 3 – Участь громадськості в процесі ОВД
Figure 3 – Public participation in the EIA process

Для сприйняття громадськістю результатів оцінки впливу на довкілля будівництва доріг у лісових екосистемах пропонується у резюме нетехнічного характеру звіту з ОВД застосувати різні показники, такі як: вплив на здоров’я населення, навколишнє середовище, включаючи флору, фауну, водні ресурси та якість повітря; економічна ефективність; вартість будівництва, експлуатації, ремонту та утримання дороги; технічна доцільність та соціальний вплив.

Наслідки впливів пропонується оцінювати для комбінації обраних факторів, що дозволить коротко охарактеризувати вплив за: просторовими масштабами впливу, масштабами тривалості й інтенсивності впливу.

Для кожного показника визначається ряд впливів згідно зі шкалою градації з масштабом від 0 до 5. Для кожної градації впливу планованої діяльності на визначені показники пропонується використовувати відповідні критерії (табл. 1, 2, 3).

Таблиця 1 – Градація просторових масштабів впливу
Table 1 – Gradation of spatial scales of impact

Градація просторових масштабів	Критерії	Бал
Нульовий	Вплив відсутній або є незначним	0
Локальний	Вплив проявляється на території планованої діяльності	1
Місцевий	Вплив проявляється на території прилеглих населених пунктів	2
Обласний	Вплив проявляється на території одного або декількох адміністративних районів	3
Регіональний	Вплив проявляється на території декількох областей	4
Національний	Вплив проявляється на території декількох суміжних областей або держави в цілому	5

Таблиця 2 – Градація масштабів тривалості впливу
Table 2 – Gradation of exposure duration scales

Градація інтенсивності впливу	Критерії	Бал
Нульовий	Вплив відсутній або є незначним	0
Мінімальний	Відхилення діють у межах існуючих до початку реалізація проєкту	1
Дуже слабкий	Відхилення можуть перевищити існуючі умови місцевих населених пунктів	2
Слабкий	Відхилення ймовірно перевищать існуючі умови обласного рівня	3
Помірний	Відхилення ймовірно перевищать існуючі умови регіонального рівня	4
Сильний	Відхилення ймовірно перевищать існуючі умови державного рівня	5

Градація тимчасових масштабів	Критерії	Бал
Нульовий	Вплив відсутній або є незначним	0
Короткостроковий	Вплив проявляється за період часу не більше 1 року	1
Середньостроковий	Вплив проявляється від 1 до 3-х років	2
Довгостроковий	Вплив проявляється від 3-х років	3
Тривалий	Вплив проявляється понад 10 років	4
Постійний	Вплив, який спостерігається увесь час (без перерв, але, можливо, з різною інтенсивністю) протягом однієї або кількох фаз життєвого циклу проєкту	5

Таблиця 3 – Градації масштабів інтенсивності впливу
Table 3– Gradations of impact intensity scales

Градація інтенсивності впливу	Критерії	Бал
Нульовий	Вплив відсутній або є незначним	0
Мінімальний	Відхилення діють у межах існуючих до початку реалізація проєкту	1
Дуже слабкий	Відхилення можуть перевищити існуючі умови місцевих населених пунктів	2
Слабкий	Відхилення ймовірно перевищать існуючі умови обласного рівня	3
Помірний	Відхилення ймовірно перевищать існуючі умови регіонального рівня	4
Сильний	Відхилення ймовірно перевищать існуючі умови державного рівня	5

Пропонується оцінку здійснювати у 2-а етапи. На першому етапі негативні та позитивні просторові впливи, а також тривалість та інтенсивність впливу підсумовуються окремо для кожного оцінюваного показника, відповідно до етапів шкали впливу, наведених у таблицях 1, 2 та 3. В результаті отримуємо оцінку впливу. На другому етапі підсумкові негативні та позитивні впливи підсумовуються для визначення комплексного балу за кожним розглянутим показником.

Бал отриманої оцінки дозволяє визначити підсумковий рівень впливу (високий, середній, низький), на конкретний показник (табл. 4).

Підсумкові бали та вплив

Таблиця 4 – Градації масштабів інтенсивності впливу
Table 4 – Final scores and impact

Підсумковий бал	Підсумковий вплив
від +1 до +5	Низький позитивний вплив
від +6 до +10	Середній позитивний вплив
від +11 до +15	Високий позитивний вплив
0	Вплив відсутній
від -1 до-5	Низький негативний вплив
від -6 до-10	Середній негативний вплив
від -11 до -15	Високий негативний вплив

Слід зазначити, що використання балів не має на меті відобразити конкретне значення, пов'язане з впливом. Запропонована система оцінювання покликана забезпечити інструмент, який допоможе представити результати ОВД у розділі «Резюме нетехнічного характеру інформації,

розраховане на широку аудиторію» у звіті з ОВД щодо планованої діяльності для розуміння громадськістю.

Висновки. Оцінка впливу на довкілля є ключовим етапом будівництва доріг у лісових екосистемах. Вона дозволяє визначити та оцінити потенційні екологічні ризики та негативні впливи, включаючи порушення та фрагментацію лісових екосистем, що може призвести до ізоляції окремих ділянок та погіршення умов для збереження біорізноманіття.

Вкрай важливо, щоб громадськість мала можливість брати участь у процесі оцінки впливу на довкілля (ОВД) при будівництві доріг у лісових екосистемах. Це гарантує, що інтереси місцевих громад, які можуть бути безпосередньо залучені або постраждати від проєкту, будуть належним чином враховані.

Доступ до інформації та можливість громадського обговорення, консультацій та діалогу щодо запланованої діяльності забезпечують прийняття обґрунтованих рішень, що відповідають принципам сталого розвитку лісових екосистем.

Запропоновані критерії оцінки, які визначають просторовий масштаб, тривалість та інтенсивність впливу планованої діяльності, включають екологічні, економічні та соціальні аспекти, пов'язані з будівництвом доріг і забезпечать ефективну участь громадськості в процесі ОВД.

Отже, впровадження запропонованого підходу ОВД, сприятиме прозорості процесу прийняття рішень щодо будівництва доріг у лісових екосистемах. Це передбачатиме врахування екологічних, економічних та соціальних інтересів, а також активну участь громадськості для забезпечення сталого розвитку лісових екосистем.

Перелік посилань

1. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України від 23.05.2017 № 2059-VIII // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text (дата звернення: 20.06.2024).

2. Convention on Access to Information, Public Participation in Decision-making and Access to Justice in Environmental Matters (Конвенція про доступ до інформації, участь громадськості в процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля) // База даних законодавство Європейського союзу. URL: https://unece.org/environment-policy/public-participation/aarhus-convention/text (дата звернення: 20.06.2024).

3. Directive 2011/92/EU on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment (Директива 2011/92/ЄС про оцінку впливу окремих державних і приватних проєктів на довкілля) // База даних законодавство Європейського союзу. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32011L0092 (дата звернення: 20.06.2024).

4. Environmental and Social Policy. The European Bank for Reconstruction and Development (Екологічна та соціальна політика. Європейський банк реконструкції та розвитку). URL: https://www.ebrd.com/news/publications/policies/environmental-and-social-policy-esp.html (дата звернення: 20.06.2024).

5. IFC's Performance Standards on Environmental and Social Sustainability (Стандарти діяльності Міжнародної фінансової корпорації з з екологічної та соціальної стійкості). URL: https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/Topics_Ext_Content/IFC_External_Corporate_Site/Sustainability-At-IFC/Policies-Standards/Performance-Standards (дата звернення: 20.06.2024).

6. Kanu Ejikeme, Tyonum Emmanuel, Uchegbu Smart. Public participation in environmental impact assessment (EIA): A critical analysis. *Architecture and Engineering*. 3(1) (2018) 7–12.

7. Anne N. Gluckera, Peter P.J. Driessen, Arend Kolhoff, Hens A.C. Runhaar Public participation in environmental impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*. 43 (2013) 104–111.

8. Публічний звіт голови Державного агентства лісових ресурсів України за 2023 рік. // Офіційний Вебпортал Державного лісового агенства України. URL: https://forest.gov.ua/agentstvo/komunikaciyi-z-gromadskistyu/publichni-zviti-derzhlisagentstva (дата звернення: 20.06.2024)

9. У лісах України - велике будівництво лісових доріг. // Офіційний вебпортад Державного агентства лісових ресурсів України. URL: https://forest.gov.ua/news/u-lisah-ukrayini-velike-budivnictvo-lisovih-dorig.

10. Барабаш О. В. Екологія земноводних та плазунів Опілля : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спец. 03.00.16 «екологія». Чернівці, 2002. 20 с.

11. Барабаш О. В., Стецула Н. О. Вертикальне поширення мишоподібних гризунів у біотопах лісництв національного природного парку «Сколівські Бескиди». *Наук. зап. Тернопол. нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Серія Біологія*, 2007. № 1 (31). С. 55–59.

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT FOR ROAD CONSTRUCTION WITHIN FOREST ECOSYSTEMS

Olena Barabash, National Transport University, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Ecology and Environmental Protection technology, e-mail: barabashelena29@gmail.com, tel. (044) 2885100, Ukraine, Kyiv 01010, 1 M. Omelianovycha-Pavlenka Str., https://orcid.org/0000-0001-5206-2922.

Tetiana Pokshevnytska, National Transport University, PhD student at the Department of Ecology and Environmental Protection technology, e-mail: officenttn@gmail.com, tel. (066) 1552828, Ukraine, Kyiv 01010, 1 M. Omelianovycha-Pavlenka Str., https://orcid.org/0009-0008-6606-5073.

Olha Khrutba, National Transport University, PhD student at the Department of Ecology and Environmental Protection technology, e-mail: o.hrutba@gmail.com, tel. (073) 0419034, Ukraine, Kyiv 01010, 1 M. Omelianovycha-Pavlenka Str., https://orcid.org/0009-0000-5909-8610.

Yuliya Khrutba, National Transport University, Ph.D., Associate professor at the Department of transport Law and Logistics, e-mail: hrutbaj@gmail.com, тел. +380956615360, Ukraine, 01010, Kyiv, 1 M. Omelianovycha-Pavlenka Str., https://orcid.org/0000-0002-3419-8364.

Abstract. The Environmental Impact Assessment (EIA) represents a pivotal stage in the decision-making process for the implementation of a planned activity, particularly in instances where road construction in forests may have a detrimental impact on vulnerable forest ecosystems. The primary objective of the Environmental Impact Assessment (EIA) is to guarantee that, prior to the commencement of the planned activity, not only are the scale and significance of potential environmental impacts resulting from the planned activity considered and taken into account, but also the environmental issues prevalent in the project area, as well as the interests of all stakeholders. In the article, the authors emphasise the importance of effective public involvement in the EIA process and the necessity of considering state,

public and private interests in decision-making. The article emphasises the necessity of developing transparent and comprehensible criteria for a diverse range of stakeholders in order to enhance transparency and public participation in the environmental impact assessment process. In order to assess the impact of road construction on forest ecosystems, the authors propose the use of a system of indicators that reflect the impact on public health, economic efficiency, and social impacts. The assessment methodology is based on the spatial scale, duration, and gradation of impact intensity. The objective of this assessment structure is to enhance public comprehension of the findings of the environmental impact assessment (EIA) by presenting them in a section designated "Summary of non-technical information for a wide audience" in the EIA report on the proposed activity.

The article emphasises the importance of public involvement and transparency in the EIA process, and proposes a methodology for assessing the impact of road construction on forest ecosystems that can be useful for decision makers and the public during public discussion of the EIA report on the planned activity. The proposed assessment criteria will assist those without special knowledge in fully understanding the indicators used.

Keywords: environmental impact assessment; road construction; forest ecosystems; environmental impact assessment criteria; stakeholder communications.

References

1. Pro otsinku vplyvu na dovkillia: Zakon Ukrainy vid 23.05.2017 № 2059-VIII // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text (data zvernennia: 20.06.2024) [in Ukrainian].

2. Convention on Access to Information, Public Participation in Decision-making and Access to Justice in Environmental Matters (Konventsiia pro dostup do informatsii, uchast hromadskosti v protsesi pryiniattia rishen ta dostup do pravosuddia z pytan, shcho stosuiutsia dovkillia) // Baza danykh zakonodavstvo Yevropeiskoho soiuzu. URL: https://unece.org/environment-policy/public-participation/aarhus-convention/text (data zvernennia: 20.06.2024) [in English].

3. Directive 2011/92/EU on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment (Dyrektyva 2011/92/YeS pro otsinku vplyvu okremykh derzhavnykh i pryvatnykh proiektiv na dovkillia) // Baza danykh zakonodavstvo Yevropeiskoho soiuzu. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32011L0092 (data zvernennia: 20.06.2024) [in English].

4. Environmental and Social Policy. The European Bank for Reconstruction and Development (Ekolohichna ta sotsialna polityka. Yevropeiskyi bank rekonstruktsii ta rozvytku). URL: https://www.ebrd.com/news/publications/policies/environmental-and-social-policy-esp.html (data zvernennia: 20.06.2024) [in English].

5. IFC's Performance Standards on Environmental and Social Sustainability (Standarty diialnosti Mizhnarodnoi finansovoi korporatsii z z ekolohichnoi ta sotsialnoi stiikosti). URL: https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/Topics_Ext_Content/IFC_External_Corporate_Site/Sustainability-At-IFC/Policies-Standards/Performance-Standards (data zvernennia: 20.06.2024) [in English].

6. Kanu Ejikeme, Tyonum Emmanuel, Uchegbu Smart. Public participation in environmental impact assessment (EIA): A critical analysis. Architecture and Engineering. 3(1) (2018) 7–12 [in English].

УДК 658.7.011.1:001.2 **DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-276-289**
UDC 658.7.011.1:001.2

IMPLEMENTATION ASPECTS ANALYSIS OF SYNCRETIC METHODOLOGY IN THE MANAGEMENT OF INFRASTRUCTURE RESTORATION PROJECTS

АНАЛІЗ АСПЕКТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ СИНКРЕТИЧНОЇ МЕТОДОЛОГІЇ ПРИ УПРАВЛІННІ ПРОЄКТАМИ ВІДНОВЛЕННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ



***Ivko Andrii**, candidate of technical sciences, associate professor of the project management department, Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv, Ukraine, e-mail: andrii.ivko.science@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0002-3388-8355

Summary: The work substantiates the relevance of the syncretic methodology for managing infrastructure restoration projects and investigates the aspects of its implementation that have been carried out. The purpose of the research is set. The available project management methodologies were analyzed, and five typical models of building a corporate project management methodology in the organization were identified. The place and significance of syncretic methodology is outlined. The object of analysis to which the syncretic methodology was applied is described - the Grand portfolio of restoration projects, consisting of projects and portfolios of infrastructure restoration projects. The implemented model of the cyclical process of implementation of management of restoration projects is described. The "system-result" model of the created syncretic methodology of infrastructure restoration project management, which was implemented, is also presented and described.

The implementation of the syncretic project management methodology in the context of the implementation of the Grand portfolio of restoration projects was analyzed from organizational, methodological and instrumental aspects. Each such aspect is considered in the perspective of the five directions that are described. According to the results of the analysis, the regularities that were discovered during the implementation, which influenced the adjustment of the models and methods of the syncretic methodology, were formulated. Also given is a SWOT analysis of the implementation of syncretic methodology models and methods in the implementation of projects and portfolios of restoration projects. Prospects for further scientific research in the chosen direction are also determined.

Keywords: infrastructure restoration projects, project and program management, project management methodology, self-managed organization, syncretic methodology.

Introduction. One of the important tasks defined by the President of Ukraine [1], and the implementation of which the government takes care of, is the restoration of the infrastructure that was destroyed as a result of the aggression of the russian federation against Ukraine. Such recovery is implemented in the form of projects, portfolios of projects and programs consisting of projects that have a single goal.

Therefore, the project and program management methodology is applicable and appropriate for infrastructure restoration activities. At the same time, the success of restoration projects will be influenced both by the choice of an adequate management methodology and by its effective implementation, which should take place in accordance with certain processes and using appropriate models and methods.

The rapid development of project and program management methodology led to its formation as a separate field of knowledge and practical activity [2]. This determined the standards and rules of the industry, as well as caused the emergence of new methodological approaches to the management of certain classes of projects. One of these approaches is the development of the author - it is a syncretic methodology of managing development projects using models of self-managed teams and value-oriented management [3].

In general, the methodological apparatus of project management in companies and organizations is implemented in corporate project management methodologies. Such methodologies are chosen by companies and organizations based on existing and effective modern methodological developments in this field. Let's analyze the main ones.

The methodology that can be built on the PMBOK (Project Management Body of Knowledge) standard of the American organization PMI (Project Management Institute), which is an international association for project management, is considered the most widespread and tested in the world. This standard has been developing since the mid-80s of the last century. The latest version of the PMBOK standard [4] is a logical step in the evolution of the previous ones, but it contains significant differences. It is built on principles (which are new) identified 12 relevant to modern project management. A separate artifact of the modern version of the standard is the system of delivering values in projects. In addition, instead of the standard 10 areas of project management that were inherent in the previous standards, the seventh edition of the PMBOK proposed 8 areas, within which separate models, methods and management tools should be used. These are the project team, project stakeholders, project life cycle, project planning process and project activities, project execution process, project delivery process, project measurement and evaluation, risks and uncertainties. Also, the defining artifact of the seventh version is the process of tailoring (adjusting) the methodology chosen by the project-oriented organization for implementation to the conditions of the organization itself. This is an important element capable of increasing the effectiveness of project management methodologies used by organizations. This article is dedicated to the results of syncretic methodology tailoring to infrastructure restoration projects.

Classic project management methodologies have also developed in the direction of managing project collections - portfolios and programs. PMI supports the development of two related standards, both of which are in their fourth edition. In particular, the standard in the field of program management [5] provides a list of models and methods for managing a set of projects that have a single goal, such a set is identified as a program, and the management of such a set takes place in the context of program management. However, the most typical situation for project-oriented companies and organizations is the implementation of a set of projects defined by different customers. Therefore, such projects cannot have a common goal, but their implementation is united by a common pool of resources - the personnel of a project-oriented organization that can be involved in the implementation of projects. Moreover, one and the same person (which is typical in a matrix organizational structure) can simultaneously participate in several of them. For such cases, the classic PMI standard on project portfolio management [6], which offers a set of relevant models and methods, can be used as the basis of the corporate project management methodology. Further development of project management systems took place in connection with the emergence of the P2M standard of the Japanese Project Management Association. The current version of this standard is the third [7]. This standard introduces the concept of value

into project management for the first time. Moreover, the project is defined as an obligation to create value. After the appearance of relevant concepts, value-oriented management became a trend of modern project management and is reflected in most modern standards.

The next stage in the evolution of project management methodologies should be considered the emergence of a flexible Agile project management methodology [8]. This methodology originated in the environment of IT companies, and after its spread later became part of classical methodologies as well. However, it is worth noting that Agile is mostly used in IT companies. And outside the IT industry, in companies of other industries, it is forced to be used by almost all companies, since modern project management systems (and organization management systems in general) still have an IT implementation.

And therefore, at the intersection of modern methodological currents, in the conditions of such growing methodological confusion, an almost urgent question arises regarding the choice of an appropriate project management methodology [9]. This determined the direction of scientific research to find a solution to the relevant problem. It is worth identifying at least five typical models for building a corporate project management methodology in an organization:

- based on the use of one standard (one methodology);
- based on the use of the mosaic methodology - elements of several classical methodologies used together;
- based on the convergence of classical methodologies – elements of several classical methodologies that are used together and adapted for implementation in a specific organization;
- based on the use of "hybrid" - the joint use of several frameworks of flexible methodology or one framework of flexible methodology and one of the classic standards in the field of project management [10];
- based on a syncretic approach - ensures that individual teams use their project management methodology, and such methodologies should not be mixed at the level of the corporate project management system, but used in isolation from each other. In a project portfolio or program, for example, each project (according to the syncretic approach) can be managed using its own methodology.

The search for appropriate methodological mixes also takes place within the boundaries of the field of research - in relation to infrastructure restoration projects and its development, in particular, in relation to appropriate models and methods of hybridization of methodologies [11], as well as in relation to models and methods of strategic management in relation to the management of organizational projects [12].

Effective project management methodologies in the field of infrastructure restoration should take into account another modern trend of management systems – self-management of organizations and project teams. Relevant research was initiated in [13] and is related to the next stage of organizational development and maturity of the management system [14]. The level of self-managed teams can be compared to the fifth level of technological maturity in project management according to Harold Kerzner's model. Further research led to the emergence of a new direction in management systems - holacratic management [15], which institutionalizes the principles of self-creation and, in particular, considers models of their interaction with classical hierarchical organizations.

Thus, the syncretic project management methodology, which can be applied in the management of infrastructure restoration projects by those project teams that, in particular, use the principles of self-management, should take into account all modern trends in the pursuit of increasing efficiency, in particular, the development in the field of artificial intelligence [16].

A separate issue that requires research is the implementation of project management methodology in the activities of project-oriented organizations. The development of a methodology for the needs of a specific

organization (or for a specific type of organization) also requires the creation of models for the implementation of such a methodology, its adaptation to specific conditions of activity, to the specific environment of projects. Relevant scientific studies [17] single out such problems and offer applicable models and methods. However, it is worth noting that the topic of implementing project management methodologies in the activities of project-oriented organizations managing infrastructure restoration projects has not been sufficiently researched. This also applies to the syncretic methodology. Therefore, the topic of this article, which is devoted to the analysis of aspects of the implementation of syncretic methodology in the management of infrastructure restoration projects, is relevant.

Materials and methods. The methodological basis is the scientific approach of project and program management to the analysis of research issues through the use of statistical, formal-logical and complex research methods. The sources of the research are the current legal framework and the results of the implementation of scientific developments regarding models and methods of syncretic methodology in the State Agency for Restoration and Development of Infrastructure of Ukraine.

The purpose of the work is to consider the problems of implementing syncretic methodology in the management of infrastructure restoration projects and to analyze the aspects of such implementation. The current situation with the implementation of reconstruction projects in the conditions of war and increased requirements for projects require the use of new approaches to management. Another aspect that should be taken into account when creating a management system for such projects is the large number of participants representing different countries and different management cultures. And therefore, the infrastructure restoration project management methodology, which should become the basis of the corporate project management system, should meet the specified modern challenges. This methodology was developed and implemented in the State Agency for Reconstruction and Development of Infrastructure of Ukraine (SARDI). It is worth carrying out an analysis of the implementation that has been carried out, for the future improvement of the efficiency of management systems of restoration projects, which will be based on the syncretic methodology.

Presenting main material. The implementation of project management methodologies in practical activities is associated with the need to integrate a certain set of principles, models, methods and tools into the corporate project management system of a project-oriented organization. Such implementation can be considered in several aspects. For our study, we will choose three of such aspects that are somewhat typical. So, let's analyze the implementation of the syncretic project management methodology that took place in the SARDI in organizational, methodological and instrumental aspects. Under the instrumental aspect, we will understand the IT implementation of syncretic management models and methods within the selected IT ecosystem.

The object of the implementation analysis is the Grand portfolio of restoration projects, the implementation of which was managed by SARDI. The specified Grand portfolio consists of about 40 management objects, of which about 20 project portfolios and about 20 individual restoration projects. The vast majority of projects relate to construction, several projects relate to the IT component of project management system support (in particular, regarding the development and implementation of a system for monitoring the progress of restoration projects based on the MS Power BI solution from the Office 365 ecosystem, the use of BIM design technology, etc.).

The composition of the Grand portfolio is dynamic, in 2023 the number of management objects in it varied from 35 to 42. Such dynamism is justified by periodic (usually weekly) review of the Grand portfolio at joint meetings with project coordinators chaired by a representative of SARDI top management. Based on

the results of such meetings, some projects and/or project portfolios may be either excluded from the Grand Portfolio or, conversely, included in it.

The concept of implementing project management in the context of a syncretic approach provided for the implementation process of each portfolio project in accordance with four steps (Fig. 1). Moreover, steps 2-4 were implemented throughout the entire life cycle of the project, and the project manager could also return to step 1 when reviewing the status (once a month).

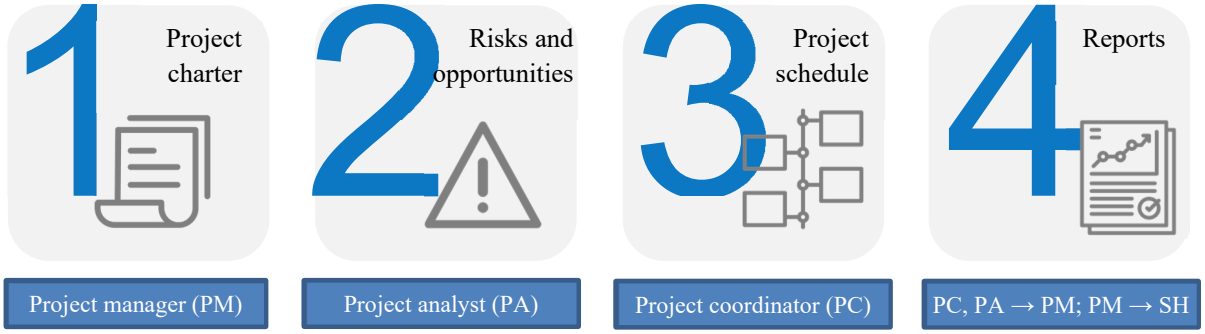


Figure 1 – The cyclical process model of implementation of restoration projects management

Project reporting (step 4) relied on three project roles according to the role model. The first iteration included a risk report from the Project analyst (PA) and a project execution report according to the calendar-network model (project schedule) from the Project coordinator (PC). These reports are provided to the project manager (PM). In turn, the project manager submitted a report on the implementation of the project to stakeholders (SH) in accordance with the established list in accordance with the agreed forms. Based on the results of the review of the reports, monitoring took place - managerial influences were generated, which were aimed at ensuring that the project met the limitations of the implementation time, the budget, the acceptable level of risks, and the approved quality of the project's products (results).

The "system - result" model of the created syncretic methodology of infrastructure restoration project management, which was implemented, is presented in fig. 2. The infrastructure restoration project monitoring system includes the triad "IT - Rules - People". Such a triad is based on the human dimension (includes project activity participants and their organization), the methodological dimension (includes syncretic methodology and artifacts derived from it – models, methods, templates, forms, etc.) and the instrumental IT dimension (includes IT implementation tools with the help of which participants project activities implement a syncretic methodology).

Let's analyze the implementation of the syncretic project management methodology in the context of the implementation of the Grand portfolio of restoration projects according to the specified aspects (organizational, methodological, instrumental).

1. ORGANIZATIONAL ASPECT OF SYNCRETIC METHODOLOGY IMPLEMENTATION.

Let's consider this aspect from the perspective of the five directions presented below.

1.1. Definition of roles, role structure of project/portfolio management.

The role structure was created according to the principle of distributed project teams. In such teams, the following roles were assumed for each project: project manager, project coordinator, project monitoring specialist, project administrator,

1.2. Identification of responsible persons who will take the roles.

Based on the results of discussions and meetings, the principle of appointment to roles in restoration projects was approved. In accordance with this principle, the head of the structural division of the central apparatus was appointed as the project manager. At the same time, such a manager performed the role of manager of a portfolio of projects - a set of projects that were coordinated by employees of his structural division. Employees of the central office (main specialists) were appointed project coordinators. The role of project monitoring specialists was assigned to employees of one of the departments of the central apparatus, which were related to the IT direction. The role of project administrators rested with the workers of the Restoration Services in the regions.

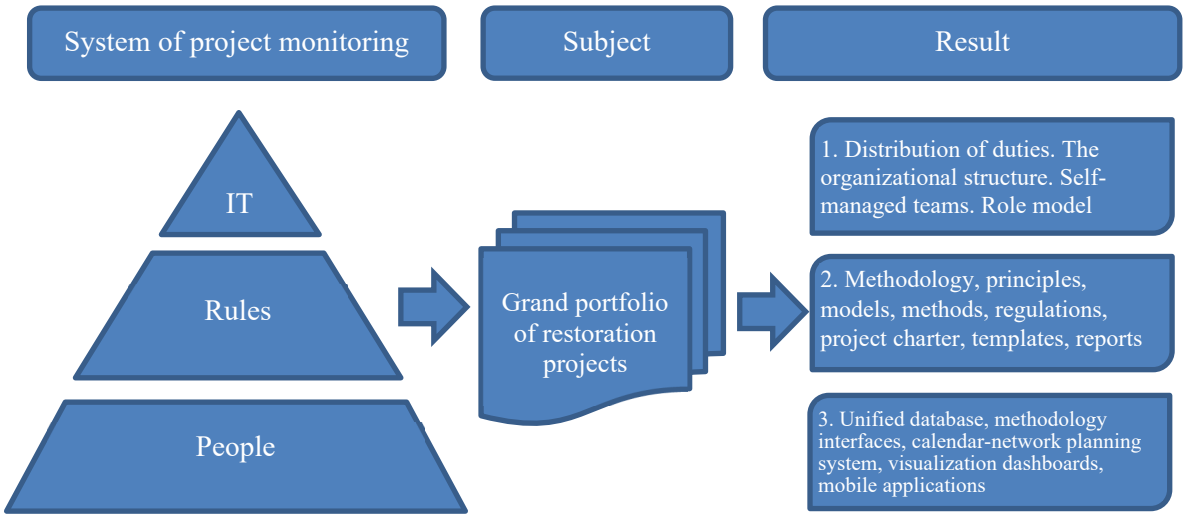


Figure 2 – Модель «система – результат» створеної синкретичної методології управління проєктами відновлення

1.3. Organization of self-managed teams (teams with elements of self-management).

After fixing those responsible for each restoration project, the project management teams organized themselves. In particular, each team created a communication platform (as a rule, through the creation of a group in the messenger, however, the teams were not limited in choosing a platform and chose it independently). In addition, the teams chose a convenient time to hold weekly (for some projects – more often) project meetings. Representatives of the project management team, project participants, contractors, and other stakeholders were invited to such meetings as needed. The project management methods, as well as the management methodology, were chosen by the team independently, as were the approaches to the motivation of project participants. The above confirms the implementation of elements of self-management in the management of infrastructure restoration projects.

1.4. Conducting reporting weekly meetings (on all streams, the main ones of which are the general meeting on monitoring the progress of the Grand Portfolio, the development of the IT system for monitoring the Grand Portfolio based on the MS Power BI IT solution).

Internal meetings on projects were held for the purpose of monitoring the implementation of projects, as well as for the purpose of preparing for the reporting weekly meeting for the entire set of projects and portfolios of restoration projects. Such a meeting with the Grand Portfolio was held weekly. At this meeting, the restoration project coordinators presented a report for the week in the form of a presentation, as well as a

project dashboard that was created using MS Power BI and was constantly updated (there was a constant update of data on the progress of project implementation). The Grand Portfolio meeting was held by a representative of the top management of the SARDI. Based on the results of such meetings, management decisions were made regarding each project and portfolio of restoration projects. The implementation of such decisions was monitored and added to the calendar and network schedule of the project.

1.5. Institutionalization of periodic business trips to restoration sites.

Restoration projects are implemented in all regions of Ukraine. Within the framework of the management of the Grand portfolio, a decision was made regarding the need for coordinators of restoration projects to organize periodic business trips to restoration objects. The goals of such business trips are: achieving a better understanding of the implementation of such projects, the difficulties that arise during their implementation, checking the actual performance indicators, identifying current risks and finding ways to minimize them. Based on the results of the business trips, the coordinator prepared a report and presented it at the next meeting with the Grand Portfolio. According to the results of the review of the report, management decisions were made, some of which (relating to additional project tasks) were entered into the project implementation schedule, and relevant decisions were monitored.

2. METHODOLOGICAL ASPECT OF IMPLEMENTATION OF SYNCRETIC METHODOLOGY.

Let's consider this aspect from the perspective of the five directions presented below.

2.1. Acquaintance of project activity participants with project management methodologies and standards.

The start of the implementation of project activities was preceded by the training of the personnel of the central apparatus in project management methodologies. In particular, the classic PMBOK methodologies of the American PMI Institute, the British PRINCE 2 standard, and the flexible Agile methodology were studied. The teams of individual restoration projects were able to choose one or another methodology or their combination (hybrid) for management. Elements of each of these three methodologies have been implemented at the management level of the Grand Portfolio of Restoration Projects.

2.2. Teaching project teams and project participants the basics of theory and practice of syncretic project management methodology.

From the beginning of the initialization and during the implementation of the Grand portfolio of restoration projects, the principles of syncretism were declared and implemented. Project teams underwent practical assimilation of syncretic project management methodology. The benefits of a syncretic approach where self-managed project management teams can choose and be guided by their own management methodology were explained during regular meetings.

2.3. Setting up the process of interaction, exchange and processing of information about projects.

Before the organization of the Grand portfolio, the exchange and processing of information took place in a scattered manner – users used various and numerous communication systems and tools. The institutionalization of interaction during the implementation of the Grand Portfolio was organized in such a way that the main communications were carried out through the MS Office 365 ecosystem (Outlook, cloud services for storing and reproducing information). At the same time, self-managed project management teams could use an additional one communication tool within their project.

2.4. Development/refining of templates for collecting information on project implementation, presentation templates, individual dashboards, etc.

The initial document confirming the authorization of the project defined the project charter. Within the implementation of the Grand portfolio of restoration projects, based on the implemented methodology,

typical forms of information presentation and information exchange were developed. Templates for collecting information about project implementation, presentation templates, separate dashboards for visualization of project information - were constantly improved.

2.5. Institutionalization of the process of preparation of reports/presentations.

Weekly reporting on the progress of restoration projects has been set up in the Grand Portfolio. The specified reports were submitted to the weekly meeting for the purpose of monitoring the restoration projects and making appropriate management decisions regarding the implementation of the projects. Reports were submitted in the form of presentations. After the corresponding pilot period of implementation, part of the reports (presentations) were generated automatically (by MS Power BI tools) based on the data entered by the project implementation teams.

3. INSTRUMENTAL ASPECT OF SYNCRETIC METHODOLOGY IMPLEMENTATION.

Let's consider this aspect from the perspective of the five directions presented below.

3.1. Development of IT project monitoring architecture: database (back-end based on eRoad), project information visualization dashboards (front-end based on MS Power BI), as well as communication between them in the form of API.

The instrumental aspect of the monitoring system of the Grand restoration portfolio was built on the MS Office 365 ecosystem. In particular, the Project Online applications were used for project schedules, Power BI for project information visualization, online Excel for output data input forms, and One Drive for project information storage. For integration with the existing IT system (eRoad), an appropriate API has been created and configured.

3.2. Ensuring the implementation of a syncretic approach in IT tools for project management and monitoring through the development and implementation of relevant algorithms and business processes.

The principle of syncretism was implemented by allowing each team to use its own project management templates. A business process was defined, according to which it was possible to convert (with the help of an appropriate algorithm) the reporting of each team into a unified reporting submitted by the team to the management level of the Grand portfolio of restoration projects.

3.3. Development of project information visualization dashboards (creation of a restoration project management system based on MS Power BI).

For each project of the Grand Portfolio, as well as for aggregates of such projects (portfolios) within the Grand Portfolio, dashboards were developed to visualize project information based on the use of the IT tool MS Power BI. This tool had integration with input data sets, resulting in dashboards being updated automatically as project team members entered data into input forms. The dashboard system was used by top management to manage restoration projects, and was constantly developed and improved.

3.4. Training of SARDI specialists in the use of IT project monitoring tools, in particular MS Project (desktop), MS Project Online, MS Power BI.

During the implementation of the Grand portfolio of restoration projects, in order to gain greater efficiency in the monitoring of such projects (and therefore to ensure greater manageability of such projects), coordinators and project administrators were constantly trained. The training was aimed at mastering the IT tools used in work – MS Project (desktop), MS Project Online, MS Power BI, etc.

3.5. Obtaining licenses, providing access to dashboards.

To ensure the confidentiality of information regarding the implementation of restoration projects, a role model of access to the Office 365 ecosystem and its individual applications was developed and

implemented. This made it possible to ensure that each project participant was provided with only the information he needed and to maintain confidentiality.

Based on the results of the analysis, we will formulate the patterns that were discovered during the implementation, which influenced the adjustment of the models and methods of the syncretic methodology.

1. The implementation of syncretic methodology is a comprehensively complex project, both from the point of view of organization, and methodologically, and from the point of view of developing and configuring the necessary set of IT tools.

2. As in any similar project, the implementation of syncretic project management methodology was met with resistance from middle management at all levels.

3. Greater complexity of the syncretic methodology compared to other project management methodologies requires greater qualification of participants involved in project management teams.

4. Modern instrumental implementation of the project management system should be based on cloud tools, in particular to ensure the ability to manage through a smartphone.

5. The use of artificial intelligence can make management systems even more efficient. Within the scope of the syncretic methodology, AI can be used in particular to create and implement interfaces between the management systems of each project (which are built on the basis of their own separate methodology) and the core of the syncretic methodology, which should manage all projects in a coordinated manner and prevent mixing of methodologies.

6. IT tools for the implementation of syncretic methodology must be adequate to the complexity of the models of this methodology, and therefore require the involvement of highly qualified IT specialists for the creation, support and development of such tools.

7. The effectiveness of the syncretic methodology is not achieved immediately, its influence on the management system is rather indirect, and therefore the models and methods of the syncretic methodology must have a clear scientific justification.

8. Self-management models are unusual for use in project management teams, their implementation should be accompanied by staff training, as well as the implementation of syncretic methodology in general.

Let's also carry out a brief SWOT analysis of the implementation of syncretic methodology models and methods in the implementation of projects and portfolios of infrastructure restoration projects in Ukraine.

Strengths.

S1. Ensuring that each team is guided by its own project management methodology to which that team is accustomed. Special relevance is acquired in joint projects with international participants, which is precisely a feature of infrastructure restoration projects.

S2. A unique experience of implementing syncretic methodology in practice was obtained. The knowledge base of the methodology was replenished with practical cases, testing, and adjustment of models and methods.

S3. Innovativeness, adaptability and high practical demand of the described models (in particular models of self-managed teams), methods and tools, their systematicity in the context of using syncretic project management methodology.

Weakness.

W1. Insufficient development and formalization of relevant scientific developments.

W2. Insufficient level of practical approval of the proposed models within the syncretic methodology.

W3. Relative complexity (perhaps excessive) for implementation by small self-managed teams and organizations.

Opportunities.

O1. The possibility of deepening cooperation with organizations participating in restoration projects, exchange of experience, faster interaction with them thanks to the systematicity and transparency of the syncretic project management methodology.

O2. The possibility of using the acquired experience in the further implementation of restoration projects or in other SARDI projects, including internal ones, which will increase the effectiveness of the implementation of such projects, which will take place on the basis of systematized, formalized (in the form of models, methods, algorithms and customized IT tools) and used previous experience.

O3. The possibility of strengthening the reputation of SARDI through the successful implementation of restoration projects, which will increase the confidence of international partners, donors and sponsors. This, in turn, could lead to increased international funding for Ukraine's recovery, which would increase the likelihood of a faster and more effective recovery.

Threats.

T1. The threat of escalation of hostilities, as a result of which funding for reconstruction projects may be reduced. This may lead to a partial implementation of the syncretic methodology or a complete rejection of it, which will cause a decrease in the effectiveness of restoration projects.

T2. The threat of a decrease in the confidence of international donors in the management system of infrastructure restoration projects. This, in turn, can lead to delays in the financing of restoration projects, as a result of which the benefits of using a syncretic project management methodology may be nullified (or at least not apparent).

T3. The threat of ineffective communications of the project team with stakeholders (in particular, due to the ineffective application of a syncretic project management methodology), as a result of which restoration projects may deviate from the implementation within the approved time, cost and quality limitations. This, in the end, can lead to the rejection of the use of syncretic methodology.

Based on the results of the SWOT analysis and the comparison of strengths and weaknesses, as well as opportunities and threats, it can be concluded that when using the opportunities provided by the effective implementation of the syncretic methodology of infrastructure restoration project management, the corresponding threats can be overcome, and the advantages outweigh the corresponding disadvantages.

Let’s also outline the prospects for further scientific research in the chosen direction.

1. Conduct an implementation analysis regarding the necessary correction of models and methods of syncretic project management methodology, as well as algorithms and tools that support it.

2. Implement syncretic project management methodology with models, methods, algorithms and tools that were adjusted based on the results of the first implementation.

3. Formalize the process of refining the syncretic project management methodology in the form of a separate business process. This should facilitate future implementation and simplify the understanding of the methodology by project participants.

4. Formalize the process of training (coaching) staff of a project-oriented organization in the basics of using syncretic project management methodology. This should simplify the period of its implementation and increase the efficiency of its use.

5. To conduct further research on models and methods of ensuring self-management of project teams.

Conclusions. Effective management of infrastructure restoration projects should be one of the adequate responses to the destruction caused by the aggression of the russian federation against Ukraine. Such

management should be provided with a methodology that meets modern challenges and incorporates the main progressive modern trends. As such methodology, a syncretic project management methodology using self-management models of project teams is proposed. This methodology was implemented in SARDI. The results of the implementation were analyzed in this article.

In particular, existing project management methodologies were analyzed, and five typical models of building a corporate project management methodology in the organization were identified. The place and significance of syncretic methodology is outlined. The object of analysis to which the syncretic methodology was applied is described - the Grand portfolio of restoration projects, consisting of projects and portfolios of infrastructure restoration projects. The implemented model of the cyclical process of implementation of management of restoration projects is described. The "system-result" model of the created syncretic methodology of infrastructure restoration project management, which was implemented, is also presented and described. The implementation of the syncretic project management methodology in the context of the implementation of the Grand portfolio of restoration projects was analyzed from organizational, methodological and instrumental aspects. Each such aspect is considered in the perspective of the five directions that are described. According to the results of the analysis, the regularities that were discovered during the implementation, which influenced the adjustment of the models and methods of the syncretic methodology, were formulated. Also given is a SWOT analysis of the implementation of syncretic methodology models and methods in the implementation of projects and portfolios of restoration projects. Prospects for further scientific research in the chosen direction are also determined.

In general, the analysis of the implementation of the syncretic project management methodology allows us to come to a conclusion about the high relevance and practical significance of the relevant research. The effective implementation of an effectively developed, scientifically based syncretic project management methodology will allow to improve the management system of such projects, implement restoration projects efficiently, adhere to project limitations, strengthen the reputation of SARDI and Ukraine as a whole, and bring Ukraine closer to victory.

References

1. Ukaz Prezydenta Ukrainy (Decree of the President of the Ukraine) vid 21.04.2022 №266/2022 «Pitannya Nazionalnoi rady z vidnovlennya Ukrainy vid naslidkiv viyny» (The issue of the National Council for the Recovery of Ukraine from the Consequences of the War). Kyiv, 2022. URL: https://www.president.gov.ua/documents/2662022-42225. [in Ukrainian].

2. Harold Kerzner (2009). Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling (10th ed.), Wiley, 1120 p. [in English].

3. Bushuyev S., Ivko A. (2024) Values models identification of syncretic methodology in improvement context in self-managed organizations. Collection of scientific papers "Dorogi i Mosti" (Roads and Bridges). Kyiv, SE "DerzhordNDI", Iss. 29, pp. 47-57. [in English].

4. The Standard for Project Management and a Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition. USA, Project Management Institute, 2021, 250 p. [in English].

5. The Standard For Program Management (2017). Fourth Edition. Project Management Institute, 179 p. [in English].

6. The Standard For Portfolio Management (2017). Fourth Edition. Project Management Institute, 127 p. [in English].

7. P2M Bibelot (Overview of P2M Third Edition), Project Management Association of Japan (PMAJ), June 2017 [Online]. Available at: https://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/P2M_Bibelot(All)_R3.pdf. [in English].

8. Stellman, A. (2013) Learning Agile: Understanding Scrum, XP, Lean, and Kanban /Andrew Stellman, Jennifer Greene. O'Reilly Media, 420 p. [in English].

9. Cockburn, A. (2000). Selecting a Project's Methodology. IEEE Software, 17(4), pp. 64-71. [in English].

10. Spundak M. (2014) Mixed agile/traditional project management methodology – reality or illusion? 27th IPMA (International Project Management Association) World Congress. Procedia − Social and Behavioral Sciences, Vol.119, pp. 939-948. [in English].

11. Bushuyev, S., & Kozyr, B. (2020). Methodology hybridization of infrastructure projects and programs management. Herald of the Odessa National Maritime University, (61), 187-207. https://doi.org/10.47049/2226-1893-2020-1-5-26. [in Ukrainian].

12. Bushuyev, S., Kozyr, B., Zapryvoda, A. (2019), "Nonlinear strategic management of infrastructure programs", Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, No. 4 (10), P. 14–23. [in Ukrainian].

13. Frederic Laloux (2014) Reinventing Organisations: A Guide to Creating Organisations Inspired by the Next Stage of Human Consciousness. Nelson Parker. February 9, 382 p. [in English].

14. Kenneth Kinneen, Sana Younas (2018). Self-Managing Organizations in the context of Entrepreneurial Innovation. Uppsala University, Department of Business Studies, Sweden. 52 p. URL: https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1228343/FULLTEXT01.pdf. [in English].

15. Holacracy Constitution. Version 5.0. URL: https://www.holacracy.org/constitution/5-0/ (Last accessed: 02.06.2024). [in English].

16. Bushuyev S., Ivko A., Tikhonovych Yu. (2024) Syncretic project management in the era of artificial intelligence explosion. Environmental safety and nature management. Kyiv, Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Volume 49 (No. 1), pp. 85–98. [in Ukrainian].

17. Plewinski, P. (2014). Design and implementation of a project management methodology: from ad hoc project environment to fully operational PMO in three years. Paper presented at PMI® Global Congress 2014. EMEA, Dubai, United Arab Emirates. Newtown Square, PA: Project Management Institute. [Online]. URL: https://www.pmi.org/learning/library/project-management-implementation-office-design-8701. [in English].

АНАЛІЗ АСПЕКТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ СИНКРЕТИЧНОЇ МЕТОДОЛОГІЇ ПРИ УПРАВЛІННІ ПРОЄКТАМИ ВІДНОВЛЕННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ

Івко Андрій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління проєктами, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна, e-mail: andrii.ivko.science@gmail.com, tel.+380676191000, https://orcid.org/0000-0002-3388-8355.

Анотація. В роботі обґрунтована актуальність синкретичної методології для управління проєктами відновлення інфраструктури та досліджені аспекти її впровадження, що було проведено. Поставлена мета дослідження. Проаналізовано наявні методології управління проєктами,

ідентифіковано п’ять типових моделей побудови корпоративної методології управління проєктами в організації. Окреслене місце і значення синкретичної методології. Описано об’єкт аналізу, до якого застосовувалася синкретична методологія – Гранд портфель проєктів відновлення, що складається з проєктів і портфелів проєктів відновлення інфраструктури. Описано впроваджену модель циклічного процесу реалізації управління проєктами відновлення. Також подана і описана модель «система – результат» створеної синкретичної методології управління проєктами відновлення інфраструктури, що була впроваджена.

Проаналізовано впровадження синкретичної методології управління проєктами в контексті реалізації Гранд портфеля проєктів відновлення за організаційним, методологічним та інструментальним аспектами. Кожен такий аспект розглянуто у ракурсі п’яти напрямків, які описані. За результатами аналізу, сформульовано закономірності, що були виявлені при впровадженні, які вплинули на коригування моделей і методів синкретичної методології. Також наведено SWOT-аналіз проведеного впровадження моделей і методів синкретичної методології у діяльність з реалізації проєктів і портфелів проєктів відновлення. Також визначено перспективи подальших наукових досліджень у обраному напрямку.

Ключові слова: проєкти відновлення інфраструктури, управління проєктами і програмами, методологія управління проєктами, самокерована організація, синкретична методологія.

Перелік посилань

1. Указ Президента України від 21 квітня 2022 р. №266/2022 «Питання Національної ради з відновлення України від наслідків війни». [Електронний ресурс]. – Київ, 2022. – URL: https://www.president.gov.ua/documents/2662022-42225 (дата звернення: 25.11.2023).

2. Kerzner, Harold. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling (10th ed.) [Текст] / Harold Kerzner. – Wiley. – 2009. – 1120 p.

3. Bushuyev S. Values models identification of syncretic methodology in improvement context in self-managed organizations [Текст] / S. Bushuyev, A. Ivko // «Дороги і мости». – Київ, ДП «ДерждорНДІ», 2024. – Вип. 29. – pp. 47-57.

4. The Standard for Project Management and a Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition [Текст] / USA. – Project Management Institute, 2021. – 250 p.

5. The Standard For Program Management. Fourth Edition [Текст] / Project Management Institute, 2017. – 179 p.

6. The Standard For Portfolio Management. Fourth Edition [Текст] / Project Management Institute, 2017. – 127 p.

7. P2M Bibelot (Overview of P2M Third Edition) [Електронний ресурс] / Japan. – Project Management Association of Japan (PMAJ), 2017. – 20 p. URL: https://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/P2M_Bibelot(All)_R3.pdf (дата звернення: 01.06.2024).

8. Stellman, A. Learning Agile: Understanding Scrum, XP, Lean, and Kanban [Текст] / A. Stellman, J. Greene // O’Reilly Media, 2013. – 420 p.

9. Cockburn, A. Selecting a Project's Methodology [Текст] / A. Cockburn // IEEE Software, 17(4), 2000. – pp. 64–71.

10. Spundak M. Mixed agile/traditional project management methodology – reality or illusion? [Текст] // 27th IPMA World Congress. Procedia − Social and Behavioral Sciences. – Vol. 119, 2014. – pp. 939-948.

11. Бушуєв, С.Д. Козир Б. Ю. Гібридизація методологій управління інфраструктурними проєктами та програмами [Текст] // Вісник Одеського національного морського університету. – Вип. 61 (Вересень), 2020. – С. 187-207. https://doi.org/10.47049/2226-1893-2020-1-5-26.

12. Бушуєв С. Д., Козир Б. Ю., Запривода А. А. Нелінійні стратегії в управлінні інфраструктурними програмами [Текст] / Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – № 4 (10). – 2019. – С. 14–23.

13. Laloux, F. Reinventing Organisations: A Guide to Creating Organisations Inspired by the Next Stage of Human Consciousness [Текст] / Frederic Laloux. – Nelson Parker. – 2014. – 382 p.

14. Kinneen K. Self-Managing Organizations in the context of Entrepreneurial Innovation [Електронний ресурс] / Kenneth Kinneen, Sana Younas // Uppsala University, Department of Business Studies. – Sweden. 2018. – 52 p. URL: https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1228343/FULLTEXT01.pdf.

15. Holacracy Constitution. Version 5.0. [Електронний ресурс] URL: https://www.holacracy.org/constitution/5-0/

16. Бушуєв С. Синкретичне управління проєктами в епоху вибуху штучного інтелекту [Текст] / С. Бушуєв, А. Івко, Ю. Тихонович // Екологічна безпека та природокористування. – Київ, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, 2024.– Том 49 (№1).–С.85–98.

17. Plewinski, P. Design and implementation of a project management methodology: from ad hoc project environment to fully operational PMO in three years [Електронний ресурс] / Paper presented at PMI® Global Congress 2014. – EMEA, Dubai, United Arab Emirates. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2014. URL: https://www.pmi.org/learning/library/project-management-implementation-office-design-8701

УДК 004.942:656.1/.5
UDC 004.942:656.1/.5
DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-290-299

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТЕРМІНОЛОГІЧНОГО АПАРАТУ РИЗИКОЛОГІЇ В КОНТЕКСТІ ДІЯЛЬНОСТІ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПІДПРИЄМСТВА

SYSTEMATIC ANALYSIS OF THE TERMINOLOGICAL APPARATUS OF RISKOLOGY IN THE CONTEXT OF THE ACTIVITIES OF A MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE



Дмитриченко Андрій Миколайович, *кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, доцент кафедри транспортного права та логістики, e-mail: andrew_d@ukr.net, +380502816006,*

https://orcid.org/0000-0001-6144-7533



Алєксєєнко Олександр Валерійович*, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, Київ, Україна, старший викладач, e-mail: alexalieksieienko@gmail.com, +380636039903,*

https://orcid.org/0000-0002-3796-9929



Артемчук Юлія Володимирівна*, Національний транспортний університет, кафедра транспортних систем та безпеки дорожнього руху, Київ, Україна, асистент, e-mail: art_julia@i.ua, тел.: +380636047172,*

https://orcid.org/0000-0002-3872-7745

Анотація: В дослідженні визначено, що в контексті функціонування підприємств транспортної галузі у сучасних умовах все частіше дослідники та вчені прибігають до застосування апарату ризик-орієнтованого або ризик-базованого управління. Проте термінологічний апарат управління ризиками має бути ретельно вивчений та систематизований, у зв'язку з чим запропоновано застосувати підходи системного аналізу до розробки понятійного апарату ризикології. Наведено основні концепції та інструменти управління ризиками. Зокрема, сукупність методів та моделей їх оцінювання, аналізу факторів, вибору стратегії управління, контролю (моніторингу) та оцінювання результатів управління ризиками ISO 9001:2015, а також підхід застосування діаграми Ісікави. Класифіковано методи управління ризиками на два класи, які базуються на кількісному та якісному аналізі ризиків та на графічному аналізі, методах статичного аналізу та математичного моделювання. Зазначено, що аналіз ризиків проєкту повинен враховувати основні їх показники, такі як: фактори ризику; значимість наслідків ризику (вагомість); імовірність настання ризикової ситуації. Охарактеризовано основні методи кількісного та якісного аналізу ризиків. Запропоновано власний концепт формування термінології управління ризиками залежно від сенсу, що вкладається для вирішення певних задач організації та її галузевої приналежності.

Ключові слова: системний аналіз, ризик, управління ризиками, ризик-орієнтоване мислення, ризик-орієнтований підхід, транспортна галузь

Вступ. Автотранспортне підприємство є складною організаційно-технічною структурою, за допомогою якої реалізується комплекс послуг, пов'язаних з вантажними та/або пасажирськими перевезеннями, зберіганням, технічним обслуговуванням, ремонтом рухомого складу транспортних засобів [1]. Діяльність автотранспортного підприємства протягом усього життєвого циклу – як функціонування самого підприємства, так і здійснення його послуг постійно пов'язана з ризиками та невизначеністю. Таким чином, управління ризиками автотранспортних підприємств є важливим аспектом реалізації їх діяльності на ринку послуг, тобто, управління розвитком підприємства транспортної галузі має бути ризик-орієнтованим. Ефективна діяльність автотранспортних підприємств може сприяти розвитку усіх галузей та сфер економіки, а також забезпечити вихід української продукції на світовий ринок. Проте, діяльність підприємств транспортної галузі має бути орієнтована на врахування ризиків, що можуть виникати як наслідок означеного стану транспортної галузі в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз джерел щодо термінів «ризик-орієнтоване мислення», «ризик-орієнтований підхід», «ризик-орієнтоване управління». Зокрема, сучасні дослідження з цього напрямку закладені в роботах Данілової Е. І., Мушникової С. А., Боднараш С.І., Тесленка П.О., Дуднєвої Ю., Зайцевої А., Герасименко О. М., Занори В. О. Проведений детальний теоретичний аналіз наведених досліджень показав, що є потреба у розширенні сутнісного сприйняття поняття «ризик» та «ризик-орієнтоване управління» в контексті транспортної галузі.

Мета статті – за допомогою інструментів системного аналізу дослідити термінологічний апарат ризикології, як теорії системного підходу, що базується на парадигмі, до процесів дослідження складних організаційно-технічних систем, у тому числі і транспортних.

Виклад основного матеріалу.

Процесний підхід та ризик-орієнтоване мислення задекларовані в стандарті ISO 9001:2015 «Системи менеджменту якістю. Вимоги» [2]. Проте, останнім часом дослідження різних наукових шкіл та науковців з управління проектами свідчать про необхідність розширення розуміння поняття «ризик-орієнтованого мислення» (табл. 1) [3].

Крім того, питанням щодо прикладного аспекту розв'язання проблеми управління ризиками присвячені роботи Dan Burges [11] та Claire Mayhew [12]. В даних дослідженнях окреслено загальний підхід до управління ризиками без виокремлення ризик-орієнтованого мислення.

Смислова сутність ризику, як категорії пізнання, дуже складна і має у кожному даному випадку своє трактування. Це по тому, яке поняття терміна «ризик» використовують дослідники фундаментальної тематики, вчені, які у прикладних областях, експериментатори тощо [13]. Досі немає єдиного формулювання поняття терміна «ризик» у контексті транспортної галузі і, очевидно, ця ситуація є закономірною. По-перше, ризикологія, як прикладна наука, перебуває в стадії становлення і тільки формується термінологічний апарат ризикології, як теорії системного підходу, що базується на парадигмі, до процесів дослідження складних організаційно-технічних систем, у тому числі і транспортних. По-друге, багатоаспектність поняття про ризик різних сторін людської діяльності потребує різних семантичних формулювань.

В даний час нараховано понад 50 формулювань терміну «ризик» в різних джерелах (рис. 1). Таким чином слід констатувати, що існує потреба у розробленні власної термінології. Для цього необхідно зрозуміти процеси оцінювання та аналізу ризиків, тобто, виконати системний аналіз цих процесів.

Таблиця 1 – Аналіз джерел щодо термінів «ризик-орієнтоване мислення», «ризик-орієнтований підхід», «ризик-орієнтоване управління» (адаптовано з [3], доповнено автором)

Table 1 – Analysis of sources regarding the terms "risk-oriented thinking", "risk-oriented approach", "risk-oriented management" (adapted from [3], supplemented by the author)

Джерело	Визначення
ISO 9001:2015 [2]	Ризик-орієнтоване мислення – це підхід, який дає змогу організації визначати чинники, які можуть спричиняти відхилення її процесів та її системи управління якістю від запланованих результатів, щоб установлювати запобіжні заходи контролю для унайменшення негативних впливів і якнайбільшого використання можливостей, у міру їх виникнення
Данілова Е. І. [4]	Ризик-орієнтований підхід – це використання методології управління ризиками при дослідженні економічних процесів
Мушникова С. А. [3]	Ризик-орієнтоване мислення – елемент культури управління безпекою розвитку підприємства, що спрямоване на формування управлінських компетенцій всіх рівнів управління підприємством для оцінки і аналізу рівня ризиків та виявлення й реалізації можливостей в досягненні стратегічних та тактичних цілей розвитку підприємства
Боднараш С.І., Тесленко П.О. [5]	Методика ризик-орієнтованого управління направлена на оцінку ризиків та можливостей управлінських рішень
Дуднєва Ю., Зайцева А. [6]	Основу ризик-орієнтованого підходу становить ідентифікація та діагностика ризиків, кінцевою метою цього процесу є забезпечення розуміння персоналом вразливості щодо ризику підконтрольного бізнес-процесу та технічного або управлінського об’єкту.
Герасименко О. М. [7]	Ризик-орієнтоване управління в системі економічної безпеки підприємства покликане знизити рівень негативних наслідків проявів загроз, що присутні в усіх без винятку бізнес-процесах суб’єкта господарювання будь-якого виду економічної діяльності.
Занора В. О. [8]	Ризик-орієнтоване управління – ітеративний, динамічний процес, що представляє собою сукупність управлінських функцій, а саме: планування, організування, мотивування, контролювання та регулювання, з інтегрованими складовими управління ризиками та здійснюється з метою досягнення цілей організації.
Xenidis Y., Angelides D. C. [9]	Прийняття рішень на основі ризик-базованого управління включає: мінливість впливу на виникнення ризику, доступні стратегії реагування на ризиком і перевагу особи, яка приймає рішення, над цими стратегіями щодо критичності різних впливів на виникнення ризику.
Lamine E., Thabet R., Sienou A., Bork D., Fontanili F., Pingaud H. [10]	Ризик-базоване управління спрямоване на підтримку ризиків і бізнес-менеджерів на різних фазах життєвого циклу та організаційних рівнях.

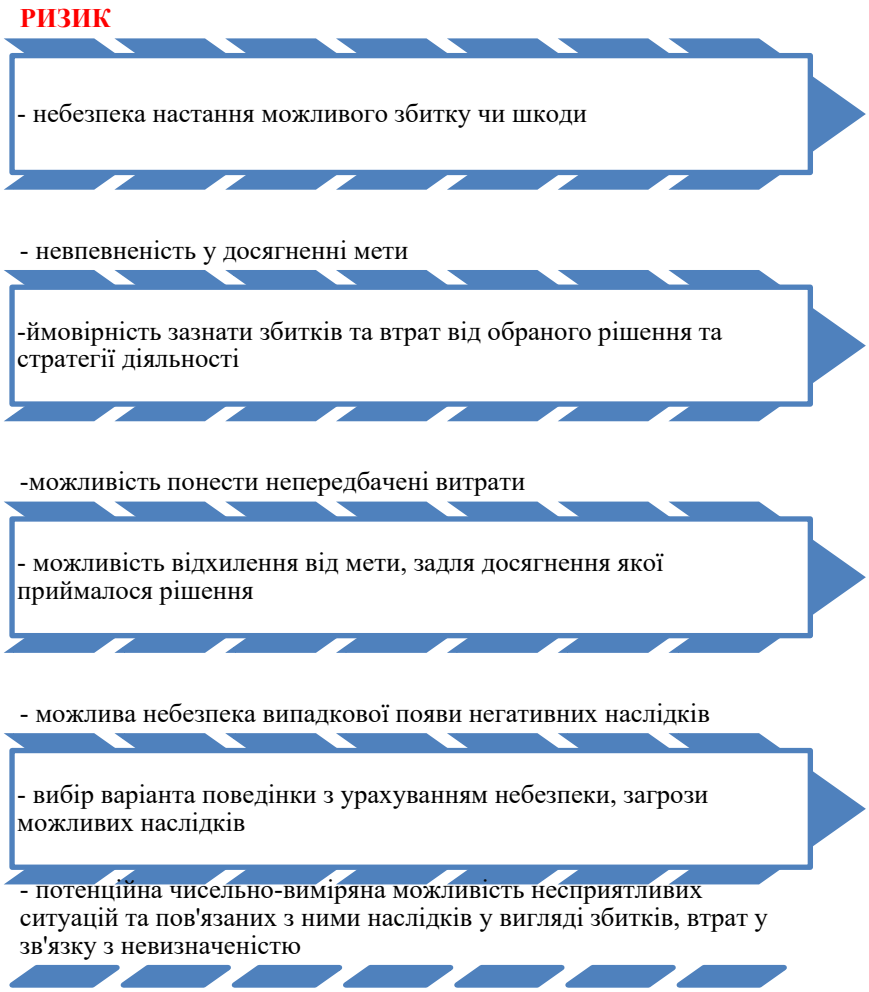


Рисунок 1 – Систематизація класичних визначень терміну «ризик»
Figure 1 – Systematization of classic definitions of the term "risk"

Класично процес управління ризиками є циклічним відповідно до ISO 9001:2015 [2] та представляє собою сукупність методів та моделей їх оцінювання, аналізу факторів, вибору стратегії управління, контролю (моніторингу) та оцінювання результатів управління ризиками (рис. 2).

Ще одним загальновідомим інструментом управління ризиками в проєктах є підхід застосування діаграми Ісікави (рис. 3), більш відомої як діаграма «риб'ячої кістки». Відповідно до [14] діаграма Ісікаві – це графічний спосіб дослідження та виявлення найбільш суттєвих причинно-наслідкових взаємозв'язків між чинниками (факторами) та наслідками ситуації чи проблеми.

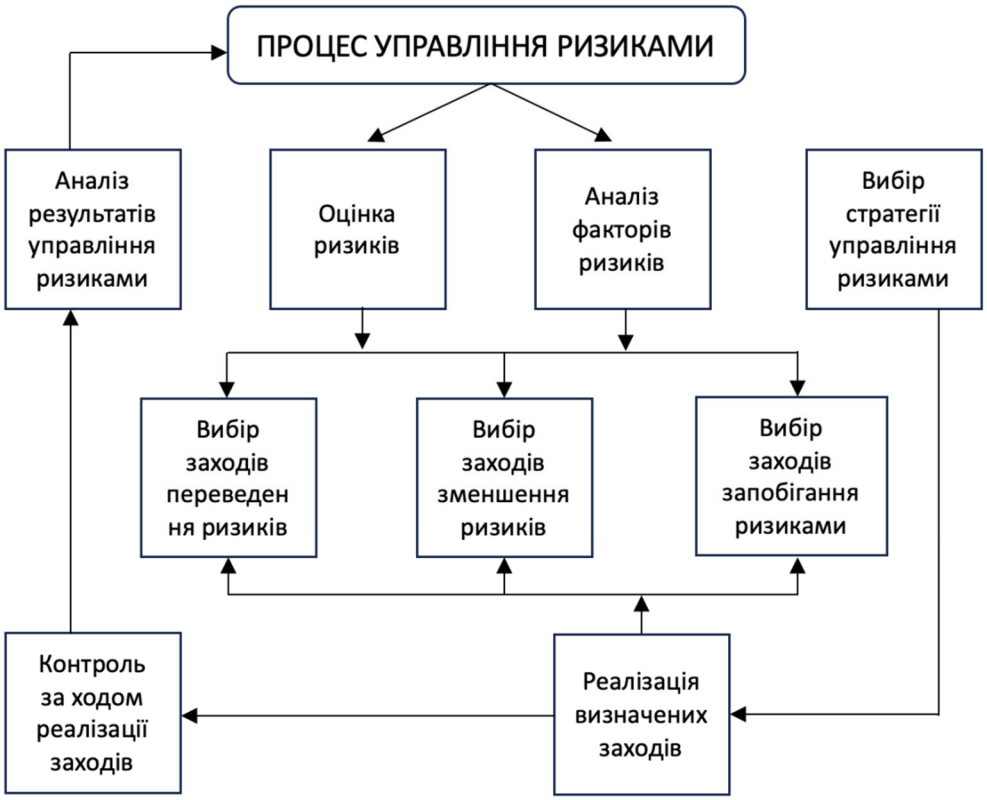


Рисунок 2 – Процес управління ризиками (адаптовано з [15])
Figure 2 – Risk management process (adapted from [15])

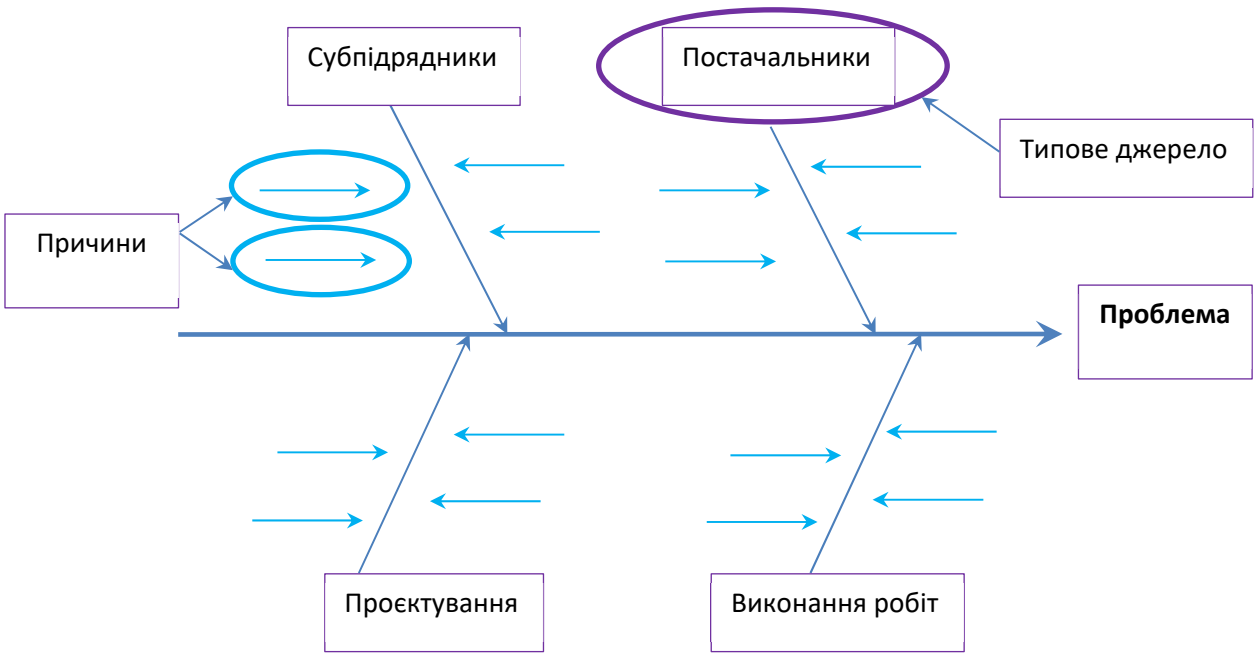


Рисунок 3 – Використання діаграми Ісікави в ризик-орієнтованому управлінні проєктами (адаптовано з [14])
Figure 3 – Using the Ishikawa diagram in risk-oriented project management (adapted from [14])

Методи управління ризиками можна поділити на ті, що базуються на:
- кількісному та якісному аналізі ризиків;
- графічному аналізі, методах статичного аналізу та математичного моделювання.
Аналіз ризиків проєкту повинен враховувати основні їх показники, такі як [16]:
- фактори ризику;
- значимість наслідків ризику (вагомість);
- імовірність настання ризикової ситуації.
Таким чином, ризик можна відобразити як функцію:

$$f(R) = \{F_R, W_R, P_R\}, \quad (1)$$

де F_R – набір факторів ризику;
W_R – вагомість ризику;
P_R – імовірність настання ризику.
Розглянемо найбільш поширені методи ідентифікації та аналізу ризику [17] (рис. 4).



Рисунок 4 – Поширені методи ідентифікації та аналізу ризику (побудовано на основі [17])
Figure 4 – Common methods of risk identification and analysis (created on [17])

Очевидно, що кожен з перерахованих методів проектує на визначення поняття «ризик» особливості свого застосування. Більше того, застосування наведених методів до оцінки ризику діяльності підприємств різної галузевої приналежності також матиме різний зміст. Таким чином, виходячи з наведеного, пропонуємо надалі застосовувати термін «ризик» з конкретизацією сенсу, що вкладається для вирішення певних задач організації. Цей логічний висновок найбільш підходить для вирішення поставлених завдань. Зазначимо, що найчастіше у поняття «ризик» суб'єкти господарювання вкладають не імовірнісну сутність, а «можливу». Таким чином для кількісної оцінки організаційно-технічних ризиків, на нашу думку, слід застосовувати апарат теорії можливостей (теорії нечітких множин) разом із методикою експертних оцінок різного виду ризиків діяльності автотранспортних підприємств.

Висновки.

Відповідно до [3] розвиток транспортної галузі в цілому, а також автотранспортних підприємств як її складової, базується на стратегічному управлінні, яке зосереджене на врахуванні ризиків та невизначеності.

Проте, як зазначалося, ризикологія як наука перебуває на етапі становлення, що разом із складними і багатогранними завданнями, підлягають вирішенню у межах цієї теорії, вимагає обґрунтованої класифікації основного поняття – ризику. В роботі запропоновано застосовувати термінологію з теорії ризиків для автотранспортних підприємств з конкретизацією сенсу, що вкладається для вирішення певних організаційних задач.

Таким чином подальші дослідження будуть стосуватися розробки понятійного апарату ризикології в контексті діяльності автотранспортного підприємства.

Перелік посилань

1. Автотранспортне підприємство // Велика українська енциклопедія. URL: https://vue.gov.ua/Автотранспортне підприємство (дата звернення: 23.03.2024).

2. ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT) Системи управління якістю. Вимоги. Видання офіційне. Київ. ДП «УкрНДНЦ». 2016. URL: https://khoda.gov.ua/image/catalog/files/%209001.pdf.

3. Мушникова С.А. Ризик-орієнтоване мислення як базисна основа інноваційності системи управління безпекою розвитку підприємства. Економічний вісник, 2019, No4, 93-101. https://doi.org/10.33271/ev/68.093.12.

4. Данілова Е. І. Методологія ризик-орієнтованого підходу до управління економічною безпекою підприємства / Е. І. Данілова // Електронне наукове фахове видання з економічних наук «Modern Economics». – №12. – 2018. – С. 61–68. https://modecon.mnau.edu.ua

5. Боднараш, С. І., & Тесленко, П. О. (2017). Ризик-орієнтоване управління проектом Green Campus. In Project, Program, Portfolio Management. P3M (Vol. 3, pp. 106-109). ІКС ОНПУ.

6. Дуднєва, Ю., & Зайцева, А. (2023). Ризик-орієнтоване управління підприємствами в умовах невизначеності зовнішнього контексту. Адаптивне управління: теорія і практика. Серія Економіка, 15(30). https://doi.org/10.33296/2707-0654-15(30)-10

7. Герасименко, О. М. (2021). Ризик-орієнтоване управління в системі економічної безпеки підприємства. Дис. на здоб. наук. ступеня д. е, (21.04), 02. https://library.krok.edu.ua/media/library/category/disertatsiji-avtoreferati-vidguki/gerasimenko_2021-disertatsija.pdf

8. Занора В.О., Войтко С.В. Управління підприємствами: планування технологічних витрат, ризик-менеджмент, мотивування, прийняття управлінських рішень : монографія. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського ; Політехніка, 2017. 224 с.

9. Xenidis, Y., & Angelides, D. C. (2013). A Risk-Based Decision Making Methodology for Planning and Operating Safe Infrastructure Systems Against Various Hazards. Computational Methods in Earthquake Engineering, 591.

10. Lamine, E., Thabet, R., Sienou, A., Bork, D., Fontanili, F., & Pingaud, H. (2020). BPRIM: An integrated framework for business process management and risk management. Computers in Industry, 117, 103199.

11. Dan Burges. Cargo Theft, Loss Prevention, and Supply Chain Management / Dan Burges. – Butterworth-Heinemann, 2012. – 392 pages.

12. Claire Mayhew. The Detection and Prevention of Cargo Theft / Claire Mayhew // Trends & Issues in Crime and Criminal Justice. – September 2001. – No 214. – PP. 1 –6.

13. Петрашевський О.Л., Алєксєєнко О.В., Данилевський В.В., Цимбал Н.Н. Структура та планування науково-дослідної та дослідно-конструкторської роботи на транспорті. Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики: Збірник доповідей 13-ої Міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 2011. С. 157 – 164.

14. Діаграма Ішикави. Вікіпедія. URL:

https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%96%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B0_%D0%86%D1%88%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%B2%D0%B8 (Дата звернення 04.03.2024 р).

15. Калабухова С. Аналітичні процедури фінансового моніторингу суб'єктів аудиторської діяльності. Веб-дискусія. URL: https://www.apu.com.ua/2022/06/13/%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%B1%D1%83%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%8F-%D0%B2%D0%B5%D0%B1-%D0%B4%D0%B8%D1%81%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%96%D1%8F-%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96-%D0%BF/

16. Шворнікова, Г. М.; Сорока, С. І. Проєктні ризики розвитку інфраструктури транспорту. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2021, 4 (268): 112-117. https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-112-117

17. Меленчук В. М. Моделі та методи управління ризиками проектів матеріально-технічного забезпечення автотранспортних підрозділів Збройних Сил України. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.22 – «Управління проектами та програмами». – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, 2018. 179 с. URL: https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/5579/3/%d0%94%d0%b8%d1%81%d0%b5%d1%80%d1%82%d0%b0%d1%86%d1%96%d1%8f%20%d0%9c%d0%b5%d0%bb%d0%b5%d0%bd%d1%87%d1%83%d0%ba%d0%b0%20%d0%92.%d0%9c.PDF

18. Харута, В., Марунич, В., Харута, В., & Григоревська, М. Стратегічне управління проєктами підприємств транспортної галузі. Управління розвитком складних систем, (45), 202). 57-65. https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.45.57-65

SYSTEMATIC ANALYSIS OF THE TERMINOLOGICAL APPARATUS OF RISKOLOGY IN THE CONTEXT OF THE ACTIVITIES OF A MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE

Andij Dmytrychenko, Candidate of Engineering Sciences, associate professor of department transport law and logistic, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: andrew_d@ukr.net, +380502816006, https://orcid.org/0000-0001-6144-7533.

Oleksandr Alieksieienko, National transport university, Department of Transport Infrastructure System Design and Geodesy, senior lecturer; e-mail: alexalieksieienko@gmail.com, +380636039903, https://orcid.org/0000-0002-3796-9929

Yuliia Artemchuk, National Transport University, Department of Transport Systems and Traffic Safety, Assistant, e-mail: art_julia@i.ua, +380636047172. https://orcid.org/0000- 0002-3872-7745

Summary. The study determined that in the context of the functioning of transport industry enterprises in modern conditions, researchers and scientists are increasingly resorting to the use of risk-oriented or risk-based management apparatus. However, the terminological apparatus of risk management must be carefully studied and systematized, in connection with which it is proposed to apply the approaches of system analysis to the development of the conceptual apparatus of riskology. The main concepts and tools of risk management are presented. In particular, a set of methods and models for their evaluation, analysis of factors, selection of a management strategy, control (monitoring) and evaluation of the results of ISO 9001:2015 risk management, as well as the approach of applying the Ishikawa diagram. Risk management methods are classified into two classes, which are based on quantitative and qualitative risk analysis and on graphic analysis, methods of static analysis and mathematical modeling. It is noted that the analysis of project risks should take into account their main indicators, such as: risk factors; significance of risk consequences (weight); probability of occurrence of a risky situation. The main methods of quantitative and qualitative risk analysis are described. An own concept of the formation of risk management terminology is proposed, depending on the meaning attached to solving certain tasks of the organization and its branch affiliation.

Key words: system analysis, risk, risk management, risk-oriented thinking, risk-oriented approach, transport industry

References

1. Avtotransportne pidpryiemstvo // Velyka ukrainska entsyklopediia. URL: https://vue.gov.ua/Avtotransportne pidpryiemstvo (23.03.2024). [in Ukrainian]
2. DSTU ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT) Systemy upravlinnia yakistiu. Vymohy. Vydannia ofitsiine. Kyiv. DP «UkrNDNTs». 2016. URL: https://khoda.gov.ua/image/catalog/files/%209001.pdf. [in Ukrainian]
3. Mushnykova S.A. Ryzyk-oriientovane myslennia yak bazysna osnova innovatsiinosti systemy upravlinnia bezpekoiu rozvytku pidpryiemstva. Ekonomichnyi visnyk, 2019, No4, 93-101. https://doi.org/10.33271/ev/68.093.12. [in Ukrainian]
4. Danilova E. I. Metodolohiia ryzyk-oriientovanoho pidkhodu do upravlinnia ekonomichnoiu bezpekoiu pidpryiemstva / E. I. Danilova // Elektronne naukove fakhove vydannia z ekonomichnykh nauk «Modern Economics». – №12. – 2018. – S. 61–68. https://modecon.mnau.edu.ua [in Ukrainian]
5. Bodnarash, S. I., & Teslenko, P. O. (2017). Ryzyk-oriientovane upravlinnia proektom Green Campus. In Project, Program, Portfolio Management. P3M (Vol. 3, pp. 106-109). IKS ONPU. [in Ukrainian]
6. Dudnieva, Yu., & Zaitseva, A. (2023). Ryzyk-oriientovane upravlinnia pidpryiemstvamy v umovakh nevyznachenosti zovnishnoho kontekstu. Adaptyvne upravlinnia: teoriia i praktyka. Seriia Ekonomika, 15(30). https://doi.org/10.33296/2707-0654-15(30)-10 [in Ukrainian]
7. Herasymenko, O. M. (2021). Ryzyk-oriientovane upravlinnia v systemi ekonomichnoi bezpeky pidpryiemstva. Dys. na zdob. nauk. stupenia d. e, (21.04), 02. https://library.krok.edu.ua/media/library/category/disertatsiji-avtoreferati-vidguki/gerasimenko_2021-disertatsija.pdf [in Ukrainian]
8. Zanora V.O., Voitko S.V. Upravlinnia pidpryiemstvamy: planuvannia tekhnolohichnykh vytrat, ryzyk-menedzhment, motyvuvannia, pryiniattia upravlinskykh rishen : monohrafiia. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho ; Politekhnika, 2017. 224 s. [in Ukrainian]
9. Xenidis, Y., & Angelides, D. C. (2013). A Risk-Based Decision Making Methodology for Planning and Operating Safe Infrastructure Systems Against Various Hazards. Computational Methods in Earthquake Engineering, 591. [in English]
10. Lamine, E., Thabet, R., Sienou, A., Bork, D., Fontanili, F., & Pingaud, H. (2020). BPRIM: An integrated framework for business process management and risk management. Computers in Industry, 117, 103199. [in English]
11. Dan Burges. Cargo Theft, Loss Prevention, and Supply Chain Management / Dan Burges. – Butterworth-Heinemann, 2012. – 392 pages. [in English]
12. Claire Mayhew. The Detection and Prevention of Cargo Theft / Claire Mayhew // Trends & Issues in Crime and Criminal Justice. – September 2001. – No 214. – PP. 1 –6. [in English]
13. Petrashevskyi O.L., Alieksieienko O.V., Danylevskyi V.V., Tsymbal N.N. Struktura ta planuvannia naukovo-doslidnoi ta doslidno-konstruktorskoi roboty na transporti. Rynok posluh kompleksnykh transportnykh system ta prykladni problemy lohistyky: Zbirnyk dopovidei 13-oi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. Kyiv, 2011. S. 157 – 164. [in Ukrainian]
14. Diahrama Ishykavy. Vikipediia. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%96%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B0_%D0%86%D1%88%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%B2%D0%B8 (04.03.2024). [in Ukrainian]
15. Kalabukhova S. Analitychni protsedury finansovoho monitorynhu subiektiv audytorskoi diialnosti. Veb-dyskusiia. URL: https://www.apu.com.ua/2022/06/13/%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%B1%D1%83%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%8F-%D0%B2%D0%B5%D0%B1-%D0%B4%D0%B8%D1%81%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%96%D1%8F-%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96-%D0%BF/ [in Ukrainian]

16. Shvornikova, H. M.; Soroka, S. I. Proiektni ryzyky rozvytku infrastruktury transportu. Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia, 2021, 4 (268): 112-117. https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-112-117 [in Ukrainian]

17. Melenchuk V. M. Modeli ta metody upravlinnia ryzykamy proektiv materialno-tekhnichnoho zabezpechennia avtotransportnykh pidrozdiliv Zbroinykh Syl Ukrainy. Kvalifikatsiina naukova pratsia na pravakh rukopysu. Dysertatsiia na zdobuttia naukovoho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk za spetsialnistiu 05.13.22 – «Upravlinnia proektamy ta prohramamy». – Lvivskyi derzhavnyi universytet bezpeky zhyttiediialnosti, Lviv, 2018. 179 s. URL: https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/5579/3/%d0%94%d0%b8%d1%81%d0%b5%d1%80%d1%82%d0%b0%d1%86%d1%96%d1%8f%20%d0%9c%d0%b5%d0%bb%d0%b5%d0%bd%d1%87%d1%83%d0%ba%d0%b0%20%d0%92.%d0%9c.PDF [in Ukrainian]

18. Kharuta, V., Marunych, V., Kharuta, V., & Hryhorevska, M. Stratehichne upravlinnia proiektamy pidpryiemstv transportnoi haluzi. Upravlinnia rozvytkom skladnykh system, (45), 202). 57-65. https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.45.57-65 [in Ukrainian]

УДК 330.341: 658.589
UDK 330.341: 658.589

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-300-308

ІННОВАЦІЙНІ ЗМІНИ В ПРОЦЕСАХ РОЗВИТКУ ПЕРСОНАЛУ В УМОВАХ ДІДЖИТАЛІЗАЦІЇ.

INNOVATIVE CHANGES IN PERSONNEL DEVELOPMENT PROCESSES IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION



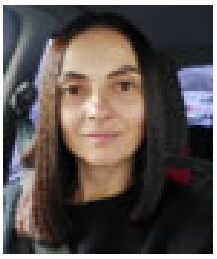
***Гайдай Ганна Григорівна**, кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, доцент кафедри економіки, e-mail: ania-gy@ukr.net, тел. +380683274543*

https://orcid.org/0000-0002-1731-9056



***Дудка Тамара Вікторівна**, Національний транспортний університет, доцент кафедри економіки, Київ, Україна, e-mail: Dudkatv255@gmail.com., тел. +380673783603*

https://orcid.org/0000-0001-7365-2403



***Петровська Світлана Іванівна**, кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри економіки, Київ, Україна, e-mail: petrovskayas@ukr.net, тел. +380679523747*

https://orcid.org/0000-0003-3561-5729



***Швець Людмила Василівна**, кандидат економічних наук, доцент Національний транспортний університет, Київ, Україна, професор кафедри економіки, e-mail: lvshvets202020@gmail.com, тел. +380984497718*

https://orcid.org/0000-0003-4545-4252

Анотація. В статті розглянуті тенденції розвитку персоналу у сучасному економічному просторі з урахуванням діджиталізації бізнес-процесів. Акцентована увага на найбільш успішних напрямках діджиталізації процесів розвитку персоналу: рекрутмент, навчання і підвищення кваліфікації співробітників, спілкування з працівниками, комунікації з клієнтами. Зроблено висновок,

що підвищення рівня якості та швидкості дистанційної комунікації з клієнтами призводить до зростання рівня клієнтського капіталу та сприяє підвищенню рівня клієнторієнтованості, іміджу та конкурентоспроможності компаній. Вказано на зростанні в умовах діджиталізації ролі та результативності аналітики, необхідної для прийняття грамотних та ефективних управлінських рішень, основаних на швидкому доступі до будь-яких даних підприємства, спрощенні роботи з інформацією, а також якісній, оперативній обробці великих масивів інформації. Підкреслено, що діджиталізація бізнес-процесів значно прискорює процеси децентралізації управління, сприяючи формуванню самокерованих команд та підвищенню інноваційної активності та компетентності учасників. Наголошено, що необхідність діджиталізації в різних сферах діяльності суттєво підвищує вимоги до інформаційно-комунікаційної та цифрової компетентності працівників. Тому важливою вимогою сьогодення для підвищення рівня конкурентоспроможності кожного працівника є необхідність постійного самовдосконалення, що відповідає ідеї безперервності освіти протягом людського життя. Поряд з розвитком персональних компетенцій окремих працівників зростають вимоги до розвитку корпоративної компетенції персоналу (в межах існуючої корпоративної культури та відповідного інноваційного клімату). Окреслені перспективи управління розвитком персоналу в умовах поглиблення процесів діджиталізації в напрямку оптимізації роботи співробітників (внаслідок забезпечення можливостей підвищення рівня компетентностей та самореалізації); їх залученості (в межах розвитку корпоративної культури) та командної роботи.

Ключові слова: діджиталізація, розвиток персоналу, цифрові технології, клієнторієнтованість, цифрова компетентність, самовдосконалення

Вступ. Постановка проблеми. Мінливість та нестабільність зовнішнього середовища, складність взаємозв’язків у сучасному світі, швидкість змін у різних сферах діяльності людини (VUCA-світ, тобто епоха невизначеності, різноманітності, можливостей та мотивації), впливають на управління та функціонування вітчизняних підприємств. В умовах глобалізації, інформатизації, інтелектуалізації праці та загострення кризових явищ посилюється значення активізації інноваційної діяльності підприємств і організацій внаслідок застосування сучасних інноваційних технологій. Важливим етапом розвитку суб'єктів підприємницької діяльності стає діджиталізація.

Дослідження різноманітних проблем розвитку інтелектуально-творчої діяльності персоналу підприємств і організацій знайшли своє відображення у наукових працях багатьох українських та закордонних вчених, таких як І. Ансофф, П. Друкер, Дж. Кендрик, В. Геєць, О. Грішнова, В. Кремень, Е. Лібанова, Г. Назарова, М. Семикіна, О. Ястремська та ін. Окремим аспектам діджіталізації у сфері розвитку персоналу присвячені роботи науковців: В. Василівої, В. Жуковської, В. Куйбіди та інших.

У зв'язку із прискоренням процесів розвитку персоналу, викликаним впливом цифрових технологій, необхідні подальші дослідження тенденцій діджіталізації HR-сфери. Актуальність, соціальна і практична значущість та недостатня наукова розробленість даної проблематики обумовили вибір теми та визначили мету і цільову спрямованість статті.

Постановка завдання. Метою статті є узагальнення основних тенденцій в процесах розвитку персоналу в умовах діджиталізації та визначення перспективних напрямків розвитку персоналу для забезпечення конкурентоспроможності працівників та підприємств і організацій.

Виклад основного матеріалу. Щоб втриматись на ринку та розвивати свої конкурентні позиції, швидко адаптуючись до змін, підприємствам необхідно оптимізувати виробничі процеси, прискорювати обслуговування клієнтів, покращувати якість продукції (послуг), а отже,

перебудовувати бізнес-процеси. В умовах середовища, що постійно змінюється, важливим етапом розвитку підприємств стає діджиталізація. Під цим терміном вітчизняні вчені розуміють автоматизацію основних і допоміжних (забезпечувальних та підтримуючих) бізнес-процесів, а також бізнес-процесів управління, що проводиться з метою їх оптимізації та забезпечення ефективності діяльності підприємств в цілому [1,2]. Цифровізація окремих бізнес-процесів передбачає: збирання, оброблення та споживання інформації про бізнес-процес, його ідентифікацію та моделювання; розробку та впровадження автоматизованої інформаційної системи (за допомогою апаратно-програмних засобів); контролінг бізнес-процесів (фіксацію параметрів бізнес-процесів в інформаційній системі, розробку планів, формування звітності тощо). Ключовими областями цифрових перетворень при цьому виступають: комунікації з клієнтами, операційні бізнес-процеси та бізнес-моделі підприємств. В процесі діджиталізації поряд з іншими вирішуються завдання маркетингу (ефективна реклама), спрощується взаємодія з державними органами [3]. Цифрова трансформація бізнес-процесів підприємств і організацій передбачає не тільки встановлення сучасного обладнання або програмного забезпечення (ІТ-технологій, веб-сервісів та інших інструментів), але й фундаментальні зміни у підходах до управління, в т.ч. управління розвитком персоналу.

Як відомо**, с**истема розвитку персоналу охоплює пошук та відбір персоналу, його навчання та підвищення кваліфікації, виробничу адаптацію, атестацію та планування трудової кар'єри, а також вивільнення (звільнення) працівників як завершальний етап кар'єри (окремих працівників на конкретному підприємстві) [4]. Управління розвитком персоналу належить до таких сфер управління, в яких як підкреслюють фахівці, можна «оцифрувати» «майже всі функції» [5]. Багато компаній здійснюють діджіталізацію HR-служби використовуючи як традиційні, так і інноваційні технології HR-менеджменту:

- інтернет-технології (корпоративні веб-сайти, електронна пошта, соціальні мережі, професійні спілки, програми миттєвого обміну відомленнями;
- аналіз великих даних - наприклад, для планування;
- хмарні технології (CRM, ASoft);
- штучний інтелект (чат-боти, технології VR;
- спеціалізоване програмне забезпечення (довідково-правові та експертні системи) [5].

Використання комплексної системи автоматизації HRM сприяє вирішенню в єдиній системі важливих завдань розвитку персоналу: найму, відбору та його залучення; адаптаціїї, орієнтації та навчання; оцінки та аналізу інформації по кожному працівнику; мотивації та винагороди, а також забезпечення безпеки роботи співробітників**.** Відповідно автоматизуються такі важливі бізнес-процеси як ведення бази кандидатів і співробітників, адаптація нових працівників за допомогою різноманітних інтегрованих додатків, формування індивідуальних планів розвитку для співробітників, розміщення вакансій на джоб-порталах, виконання аналітичних розрахунків та оцінювання ефективності роботи працівників [6]. Технологічний прогрес, змінюючи структуру та інформаційне середовище організації, - суттєво впливає на розвиток кожного працівника: зменшується кількість рутинних операцій (а отже чисельності виконавців), зростає частка творчої роботи, підвищуються вимоги до креативності та мобільності працівників, впроваджуються нові підходи до комунікації та групової роботи персоналу [7]. Економісти стверджують, що одним із найбільш ефективних напрямків діджиталізації управління персоналом є рекрутмент, що охоплює процеси пошуку, відбору та найму кандидатів. При цьому для автоматизації пошуку кандидатів застосовують системи пошуку/оцінки (формують сайти вакансій в соціальних мережах тощо) [3]. Також цифрові технології широко застосовуються для навчання і

підвищення кваліфікації співробітників. Так, корпорація IBM застосовує ШІ практично в усіх напрямках управління розвитком персоналу: у залученні, найманні, навчанні, управлінні кар'єрою. Платформу для навчання Your Learning щокварталу відвідують 98 % співробітників, середній час навчання одного працівника – 60 годин на рік [8].

В сучасних умовах коли служби персоналу мають здійснювати не тільки облік кадрів, контроль за дотриманням трудового закодавства і документообігу, але в першу чергу - управління професійними компетенціями та формування працездатної ефективно працюючої команди, в реальних бізнес-процесах застосовуються ігрові методики гейміфікації, реалізовані на програмних продуктах та веб-додатках. Усі варіанти гейміфікації можна поділити на дві великі групи: -повноцінні ігри (квести), зі своїм сюжетом, правилами, ігровим простором; окремі ігрові елементи - так звані ігрові механіки, які використовуються при взаємодії із клієнтами (бали, тести, присвоєння рейтингів тощо.) Варіанти ігрових технік гейміфікації можуть використовуватись як всередині фірми (внутрішнюя гейміфікація), так і поза нею (зовнішня). Якщо внутрішня гейміфікація спрямована на підвищення ефективності роботи компанії, мотивування та підвищення залученості і лояльності працівників, то метою зовнішньої гейміфікації є залучення споживачів та потенційних клієнтів і в результаті – підвищення впізнання бренду та зростання доходів компанії. Найбільш ефективно методики гейміфікації впроваджуються в молодих компаніях та стартапах.

Також успішно розвивається цифровий напрям HR-аналітика як основа для надання керівництву та співробітникам організації інформації, необхідної для управління компанією. Передумовою цього є автоматизація звітності (дашборди, бенчмарки тощо). Отримання та опрацювання даних у режимі реального часу призводить до підвищення оперативності та якості прийнятих рішень, зокрема, управлінських. До прикладу, використання модуля бізнес-аналітики як елемента TMS-системи Logist.UA в транспортно-логістичних підприємствах дозволяє збирати і систематизувати дані в режимі онлайн та зіставляти план-факт; аналізувати та прогнозувати як логістичні події (вибір маршрутів), так і економічні показники (наприклад, вартість нового маршруту), вибирати дані та звітності щодо витрат палива, інших витрат і пропонувати варіанти оптимізації. Існуючий необхідний набір звітності дозволяє швидко будувати звіти з руху, перевищення швидкості та інші, що суттєво скорочує час планування та підвищує якість управлінських рішень.

До відомих методів та інструментів управління персоналом, що використовуються в умовах діджиталізації, слід віднести автоматизацію спілкування з працівниками, використовуючи чат-боти, відео-інтерв'ю - на основі платформ Zoom, Skype, Cisco Webexs тощо [9]. Маючи зворотний зв'язок від працівників, можна підтримувати належні відносини з кожним членом команди. Так, впровадження в систему управління логістичних вітчизняних підприємств інструментів TMS-системи Logist.UA дозволяє отримувати своєчасну інформацію водіям, менеджерам, складським працівникам та іншим учасникам процесу логістики. Окремі мобільні додатки для водія, експедитора, кур'єра, торгового представника, мерчандайзера, сервісного інженера, служби охорони тощо налаштовують зворотний зв'язок з усіма працівниками в оперативному режимі. Це сприяє налагодженню комунікації всередині компанії та покращенню логістичних процесів за рахунок раціональної взаємодії всіх учасників. В результаті значно підвищується ефективність управлінських рішень, якість логістики та показників діяльності підприємства і бізнесу загалом.

Сучасні інноваційні технології сприяють підвищенню рівня якості та швидкості дистанційної комунікації з клієнтами (завдяки наявності чат-ботів і ін.). При цьому зростає рівень споживчого (клієнтського) капіталу - капіталу відносин. Останній, як відомо, формується і укріплюється на основі

стійкої клієнтської бази, мережі постачальників і конкурентів - завдячуючи професіоналізму персоналу і компетентності менеджерів, їх вмінню застосовувати ІТ-технології а також через бренди, торгові марки, імідж організації. Внаслідок прискорення і повнішого врахування вимог конкретних споживачів (надійності, кастомізації, доступності, комунікативності та ін.) впровадження діджиталізації сприяє підвищенню рівня клієнторієнтованості компаній. Доступність означає швидкий контакт споживача з послугою, прозорість, відкритість та раціональність інформації про послугу; комунікативність - це поінформованість споживачів - внаслідок забезпечення виробником швидкої та адекватної комунікації їх інформування. Ці та інші детермінанти якості послуг**,** що поєднують можливості та корпоративні цінності виробника послуг з потребами (характеристиками) цінностей споживачів послуг відповідають концепції ціннісноорієнтованої якості послуг та сприяють розвитку клієнтського капіталу компанії (як системи довгострокових надійних взаємовигідних відносин фірми з клієнтами та контрагентами) [10].

Науковці відносять діджиталізацію до організаційних інновацій [3,11]. Адже діджиталізація бізнес-процесів значно прискорює процеси децентралізації управління. В умовах стрімкого поширення інформаційно-комунікаційних та цифрових технологій традиційні ієрархічні бюрократичні структури поступово втрачають свою ефективність. Сучасні кампанії, усуваючи бюрократію, формують самокеровані команди, основою діяльності яких є холакратичні принципи управління - з вищою якістю комунікацій та внутрішньою і командною взаємодією. В холакратії відбувається перехід від директивного управління до лідерського**,** де працівники-партнери приймають на себе відповідальність та вибудовують новий тип комунікацій. Замість традиційного підходу до управління (з відповідною вертикальною ієрархією) застосовується пласка структура, в якій влада прийняття рішень не надається відповідно до управлінської ієрархії, а розподіляється між командами, що самоорганізуються. Тобто передбачається інтегроване прийняття рішень. Це сприяє зростанню почуття власної значимості для компанії та відповідальності за результати роботи кожного, мотивує брати на себе ініціативу та стимулює до генерування і втілення ідей, а в результаті - до підвищення залученості учасників. Внаслідок впровадження холакратичних принципів в управління персоналом та застосування цифрових технологій підвищується гнучкість, ефективність, прозорість прийнятих управлінських рішень та активізується інноваційна діяльність працівників. Таким чином, з'являється більше можливостей для компетентісного розвитку персоналу та підвищення якості управління. Однак слід мати на увазі, що впровадження холакратичних принципів управління можливе в тих організаціях, де працівники компанії, усвідомлюючи свою роль і призначення, готові брати на себе відповідальність за самостійно прийняті рішення та працювати в команді. В той же час, завдяки діджиталізації бізнес-процесів повинні бути забезпечені механізми зворотного зв’язку, впроваджена справедлива система винагородження.

У зв'язку з необхідністю діджиталізації в різних сферах діяльності та підвищення ролі знань продовжують зростати вимоги до освітньо-кваліфікаційного рівня працівників та рівня їх компетентності**.** Зрозуміло, що застосування цифрових технологій автоматизації бізнес -процесів, в т.ч. штучного інтелекту та роботизації, потребують великої кількості фахівців які розуміють не тільки особливості та процеси технологічних нововведень, але й специфіку конкретного бізнесу. У зв'язку з цим не втрачає актуальності задача, яка стоїть перед освітньою галуззю: підготовки «конкурентоспроможного людського капіталу» для прискореного інноваційного розвитку країни, «самореалізації особистості, забезпечення потреб суспільства, ринку праці та держави у кваліфікованих фахівцях» [12]. Але як стверджують науковці, впровадження діджитал-технологій стримується через недостатність якісних і кваліфікованих кадрів, які здатні адаптувати, навчати, впроваджувати та оптимізувати процеси, побудовані на інноваційних технологіях. [11]. Тому

важливою вимогою сьогодення щодо підвищення рівня конкурентоспроможності кожного працівника є необхідність постійного самовдосконалення відповідно до ідеї безперервності освіти протягом людського життя [13].

В сучасних умовах прискореного впровадження ІКТ важливим є розвиток інформаційно-комунікаційної компетентності працівників як здатність застосовувати ними на практиці інформаційно-комунікаційні технології. Особливо нагальною стає вимога розвитку цифрової компетентності працівників, яка характеризується набором навичок та знань, необхідних для роботи з цифровими технологіями та інструментами, що підтримують виконання завдань та розвиток співробітників [14].

Поряд з розвитком персональних компетенцій окремих працівників зростають вимоги до розвитку корпоративної компетенції персоналу (в межах існуючої корпоративної культури та відповідного інноваційного клімату). Корпоративна культура, об'єднуючи персонал організації та сприяючи підвищенню рівня компетентності окремих працівників, впливає на досягнення цілей організації і в той же час підвищує вартість та конкурентоспроможність організації. Роль і значення корпоративної культури найкраще розкривається у функціях, які вона виконує. Так, інноваційна функція, як одна з найбільш важливих, що стосується успішного проведення діджиталізації, сприяє стимулюванню креативності і творчості працівників, визнанню і дифузії інноваційних ідей всередині підприємства, вдосконаленню методів управління із застосуванням нових інструментів цифровізації бізнес-процесів, що сприяє розвитку потенціалу конкурентоспроможності підприємства.

Отже, діджиталізація та інноваційність стають невід'ємною частиною життєдіяльності підприємств і організацій різних сфер економіки та передумовою їх конкурентоспроможності.

Висновки

Таким чином, цифрова трансформація бізнес-процесів передбачає суттєві зміни у підходах до управління, в т.ч. управління розвитком персоналу, корпоративної культури підприємств і організацій та зовнішніх комунікацій. HR-служби сучасних компаній, мають використовувати інноваційні цифрові інструменти для вирішення задач найму, відбору та залучення персоналу; адаптаціїї, орієнтації та навчання; оцінки та аналізу інформації по кожному працівнику; мотивації та винагороди, а також забезпечення безпеки роботи співробітників.

Використання та розвиток як традиційних, так і інноваційних технологій HR-менеджменту, здатні суттєво підвищити якість управлінських рішень; продуктивність, рівень самовіддачі та компетенції кожного співробітника; спростити роботу HR-фахівців; мінімізувати ризик людських помилок.

Сучасні інноваційні технології, які застосовуються в управлінні персоналом, сприяють розвитку корпоративної культури організації, зростанню клієнтського капіталу - капіталу відносин, а також підвищенню рівня клієнторієнтованості та конкурентоспроможності компаній.

Діджиталізація прискорює процеси децентралізації управління. Відбувається перехід від директивного управління до лідерського**,** де працівники-партнери приймають на себе відповідальність та вибудовують новий тип комунікацій. При цьому найповніше досягаються переваги діджиталізації

Вдосконалення управління розвитком персоналу в подальшому має здійснюватись в напрямку оптимізації роботи співробітників (внаслідок забезпечення можливостей їх самореалізації, самовдосконалення, та підвищення рівня інформаційної та цифрової компетенності) а також залученості та командної роботи. Це сприятиме підвищенню гнучкості, ефективності, прозорості прийнятих управлінських рішень та в той же час - зростанню конкурентоспроможності компаній і працівників.

Перелік посилань

1. Попова Н.В.Шинкаренко В. Г. Криворучко О. М. DIGITAL-інновації та їх вплив на транспортно-логістичні організації в умовах VUCA. Економіка транспортного комплексу, вип.39, 2022. DOI: 10.30977/ETK.2225-2304.2022.39.5

2. Зуб П. В.Калач Г. М. Цифровізація бізнес-процесів промислових підприємств. Економіка та суспільство. вип. 26 2021. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-26-52

3. Літорович О. В. Особливості менеджменту персоналу підприємств в умовах діджиталізації Економіка та суспільство вип.38/2022 DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-38-34

4. Швець Л. В. Сучасні тенденції розвитку персоналу. Економіка та управління на транспорті. 2018. Вип.6. С.149 -151.

5. Могильна Л.М,, Орєхова А.І., Хромушина Л.А. Використання інноваційних ІТ технологій для HR-менеджменту. Економіка і суспільство вип. 44, 2022.

DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-44-56

6.Данилевич Н., Рудакова С., Щетініна Л., Касяненко Я. Діджіталізація HR-процесів у сучасних реаліях. Галицький економічний вісник. ТНТУ. 2020. №3(64).С.147–156.URL: http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/32485/2/GEB_2020v64n3_Danylevych_N-HR_processes_digitization_147-156.pdf (дата звернення: 14.11.2022).

7. Гуцуляк Н. П. Сучасні технології управління персоналом. Економіка і організація управління. 2019.№ 3 (35). С. 111–118. DOI: https://doi.org/10.31558/2307-2318.2019.3.11.

8. Кормщикова О.О., Рощина Н. Вплив цифровізації на ефективність управління персоналом в сучасних умова**х.** Матер. XVII міжнар. конф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, 7.12.2023, Київ

9. Смолинець І.Б., Левків Г.Я. Управління персоналом в умовах діджиталізації. Вісник Харківського національного університету ім. В.Н.Каразіна, серія економічна, 2021, вип.101 DOI: 10.26565/2311-2379-2021-101-09

10. Швець Л.В., Редько Н.О., Дудка Т.В. Сучасні тенденції розвитку сфери послуг. Економіка та суспільство, №34, 2021. (електронне видання). URL:https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1015/973

11. Чайкіна А.О. Залуга Ю.М Особливості управління діджиталізацією підприємства. Причорноморські економічні студії, вип.71, 2021, с.128-132. DOI: https://doi.org/10.32843/bses.71-20

12. Про вищу освіту: Закон України від 01.07.14 р. №1556-YII. База даних «Законодавство України» / ВР України. URL:https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18 (дата доступу 20.02.2021 р.)

13. Кремень В. Г., Ткаченко В. М. Синергетика в освіті: контекст людиноцентризму: [монографія] Київ: Педагогічна думка, 2012. 368с.

14. Винничук Р.О. Цифровізація в управлінні персоналом: понятійно-категоріальний апарат. Наука і техніка сьогодні. № 11(25), 2023. https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-11(25)-229-241

INNOVATIVE CHANGES IN PERSONNEL DEVELOPMENT PROCESSES IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION

Anna Haidai, Candidate of Economic Sciences, National Transport University, Associate Professor of the Department of Economics, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1731-9056

Tamara Dudka, National Transport University, Associate Professor of the Department of Economics, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7365-2403

Svitlana Petrovska, Candidate of Economic Sciences, National Transport University, Associate Professor of the Department of Economics, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3561-5729

Lyudmila Shvets, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, Professor of the Department of Economics, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4545-4252

Abstract. This article examines trends in personnel development within the modern economic space, considering the digitalization of business processes. It emphasizes the most successful areas of digitalizing personnel development processes: recruitment, training and professional development of employees, employee and client communication. The conclusion is drawn that improving the quality and speed of remote communication with clients leads to an increase in client capital and promotes enhanced customer orientation, company image, and competitiveness. The article highlights the growing role and effectiveness of analytics in a digitalized environment, which is essential for making competent and efficient management decisions based on rapid access to enterprise data, simplified information processing, and the efficient handling of large volumes of information.

It is emphasized that the digitalization of business processes significantly accelerates the decentralization of management processes, contributing to the formation of self-managed teams and increasing the innovative activity and competence of participants. The need for digitization in various spheres of activity is emphasized to significantly increase the requirements for information, communication and digital competence of employees. Therefore, a crucial current requirement for increasing each employee's competitiveness is the need for continuous self-improvement, aligning with the idea of lifelong learning.

Along with the development of individual employees' competencies, the requirements for the development of corporate competence of personnel (within the existing corporate culture and the corresponding innovation climate) are growing.

The article outlines the prospects for managing personnel development in the context of deepening digitalization processes, aiming at optimizing employees' work (by providing opportunities for competence enhancement and self-realization), their engagement (through the development of corporate culture), and teamwork.

Keywords: digitalization, personnel development, digital technologies, client-oriented approach, digital competence, self-improvement

References

1. Popova N.V., Hynkarenko V. H., Kryvoruchko O. M. DIGITAL-innovatsii ta yikh vplyv na transportno-lohistychni orhanizatsii v umovakh VUCA. Ekonomika transportnoho kompleksu, vyp.39, 2022. DOI: 10.30977/ETK.2225-2304.2022.39.5

2. Zub P. V., Kalach H. M. Tsyfrovizatsiia biznes-protsesiv promyslovykh pidpryiemstv. Ekonomika ta suspilstvo. vyp. 26 2021. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-26-52

3. Litorovych O. V. Osoblyvosti menedzhmentu personalu pidpryiemstv v umovakh didzhytalizatsii Ekonomika ta suspilstvo vyp.38/2022 DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-38-34

4. Shvets L. V. Suchasni tendentsii rozvytku personalu. Ekonomika ta upravlinnia na transporti. 2018. Vyp.6. S.149 -151.

5. Mohylna L.M,, Oriekhova A.I., Khromushyna L.A. Vykorystannia innovatsiinykh IT tekhnolohii dlia HR-menedzhmentu. Ekonomika i suspilstvo vyp. 44, 2022. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-44-56

6. Danylevych N., Rudakova S., Shchetinina L., Kasianenko Ya. Didzhitalizatsiia HR-protsesiv u suchasnykh realiiakh. Halytskyi ekonomichnyi visnyk. TNTU. 2020. №3(64).S.147–156.URL: http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/32485/2/GEB_2020v64n3_Danylevych_N-HR_processes_digitization_147-156.pdf (data zvernennia: 14.11.2022).

7. Hutsuliak N. P. Suchasni tekhnolohii upravlinnia personalom. Ekonomika i orhanizatsiia upravlinnia. 2019.№ 3 (35). S. 111–118. DOI: https://doi.org/10.31558/2307-2318.2019.3.11.

8. Kormshchykova O.O., Roshchyna N. Vplyv tsyfrovizatsii na efektyvnist upravlinnia personalom v suchasnykh umovakh. Mater. KhUII mizhnar. konf., KPI im. Ihoria Sikorskoho, 7.12.2023, Kyiv

9. Smolynets I.B., Levkiv H.Ia. Upravlinnia personalom v umovakh didzhytalizatsii. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu im. V.N.Karazina, seriia ekonomichna, 2021, vyp.101 DOI: 10.26565/2311-2379-2021-101-09

10. Shvets L.V., Redko N.O., Dudka T.V. Suchasni tendentsii rozvytku sfery posluh. Ekonomika ta suspilstvo, №34, 2021. (elektronne vydannia). URL:https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1015/973

11. Chaikina A.O. Zaluha Yu.M Osoblyvosti upravlinnia didzhytalizatsiieiu pidpryiemstva. Prychornomorski ekonomichni studii, vyp.71, 2021, s.128-132. DOI: https://doi.org/10.32843/bses.71-20

12 Pro vyshchu osvitu: Zakon Ukrainy vid 01.07.14 r. №1556-YII. Baza danykh «Zakonodavstvo Ukrainy» / VR Ukrainy. URL:https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18 (data dostupu 20.02.2021 r.)

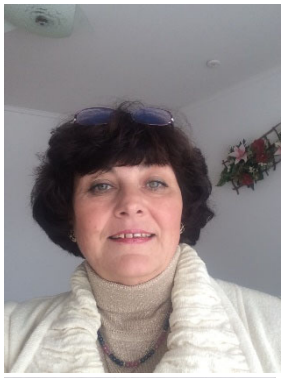
13 Kremen V. H., Tkachenko V. M. Synerhetyka v osviti: kontekst liudynotsentryzmu: [monohrafiia] Kyiv: Pedahohichna dumka, 2012. 368s.

14. Vynnychuk R.O. Tsyfrovizatsiia v upravlinni personalom: poniatiino-katehorialnyi aparat. Nauka i tekhnika sohodni. № 11(25), 2023. https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-11(25)-229-241

УДК: 65.338.242
UDC: 65.338.242
DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-309-316

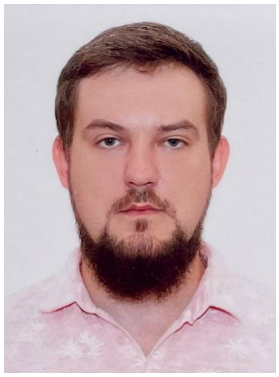
МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНОЮ АКТИВНІСТЮ ПІДПРИЄМСТВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇХ ДІЯЛЬНОСТІ

SIMULATION OF THE IMPACT OF MANAGEMENT OF THE INNOVATIVE ACTIVITY OF ENTERPRISES ON THE EFFICIENCY OF THEIR ACTIVITIEST



Гречан Алла Павлівна, *доктор економічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри економіки, e-mail: Grechan.ap@gmail.com, тел.+380442803016, Україна, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 313,*

orcid.org/0000-0003-3984-9952



Гречан Павло Юрійович*, доктор філософії з менеджменту, Міжнародний науково-технічний університет, e-mail: grechan.pavlo@gmail.com, тел.+380443534706, Україна, м.Київ, пров.Магнітогорський, 3.*

orcid.org/0000-0003-4878-9744

Анотація. В статті представлена запропонована векторна модель управління інноваційною активністю підприємства, яка враховує оцінку рівня інноваційної діяльності, інноваційного потенціалу і фінансового забезпечення суб'єкта господарювання і спрямована на прийняття обґрунтованих управлінських рішень, що забезпечують підвищення ефективності його діяльності.

Мета статті – обґрунтування векторної моделі впливу управління інноваційною активністю підприємств на ефективність їх діяльності.

Об'єкт дослідження – методичне забезпечення дієвого управління інноваційною активністю підприємства з метою забезпечення його ефективного розвитку у довгостроковій перспективі.

Методи дослідження – теоретико-логічне обґрунтування та економічне моделювання дієвого управління інноваційною активністю підприємства для забезпечення його ефективного функціонування і спрямованого на стратегічний розвиток суб'єктів господарювання.

Використання моделювання для аналізу різних сценаріїв розвитку інноваційної діяльності дає змогу підприємствам приймати більш обґрунтовані рішення та впроваджувати найефективніші стратегії. Це, в свою чергу, сприяє підвищенню загальної ефективності діяльності підприємства та його стійкості на ринку.

Запропонована векторна модель впливу управління інноваційною активністю підприємства на ефективність його діяльності передбачає оцінку основних її елементів (інноваційної діяльності, інноваційного потенціалу і фінансового забезпечення інноваційних процесів), які у розмірі відповідних векторів у трьохвимірній площині формують вектор напряму управлінських рішень для забезпечення підвищення ефективності діяльності підприємства.

Перевагами моделі є можливість врахування альтернативних варіантів управління інноваційною активністю, вона дозволяє оптимізувати його за рахунок поєднання асиметрії та гармонізації розвитку, сприяє обґрунтованості управлінських рішень з метою підвищення ефективності інноваційної активності підприємств та забезпечення їх економічного розвитку.

Ключові слова: інноваційна активність, управління підприємством, модель управління, економіко-математичне моделювання, ефективність підприємства, розвиток підприємства, інноваційний потенціал, фінансове забезпечення.

Вступ. Постановка проблеми. Особливістю сьогодення є вирішальна роль інновацій у забезпеченні конкурентоспроможності та стійкого розвитку підприємств. Інноваційна активність, яка передбачає впровадження нових продуктів, процесів, технологій та управлінських підходів, стає ключовим фактором успіху кожного суб'єкту господарювання. Управління цією активністю потребує системного підходу, що враховує як внутрішні ресурси підприємства, так і зовнішні впливи ринку. Дослідження моделювання впливу управління інноваційною активністю на ефективність діяльності підприємств набуває особливої актуальності в умовах швидких технологічних змін і глобальної конкуренції.

Моделювання є потужним інструментом для аналізу та прогнозування наслідків управлінських рішень у сфері інновацій. Воно дозволяє створити віртуальну копію реальних процесів, що відбуваються на підприємстві, та дослідити їх у різних сценаріях. Це дає змогу виявити найбільш ефективні стратегії управління інноваціями, оптимізувати ресурси та мінімізувати ризики. За допомогою моделювання можна також оцінити вплив різних факторів, таких як інвестиції в дослідження та розробки, рівень кваліфікації персоналу, ступінь інтеграції нових технологій та інших, на загальну ефективність діяльності підприємства. Тому розробка моделі, яка б дозволяла активізувати інноваційну діяльність підприємств з метою підвищення ефективності їх діяльності, є надзвичайно важливим і актуальним завданням.

Мета статті - обґрунтування векторної моделі впливу управління інноваційною активністю підприємств на ефективність їх діяльності.

Основна частина. Високий рівень інноваційної активності підприємств, є необхідною умовою максимального задоволення споживачів при мінімальних витратах, високого рівня конкурентоспроможності та стійких темпів економічного розвитку. Дана парадигма актуалізує ряд теоретичних і практичних питань за напрямом оцінювання та управління інноваційною активністю підприємств.

Рівень інноваційної активності в умовах сьогодення є одним з найбільш важливих показників діяльності підприємств, на який впливає значна кількість факторів. У своїх працях більшість науковців зосереджують свою увагу на оцінці ефективності інноваційної діяльності підприємств, використовуючи підхід, який передбачає співставлення отриманих ефектів до витрат [1, 2, 3, 4]. При цьому застосовують факторний аналіз, мультиплікативні моделі (модель оцінки впливу витрат на

освоєння інновацій на зміну витрат на одиницю обсягу реалізованої продукції, моделі ефективності роботи працівників науково-дослідних і проектно-конструкторських підрозділів)

Для забезпечення дієвого управління цими процесами нами пропонується використовувати векторну модель. Її перевагами і особливостями є те, що вона дозволяє оцінити результативність управління інноваційною активністю підприємств з урахуванням трьох виокремлених інтегральних індикаторів ефективності: інноваційної діяльності, інноваційного потенціалу та фінансового забезпечення інноваційних процесів компанії.

Під інноваційною діяльністю розуміємо процес створення, розвитку та впровадження нових або значно вдосконалених продуктів, послуг, технологій, процесів або управлінських рішень. Вона включає весь спектр заходів, спрямованих на дослідження і розробку, впровадження новацій у виробничу та управлінську практику, а також комерціалізацію результатів науково-дослідницької та конструкторської діяльності. Метою інноваційної діяльності є підвищення ефективності, конкурентоспроможності та адаптивності підприємства до змін ринкових умов.

Інноваційний потенціал підприємства визначаємо як сукупність його ресурсів, можливостей та здатностей, що дозволяють генерувати, розробляти та впроваджувати інновації. До складу інноваційного потенціалу входять науково-технічні, фінансові, матеріальні, кадрові та інформаційні ресурси, а також організаційні структури і управлінські процеси, які сприяють створенню і реалізації нових продуктів, технологій або послуг. Високий інноваційний потенціал підприємства забезпечує його конкурентоспроможність, здатність швидко адаптуватися до змін ринкового середовища та сприяє довгостроковому розвитку.

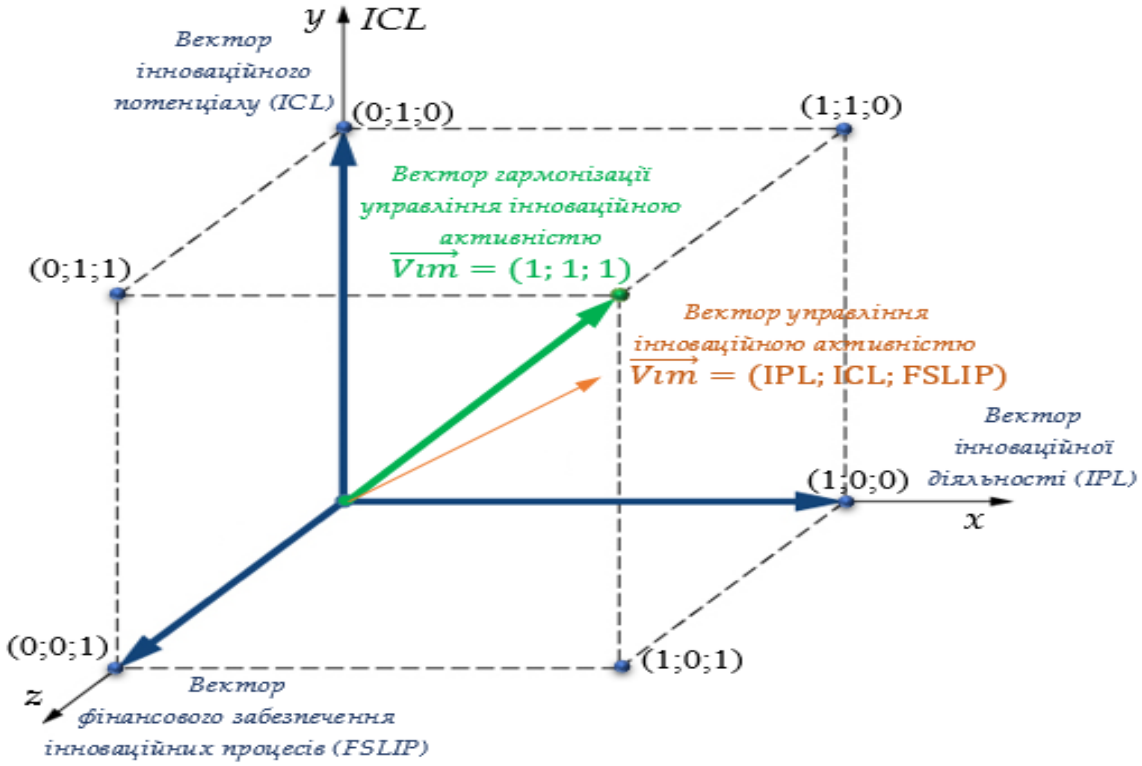


Рисунок 1 – Векторна модель управління інноваційною активністю підприємства

Figure 1 – Vector model of management of innovative activity of the enterprise

Окремо виділяється як важливий елемент моделі фінансове забезпечення інноваційних процесів компанії. Це система заходів і механізмів, спрямованих на акумулювання, розподіл та ефективне використання фінансових ресурсів для підтримки, розвитку та впровадження інновацій. Даний елемент включає залучення інвестицій, планування бюджету, фінансування науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, управління витратами на нові проекти, а також оцінку та мінімізацію фінансових ризиків, пов'язаних з інноваційною діяльністю. Фінансове забезпечення є критичним елементом успішного реалізації інноваційних стратегій, оскільки без достатнього фінансування неможливо здійснити ефективну розробку та впровадження новацій

Згідно запропонованої моделі, рівень інноваційної активності інтерпретується як вектор, що утворений на основі трьох визначених напрямів (індикаторів) (рис.1).

Основними елементами запропонованої векторної моделі є виокремлені напрями, які відповідають показникам, що утворюють тривимірний простір та є основою вектору управління інноваційною активністю підприємства.

Тривимірний простір осей координат, які демонструють ефективність за виокремленими напрямами інноваційної активності, утворюють вектор управління інноваційною активністю автотранспортного підприємства:

$$\overrightarrow{Vim} = (\mathrm{IPL}; \mathrm{ICL}; \mathrm{FSLIP}).$$

Даний вектор утворює діагональ прямокутного паралелепіпеда, сформованого на основі виокремлених напрямів (індикаторів) і його величина демонструє рівень управління інноваційною активністю підприємства, яку можна визначити таким чином:

$$\overrightarrow{|Vim|} = \sqrt{\mathrm{IPL}^2 + \mathrm{ICL}^2 + \mathrm{FSLIP}^2},$$

де V_{im} – вектор ефективності управління інноваційною активністю підприємства (Vector of Innovation Management);

IPL – рівень ефективності інноваційної діяльності (Innovation Performance Level);

ICL – рівень інноваційного потенціалу (Innovation Capacity Level);

FSLIP – рівень фінансового забезпечення інноваційних процесів (Financial Support Level for Innovation Processes).

Дана модель є елементом механізму управління інноваційною активністю підприємств. [5, с. 169] При цьому виділяються основні етапи впливу управління інноваційною активністю підприємств на ефективність їх діяльності (рис. 2).

Важливим етапом моделювання є обґрунтування сформованої системи ключових індикаторів ефективності управління інноваційною активністю підприємств. Кожен із запропонованих напрямів інноваційної активності компанії отримує оцінку, яка утворена на основі середнього арифметичного нормалізованих показників:

- для рівня ефективності інноваційної діяльності: коефіцієнт впровадження інновацій (L_1), частка витрат на ДіР та інші зовнішні знання (L_2), коефіцієнт придатності техніки (L_3), частка витрат на інновації в доході підприємства (L_4);

- для рівня інноваційного потенціалу: частка працівників, задіяних в ДіР (L_5), коефіцієнт забезпечення інтелектуальною власністю (L_6), коефіцієнт придатності інтелектуальної власності (L_7), а також коефіцієнт освоєння нової техніки (L_8);
- для рівня фінансового забезпечення інноваційних процесів: коефіцієнт автономії (L_9), коефіцієнт фінансової стійкості (L_{10}), коефіцієнт абсолютної ліквідності (L_{11}) та коефіцієнт покриття (L_{12}).

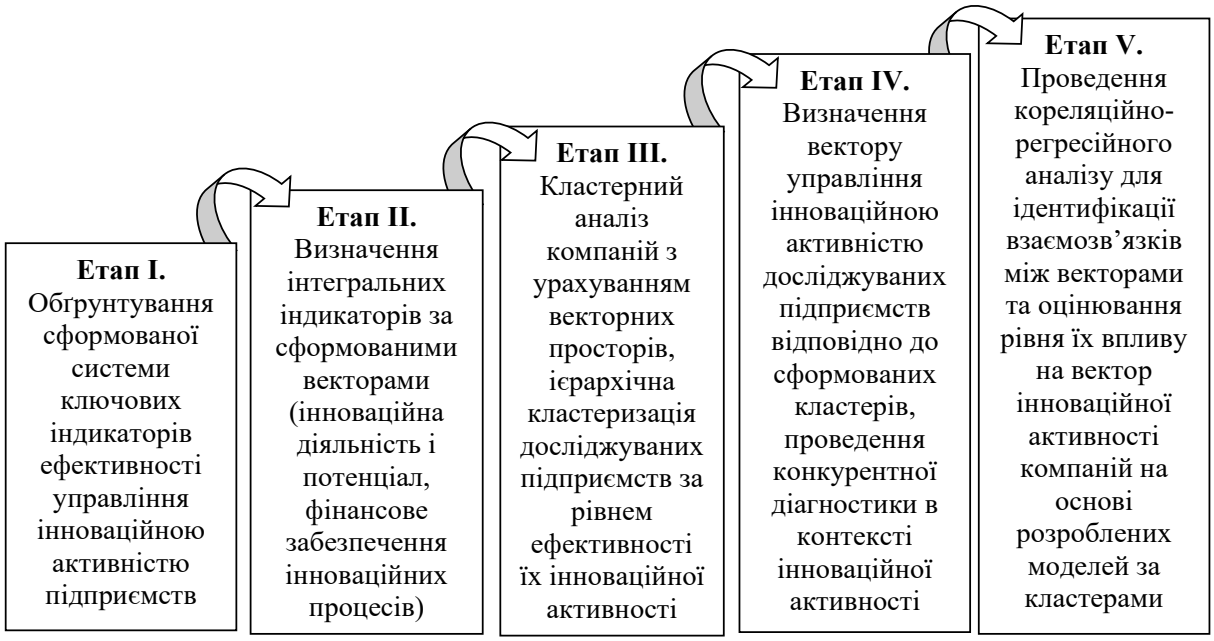


Рисунок 2 – Етапи моделювання впливу управління інноваційною активністю підприємств на ефективність їх діяльності

Figure 2 – Stages of modeling the influence of management of innovative activity of enterprises on the efficiency of their activities

Визначені індикатори інноваційної активності досліджуваних підприємств в процесі діагностики для визначення вектору управління інноваційною активністю повинні пройти нормалізацію, оскільки вони мають різні одиниці виміру. Оскільки кожен напрям інноваційної активності компанії характеризує рівень ефективності управління з урахуванням його цілей за кожною з груп показників. При цьому вектор управління інноваційною активністю буде включати загальний обсяг суми нормалізованих показників підприємства.

Для нормалізації в процесі приведення отриманих показників інноваційної активності за трьома напрямами до єдиної шкали вимірювання необхідно використовувати лінійну трансформацію, яку можна виразити таким чином [6, с. 169]:

$$l_{ni} = \begin{cases} \frac{l_i - l_i^{min}}{l_i^{max} - l_i^{min}}, & l_i \to max \\ \frac{l_i - l_i^{max}}{l_i^{min} - l_i^{max}}, & l_i \to min \end{cases},$$

де l_i – і-ий показник інноваційної активності, який є елементом системи ключових індикаторів у контексті ефективності управління, i = {1, 2, 3, …, 12};

l_i^{min} – мінімальне значення і-го показника інноваційної активності підприємства;

l_i^{max} – максимальне значення і-го показника інноваційної активності автотранспортного підприємства;

l_{ni} – нормалізоване значення і-го показника інноваційної активності автотранспортного підприємства.

Проведення нормалізції показників інноваційної активності підприємств дозволяє визначити рівень ефективності управління за трьома напрямами, згідно запропонованої векторної моделі, - інноваційна діяльність, інноваційний потенціал і фінансове забезпечення інноваційних процесів.

Отже, визначення векторів управління інноваційною активністю надає можливість також порівняти ефективність на різних підприємствах, їх групах, провести конкурентну діагностику з урахуванням рівня інноваційної активності досліджуваних компаній.

Висновки

Ефективне управління інноваційною активністю підприємств є критичним чинником для забезпечення їхньої конкурентоспроможності та довгострокового успіху. Моделювання впливу різних управлінських підходів на інноваційну активність передбачає виявити ключові фактори, які впливають на результативність інноваційних процесів. Це, зокрема, включає обсяг інвестицій у дослідження та розробки, рівень кваліфікації та мотивації персоналу, а також ступінь інтеграції нових технологій у виробничі процеси.

Пропонується елементами інноваційної активності виділити інноваційну діяльність, інноваційний потенціал та фінансове забезпечення інноваційних процесів компанії. Розроблена векторна модель дозволяє оцінити їх рівень та визначити напрям управлінських рішень для забезпечення підвищення ефективності діяльності підприємства.

Перевагами моделі є можливість врахування альтернативних варіантів управління інноваційною активністю, вона дозволяє оптимізувати його за рахунок поєднання асиметрії та гармонізації розвитку, сприяє обґрунтованості управлінських рішень з метою підвищення ефективності інноваційної активності підприємств та забезпечення їх економічного розвитку.

Перелік посилань

1. Микитюк В. П. Методичні підходи до аналізу ефективності інноваційної діяльності підприємства. *Економічний аналіз,* Вип. 1(17), с. 166–170, 2007.

2. Полянська А. С. Сучасні підходи до оцінювання ефективності інноваційної діяльності підприємства. [Електронний ресурс]. Доступно: http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/18748/1/37-175-180.pdf

3. Зозуляк М. М. Оцінка інноваційної діяльності підприємства. *Освіта і наука*, Вип. 24(1), с. 257–262, 2018.

4.Іванова В.В. Управління інноваційною діяльністю підприємства: оцінка ефективності процесу. *Вісник післядипломної освіти*. Вип. 16(45) «Серія «Соціальні та поведінкові науки», 2021. [Електронний ресурс]. Доступно: https://doi.org/10.32405/2522-9931-2021-16(45)

5.Гречан А.П., Гречан П.Ю. Механізм управління інноваційною активністю підприємства. *Вісник Національного транспортного університету*. Серія «Економічні науки». Науковий журнал. К.: НТУ, 2022. Вип. 2 (52). С.104-112

6. Демченко П. Окремі ключові аспекти удосконалення методичних підходів до функціонування механізму інноваційно-інвестиційного розвитку підприємства. *Економічний аналіз.* 2020, №. 3. С. 166-174.

SIMULATION OF THE IMPACT OF MANAGEMENT OF THE INNOVATIVE ACTIVITY OF ENTERPRISES ON THE EFFICIENCY OF THEIR ACTIVITIES

Alla Grechan, Doctor of Economics, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: Grechan.ap@gmail.com, orcid.org/ 0000-0003-3984-9952

Pavlo Grechan, Doctor of Philosophy in Management, International University of Science and Technology, e-mail: grechan.pavlo@gmail.com. orcid.org/0000-0003-4878-9744

Abstract. The article presents the proposed vector model of managing the innovative activity of the enterprise, which takes into account the assessment of the level of innovative activity, innovative potential and financial support of the economic entity and is aimed at making reasonable management decisions that ensure the improvement of the efficiency of its activity.

The purpose of the article is to substantiate the vector model of the influence of the management of innovative activity of enterprises on the efficiency of their activities.

The object of the study is methodical provision of effective management of the innovative activity of the enterprise in order to ensure its effective development in the long term.

Research methods – theoretical and logical substantiation and economic modeling of effective management of the innovative activity of the enterprise to ensure its effective functioning and aimed at the strategic development of economic entities.

The use of modeling to analyze various scenarios of the development of innovative activity enables enterprises to make more informed decisions and implement the most effective strategies. This, in turn, helps to increase the overall efficiency of the enterprise and its stability on the market.

The proposed vector model of the influence of the management of the innovative activity of the enterprise on the efficiency of its activity involves the assessment of its main elements (innovative activity, innovative potential and financial support of innovative processes), which in the size of the corresponding vectors in a three-dimensional plane form a vector of the direction of management decisions to ensure the improvement of the efficiency of the enterprise.

The advantages of the model are the ability to take into account alternative options for managing innovative activity, it allows to optimize it due to the combination of asymmetry and harmonization of development, contributes to the validity of management decisions in order to increase the efficiency of innovative activity of enterprises and ensure their economic development.

Key words: innovative activity, enterprise management, management model, economic and mathematical modeling, enterprise efficiency, enterprise development, innovation potential, financial support.

References

1. Mykytyuk V. P. Metodychni pidkhody do analizu efektyvnosti innovatsiynoyi diyal′nosti pidpryyemstva [Methodical approaches to the analysis of the efficiency of innovative activity of the enterprise]. Ekonomichnyy analiz, Vyp. 1(17), s. 166–170, 2007. [in Ukrainian].

2. Polyans′ka A. S. Suchasni pidkhody do otsinyuvannya efektyvnosti innovatsiynoyi diyal′nosti pidpryyemstva [Modern approaches to evaluating the effectiveness of the innovative activity of the enterprise]. [Elektronnyy resurs]. Dostupno: http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/18748/1/37-175-180.pdf [in Ukrainian].

3. Zozulyak M. M. Otsinka innovatsiynoyi diyal′nosti pidpryyemstva [Evaluation of innovative activity of the enterprise]. Osvita i nauka, Vyp. 24(1), s. 257–262, 2018. [in Ukrainian].

4. Ivanova V.V. Upravlinnya innovatsiynoyu diyal′nistyu pidpryyemstva: otsinka efektyvnosti protsesu [Management of innovative activity of the enterprise: evaluation of the effectiveness of the process]. Visnyk pislyadyplomnoyi osvity. Vyp. 16(45) «Seriya «Sotsial′ni ta povedinkovi nauky», 2021. [Elektronnyy resurs]. Dostupno: https://doi.org/10.32405/2522-9931-2021-16(45) [in Ukrainian].

5. Grechan A.P., Grechan P.YU. Mekhanizm upravlinnya innovatsiynoyu aktyvnistyu pidpryyemstva [Mechanism of management of innovative activity of the enterprise]. Visnyk Natsional′noho transportnoho universytetu. Seriya «Ekonomichni nauky». Naukovyy zhurnal. K.: NTU, 2022. Vyp. 2 (52). S.104-112. [in Ukrainian].

6. Demchenko P. Okremi klyuchovi aspekty udoskonalennya metodychnykh pidkhodiv do funktsionuvannya mekhanizmu innovatsiyno-investytsiynoho rozvytku pidpryyemstva [Certain key aspects of improving methodical approaches to the functioning of the mechanism of innovation and investment development of the enterprise]. Ekonomichnyy analiz. 2020, №. 3. S. 166-174. [in Ukrainian].

УДК 338.47 **DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-317-336**
УДК 338.47

ПРОФЕСІЙНА КУЛЬТУРА ТА РОЗВИТОК ПЕРСОНАЛУ ТРАНСПОРТУ ЯК ПРОВІДНОЇ ГАЛУЗІ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ

PROFESSIONAL CULTURE AND DEVELOPMENT OF TRANSPORT STAFF AS A LEADING INDUSTRY OF THE NATIONAL ECONOMY OF UKRAINE IN THE CONDITIONS OF EUROPEAN INTEGRATION



Спіцина Ангеліна Євгеніївна *кандидат педагогічних наук, доцент кафедри економіки, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: angel7a@ukr.net, tel. +380679053181, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1*

https:// orcid.org/0000-0001-9730-6249

Анотація. У статті обгрунтовано необхідність формування професійної культури фахівців ранспортної галузі як невід'ємної складової їхньої загальної культури. Подано різні наукові підходи до изначення сутності і структури досліджуваного феномена. Формування професійної культури особистості фахівців транспорту у процесі їх навчально-професійної діяльності є однією з актуальних проблем сьогодення. В країні проблема професійної самосвідомості, психолого-педагогічних умов її формування найбільш гостро постала саме сьогодні через зміни соціальних та економічних умов, новації в галузі освіти, особливо професійної, а також в зв'язку з потребою зміни ставлення суб'єкта праці до своєї професійної діяльності.

У статті розкривається роль та обґрунтовується необхідність професійного розвитку і навчання персоналу, а також здійснюється аналіз основних напрямів і форм професійного навчання і підвищення кваліфікації персоналу.Досліджено поняття професійного розвитку персоналу транспортної галузі та здійснено аналіз поглядів різних науковців щодо визначення цього поняття. Визначено зовнішні та внутрішні фактори організації, які зумовлюють необхідність професійного розвитку та навчання персоналу. Сформульовані мотиви працівника професійно розвиватися. Диференційовано цілі професійного навчання персоналу організації.

Ключові слова: розвиток персоналу, транспортна галузь, розвиток, професійної культури, євроінтеграція, професійний розвиток, професійне навчання

Вступ. Постановка проблеми. У сучасних умовах глобалізації, де швидкість, ефективність і вартість транспортування товарів і послуг набувають вирішального значення, розвиток транспортної галузі стає ключовим фактором підвищення глобальної конкурентоспроможності держави. Для України, з її стратегічно вигідним географічним положенням, це набуває особливої актуальності. В контексті повномасштабної воєнної агресії рф проти України саме функціонування транспортних

підприємств стало одним з головних факторів, які забезпечують певний рівень економічної та соціальної стабільності країни.

В наш час працівник повинен володіти такими якостями, як стратегічне мислення, підприємливість, широка ерудиція, висока культура. Сьогодні постає вимога безперервного розвитку персоналу, тобто проведення заходів, що сприяють повному розкриттю особистого потенціалу працівників. Такі заходи можуть бути індивідуальними чи груповими, проводитися на робочому місці чи спеціалізовано, бути орієнтованими на розвиток загальних чи специфічних навичок і вмінь.
Професійна культура є якісною ознакою соціального розвитку, конкретною цілісністю, створеною людською діяльністю. Вона характеризується через визначеність людської діяльності як систему найважливіших і необхідних властивостей певного фаху. Термін «професійна культура» підкреслює, що культура розглядається як специфічна якість діяльності фахівця та розкриває предметний зміст культури, який визначається специфікою професії, професійної діяльності та професійного співтовариства.

Система розвитку персоналу на підприємстві має бути гнучкою, здатною змінювати зміст, методи та організаційні форми згідно з потребами виробництва і ситуацією, яка складається на ринку праці. У зв'язку з цим управління персоналом повинно сконцентрувати свої зусилля на вирішення таких проблем: розробка стратегії з питань формування кваліфікованого персоналу; визначення потреб у навчанні працівників в розрізі спеціальностей та професії; вибір форм і методів професійного розвитку персоналу; вибір програмно-методичного та матеріально-технічного забезпечення процесу навчання як важливої умови його якості; фінансове забезпечення всіх видів навчання в потрібній кількості.

Навчання персоналу дозволяє вирішувати основні завдання як в інтересах організації – підвищення ефективності і якості праці, так і в інтересах людини – підвищується рівень життя, створюється можливість для реалізації своїх здібностей. Працівник стає конкурентоспроможним на ринку праці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На актуальність проблеми формування питань професійної культури персоналу та професійного розвитку персоналу разних налузей національної економіки України в контексті поточних і майбутніх викликів вказують численні дослідження українських та зарубіжних вчених С. В. Дудко, А. Ю. Жиленко, І. В. Партика, С.А. Ісаєнко, М.В. Семикіна, Г.С.Улунова, А. М. Зленко, Л. П. Пуховська та інші.. Проблема значення професійної культури та профксійного розвитку персоналу транспортної галузі в умовах євроінтеграції України є актуальною та потребує подальших досліджень.

Мета написання статті полягає в уточненні сутності поняття «професійна культура», обґрунтуванні як соціальної, так і професійної природи досліджуваного феномену, а також визначенні його змісту, структури, способів формування. Сформульована мета окреслила коло авдань щодо уточнення ключових понять статті (фахівець, професійний, культура, професійна культура та ін.), визначення методології та теоретичної бази дослідження, визначення способів формування професійної культури фахівця. А також полягає у розкритті основних напрямів, форм та методів професійного розвитку персоналу, організації навчання персоналу.

Основнв частина.

Участь у євроінтеграційних процесах є за змістом не просто міжнародною взаємодією економік України та ЄС, а насамперед процесом глибокого проникнення законодавства, норм і правил ведення бізнесу, кращих практик ЄС в українську економіку. Реалізація євроінтеграційних планів України в

економічній сфері базуєть/ся на двосторонніх домовленостях з ЄС щодо гармонізації секторального законодавства, правил і технічних стандартів. У цьому контексті розвиток транспортного сектору України є пріоритетним, що визначається вигідним географічним розташуванням країни. Євроінтеграційна співпраця транспортного сектора для України є соціально-економічним пріоритетом на майбутні періоди розвитку євроінтеграційних процесів.

Євроінтеграція є головним і незмінним зовнішньоекономічним пріоритетом України, реалізація якого у транспортній сфері дозволить збільшити обсяги перевезень міжнародними транспортними коридорами, що розташовані на території України, покращити умови експорту українських товарів, залучити національних перевізників до транспортування транзитних вантажів між Європою та Азією, покращити безпеку руху тощо[18]..

Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським Співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої передбачає розширення і зміцнення співробітництва України з ЄС у сфері транспорту з метою сприяння розвитку стабільних транспортних систем, здійснення ефективних і безпечних транспортних перевезень та посилення основних транспортних зв'язків між територіями сторін Угоди. У сфері розвитку стабільних транспортних систем найактуальнішим для України напрямом є модернізація транспортної інфраструктури та оновлення рухомого складу. У сфері здійснення ефективних та безпечних транспортних перевезень відбувається наближення вітчизняного законодавства до вимог законодавства ЄС. З метою посилення основних транспортних зв'язків між територіями України та ЄС відбувається лібералізація та дерегуляція внутрішнього ринку транспортних послуг.

Пріоритетні напрями та завдання країн-членів ЄС із досягнення цілей стратегії «Європа-2020» зумовлюють провідні тенденції та нові підходи до європейського менеджменту людських ресурсів. Розвиток людських ресурсів розглядається не тільки як економічна передумова, а й як спосіб вирішення проблеми зайнятості населення, де необхідна умова конкурентоспроможності сучасних підприємств - створення сильного Європейського ринку праці. Залежність збільшення темпів економічного росту від підвищення якості ринку праці змушує політиків звертати пильну увагу на систему безперервної професійної освіти і навчання, котра включає внутрішньофірмову підготовку і розвиток виробничого персоналу[18].

В умовах нестабільності успішна діяльність підприємств будь-якого напряму цілковито залежить від рівня професійної підготовки і розвитку персоналу, який працює на підприємстві.

У сучасних умовах глобалізації, де швидкість, ефективність і вартість транспортування товарів і послуг набувають вирішального значення, розвиток транспортної галузі стає ключовим фактором підвищення глобальної конкурентоспроможності держави. Для України, з її стратегічно вигідним географічним положенням, це набуває особливої актуальності. В контексті повномасштабної воєнної агресії рф проти України саме функціонування транспортних підприємств стало одним з головних факторів, які забезпечують певний рівень економічної та соціальної стабільності країни[14].

Втім, попри значний потенціал, існують численні проблеми, що стримують розвиток транспортної галузі, включаючи застарілу інфраструктуру, недостатнє фінансування, бюрократичні перепони та відсутність інтегрованої стратегії розвитку, воєнну агресії рф.

Зазначені перешкоди потребують комплексного підходу та вироблення ефективних стратегій модернізації та розвитку транспортної галузі, що дозволить Україні повною мірою реалізувати свій транспортний та економічний потенціал на міжнародній арені.

У наш час споживачі транспортних послуг все частіше скаржаться на якість їхніх послуг, що відображається в таких факторах, як неадекватне задоволення потреб клієнтів у перевезеннях, збільшення кількості випадків несвоєчасної доставки вантажів і зниження їх збереженості, погіршення технічного стану транспортних засобів і їх експлуатаційних характеристик, недостатній рівень інформаційного супроводу вантажів і застарілість застосовуваних інформаційних технологій. Останнє вимагає, щоб транспортні компанії створили ефективну систему управління якістю послуг[14].

Сучасні потреби у транспорті відображають динаміку економічного росту та соціального прогресу, які зумовлені рядом ключових факторів, зокрема:

– зростаюча потреба в мобільності населення;

– еволюція глобальної економіки та міжнародний поділ трудових ресурсів;

– процеси глобалізації та регіональної інтеграції;

– розвиток в телекомунікаціях та обміні інформацією;

– інноваційні підходи в організації дозвілля.

Зазначені чинники спонукають до безперервного удосконалення та адаптації транспортних систем для задоволення збільшених та різноманітних потреб сучасного суспільства.

Необхідність комплексного реформування транспортної галузі, її адаптації до сучасних умов господарювання обумовила потребу реорганізації та вдосконалення системи управління персоналом транспортної галузі.

В умовах підвищення конкуренції на ринку транспортних послуг ефективність виробничо-економічної діяльності залізничного, автомобільного, повітряного, морського та річкового транспорту сильно залежить від якості управління людськими ресурсами[17]..

Специфічні умови праці транспортної сфери проявляються в усіх основних аспектах управління персоналом, а саме виробничо-економічному, політичному, адміністративно-правовому, соціальному та психологічному, що ускладнює процес менеджменту. Так, до специфічних особливостей транспорту загального користування належать масштабність його роботи, тісна взаємодія з усіма галузями національної економіки, що має забезпечити ритмічне функціонування та збалансований розвиток економіки країни. Відомо, що головним завданням транспорту є забезпечення постійно зростаючих потреб національної економіки у вантажних та пасажирських перевезеннях.

Різноманіття видів діяльності транспорту та послуг, які надаються споживачам, тісна взаємодія всіх технологічних процесів, таких як перевезення вантажів та пасажирів, транспортно-експедиційне обслуговування, ремонт рухомого складу, виконання навантажувально-розвантажувальних робіт, складування та зберігання вантажів, висуває специфічні вимоги до кваліфікації кадрів, поєднання професій, тісної взаємодії та загальної економічної зацікавленості персоналу в кінцевих результатах діяльності[14]..

Вплив на персонал шкідливих факторів, пов’язаних з виконанням транспортного процесу, може викликати сильний дестабілізуючий ефект, який впливає на виробничу діяльність та психічний стан людини. Реальна загроза аварійної ситуації може викликати неадекватність реакції водія, машиніста, пілота, диспетчера та блокувати здатність правильно оцінити загрозливу ситуацію, тому ступінь психологічної підготовки персоналу має дуже велике значення

Безперервність технологічного процесу роботи транспорту викликає необхідність використання додаткових резервів технологічних потужностей, отже, трудових ресурсів, високої кваліфікації виробничого персоналу, володіння суміжними професіями, збільшує роль соціального та психологічного аспектів управління персоналом.

Транспортна галузь – це галузь, що прогресує і в якій якість послуг багато в чому залежить від культури поведінки персоналу, характеру взаємодії персоналу і споживачів послуг, їх професійної підготовки.

Якість послуг є найважливішим складовим елементом культури обслуговування. Під якістю послуги розуміється сукупність властивостей, які обумовлюють її здатність задовольняти певні потреби (потреби) споживачів. В успішно працюючих організаціях існує власна культура, яка призводить їх до досягнення позитивних результатів. Культура дозволяє відрізняти одну організацію від іншої, створює атмосферу ідентифікованості для членів організації, генерує прихильність цілям організації, зміцнює соціальну стабільність, слугує контролюючим механізмом, який направляє і формує відносини і поведінку працівників. Культура організації може виявитися прийнятною для певного періоду часу і умов. Зміна умов зовнішньої конкуренції, державного регулювання, стрімкі економічні зміни та нові технології вимагають змін культури організації, яка стримує підвищення її ефективності[1].

В «Українському педагогічному словнику» за редакцією С. Гончаренко зазначено, що «водночас під культурою розуміють рівень освіченості, виховання людей, а також рівень оволодіння якоюсь галуззю знань або діяльністю» [2, с. 182].

Професійна культура є якісною ознакою соціального розвитку, конкретною цілісністю, створеною людською діяльністю. Вона характеризується через визначеність людської діяльності як систему найважливіших і необхідних властивостей певного фаху.

В Енциклопедії освіти подано таке бачення: "...професійна культура включає сукупність принципів, норм, правил, методів, які сформувалися історично, регулюють процес, діяльність людини. Основу професійної культури складають знання та цінності, вироблені конкретною соціально-професійною групою та закріплені у традиціях її життєдіяльності (за О. Донцем, Ю. Мішиним, О. Шабаліним)" [4, 724].

Водночас саме якість виконання професійної діяльності значною мірою визначає рівень сформованості професійної культури фахівця. Так, науковці Р. Вечірко, О. Семашко, В. Олефіренко пов'язують професійну культуру з високим рівнем професійної підготовки, реалізацією діяльності на високому рівні (оптимальними способами) з метою досягнення максимального результату, вважають її інтегральною якістю особистості фахівця, умовою та передумовою ефективної професійної діяльності та професійного самовдосконалення. Формування професійної культури особистості означає засвоєння загальновизнаних стандартів кращих зразків професійної діяльності [1].

Актуальною, у контексті наукового пошуку, є думка А. Капської, згідно з якою професійна культура, окрім необхідних знань, умінь і навичок, включає певні особистісні якості, норми ставлення до різних складових професійної діяльності [9, 134].

Професійна культура – це колективне програмування людського розуму, яке відрізняє членів даної групи людей від іншої. Професійна культура – це специфічна сукупність засобів, способів, форм, зразків і орієнтирів взаємодії людей у професійному середовищі, які вони виробляють в сумісній професійній діяльності.

Професійна культура – це система колективних цінностей, переконань, зразків і норм виробничої поведінки, притаманних певній групі працівників – професіоналів[16]..

Професійна культура формується як важливий механізм взаємодії, що допомагає людям жити в професійному середовищі, зберігати єдність і цілісність науково-практичної діяльності

Для з'ясування сутності поняття «професійна культура» проаналізовано наукові праці вітчизняних учених. Результати аналізу, які представлені в таблиці 1, свідчать, про багатоаспектний підхід науковців до визначення його суті - соціальний, культурологічний, особистісний.

Таблиця 1 - Аналіз змісту поняття «професійна культура»
Table 1 - Analysis of the content of the concept of "professional culture"

№№ з/п	Автор	Зміст поняття «професійна культура»
1.	Марченко О.Г.	Професійна культура фахівця - сукупність соціально-значущих якостей (громадян-ська позиція, комунікативні та організаторські здібності), професійних і гуманітарних знань, практико-професій-них умінь, особистісних рис, досвід професійної діяльності, ціннісні орієнтації, які визначають ставлення
2.	Вечірко Р.	Професійна культура — це високий рівень професійної підго-товки, її якість. Це найяскравіша грань людської особистості і суспільства в цілому. Високий стан загальної культури суспільства, нації забезпечує належну освіту і професійну культуру.
3.	Пілевич О. А.	Професійна культура майбутнього економіста це системна багатофакторна і полі-функціональна якість особистості, що характе-ризується набором професійних знань, умінь, навичок, здатностей, які ґрунтуються на особистісних якостях і виявляються у загаль-ній культурі та свідчать про готовність до професійної діяльності в сфері економіки.
4.	Ісаєнко С.	Професійна культура - цілісне особистісне утворення, сутністю якого є діалектичний зв'язок усіх елементів культури індивіда, яке динамічно та нелінійно розвивається, специфічно проявляючись у сфері професійної діяльності і спілкування .
5.	Спіріна Т.	Професійна культура - це сукупність інтелектуальних, духовних, творчих здібностей, якостей і властивостей особистості та стилю діяльності, який передбачає усталений спосіб життя, сформовані на основі загальних і специфічних професійних знань загальну культуру, позитивний досвід, що дозволяють особистості ефективно та якісно вирішувати професійні завдання.
6.	Черньонков Я.	Професійна культура - багаторівневе утворення високого ступеня організованості.
7	Шведова Я.	Професійна культура особистості не обмежується професійними знаннями, уміннями, навичками, а ґрунтується на особистісних якостях, що виявляються у загальній культурі.
8	Щеголєва Т	Професійна культура - рівень оволодіння певною галуззю професійних знань, або відповідної діяльності.

Аналіз наукової літератури свідчить про відсутність єдиного погляду щодо сутності та структури культури, в цілому, і професійної культури, зокрема. Хоча в загальному розумінні культура

– це історично визначений рівень розвитку суспільства і людини, що виражається у типах і формах організації життєдіяльності людей і тих матеріальних та духовних цінностях, що ними створені [13]; соціальна пам'ять суспільства (спільноти), що зумовлює способи збереження соціальної інформації, консервує її та дозволяє відтворити еталони поведінки, що перевірені досвідом і відповідають потребам розвитку суспільства [20].

Водночас професійна культура – це цілісна, складноієрархічна система професійної структури особистості, що складається і функціонує у взаємодії двох форм: об'єктивної (мобікультурні об'єкти та реалії) та суб'єктивної (відбиток культури у свідомості). Професійна культура характеризує рівень та якість професійної підготовки.

Стан суспільства безумовно впливає на якість професійної культури. Для її підтримки необхідні відповідні учбові заклади, які надають кваліфіковану освіту, інститути та лабораторії, студії та майстерні і т. інше. Саме тому високий рівень професійної культури і є показником розвинутого суспільства, особливо в умовах цифрової економіки[21]..

Професійне становлення фахівців на сучасному етапі розвитку суспільства потрібно розглядати як індивідуальний розвиток особистості спеціаліста, у ході якого відбувається усвідомлення професійно значущих утворень.

Загальна культура містить сукупність професійних культур, пов'язаних з конкретною професійною діяльністю. Професійна культура – це, по-перше, сукупність способів і технологій певної професійної діяльності, що визнані суспільством еталоном для цієї діяльності, а з іншого – сукупність засвоєних, усвідомлених людиною способів цієї діяльності[16]..

Динамічний характер професійної культури відзначає Крупський. Він відмітив, що професійна культура формується у досить дорослому віці й на перших порах може сприйматися свідомо та навіть оцінюватися. Так, при отриманні другої вищої освіти або переході на інше місце роботи людина, як правило, може чітко визначити нові реалії, які можуть сприйматися як відступ від норм [11].

На рис. 1 наведено основні елементи професійної культури, що відображають особливості професійної діяльності менеджера з персоналу.



Рисунок 1 – Основні елементи професійної культури менеджера з персоналу
Figure 1 – The main elements of the professional culture of a personnel manager

Становлення професійної культури менеджерів, економістів в процесі їх професійної підготовки може включати формування:

- професійно-культурної освіченості (гнучкість мислення, застосування знань і умінь у практичній діяльності);

- професійної етики як прояву вищого рівня розвитку професійної культури;

- загальнокультурної (розуміння професійної діяльності як культуровідповідної та усвідомлення себе як носія культурних зразків) і функціональної (застосування знань і умінь при вирішенні професійних завдань з урахуванням норм професійної культури) грамотності.

Для того, щоб оволодіти певною професією й потім успішно реалізувати себе в ній, людина повинна мати конкурентні якості, що відповідають тим вимогам, які ставить ця професія до особистості[13].

За характером виконуваних функцій персонал транспортної галузі поділяється на категорії:

- керівники – це працівники, які організовують виробництво і здійснюють управління діяльністю підприємства та його структурних підрозділів (директори, начальники цехів, головні спеціалісти, начальники управлінь, відділів, майстри тощо), а також їх заступники.

- спеціалісти – працівники, зайняті спеціальними інженерно-технічними, економічними та іншими роботами, здійснюють економічну, організаційну підготовку виробництва, облік та аналіз його результатів (інженери, конструктори, економісти, менеджери, адміністратори, бухгалтери, нормувальники, юрисконсульти, технологи тощо).

- службовці – працівники, які здійснюють підготовку та оформлення документації, канцелярські, деякі адміністративно-господарські роботи (діловоди, агенти, секретарі-друкарки, обліковці, касири, архіваріуси, креслярі, стенографісти тощо).

- робітники – це працівники, які безпосередньо зайняті створенням продукту, а також ремонтом, переміщенням вантажів, перевозом пасажирів, наданням послуг або забезпечують умови для нормального ходу виробничого, процесу. Окрім того, до робітників відносяться прибиральниці, двірники, охоронці, гардеробники, кур’єри[14].

Персонал транспортної галузі повинен відповідати визначеним законодавством вимогам, зокрема: мати необхідний рівень професійної кваліфікації; забезпечувати якісне та безпечне надання послуг транспорту з перевезення пасажирів чи вантажів; ввічливо та уважно реагувати на звернення і скарги споживачів послуг автомобільного транспорту.

Працівники підприємств транспортної галузі здійснюють технічне, організаційне та економічне керівництво виробничим процесом, надають послуги з перевезення пасажирів, вантажів, водночас спілкуючись з колегами, споживачами послуг, з контрагентами тощо[17].

Професійне спілкування формується в умовах конкретної професійної діяльності, а тому певною мірою вбирає в себе її особливості і є важливою частиною цієї діяльності.

У професійній діяльності працівники намагаються досягти не лише загальних, а й особисто значущих цілей, завдяки знанням і вмінням, навичкам. Професійне спілкування є однією з універсальних реальностей буття людини, специфічним видом і необхідною умовою її діяльності.

У професійному спілкуванні спеціаліст стикається з безліччю непередбачених ситуацій, у яких по-новому треба розв’язувати завдання взаєморозуміння і взаємодії, вирішення яких не можна здійснити за відомим алгоритмом чи шаблоном, хоча знання загальних творчих підходів до розв’язання професійних завдань звичайно сприяють подоланню труднощів.

Професійна культура, професійне спілкування та інші фактори підвищують рівень продуктивності праці та залучають нових споживачів транспортних та сервісних послуг. В наш час працівник повинен володіти такими якостями, як стратегічне мислення, підприємливість, широка ерудиція, висока культура[12].

Сьогодні постає вимога безперервного розвитку персоналу, тобто проведення заходів, що сприяють повному розкриттю особистого потенціалу працівниківтранспортної галузі. Такі заходи можуть бути індивідуальними чи груповими, проводитися на робочому місці чи спеціалізовано, бути орієнтованими на розвиток загальних чи специфічних навичок і вмінь. Кадрова політика підприємств галузі з питань підготовки кадрів може формуватися на базі різного напряму - від орієнтації на сьогоденні інтереси, на підготовку вузькоспеціалізованих працівників, які можуть виконувати одну-дві конкретні операції, до орієнтації на довготривалі інтереси (підготовка працівників широкого профілю на основі серйозної теоретичної підготовки). Це залежить від об'єктивних і суб'єктивних факторів: вибору стратегії розвитку підприємств і операційного поділу праці, фінансового стану підприємств та світогляду його керівництва[7].

Для підвищення кваліфікації і перепідготовки спеціалістів створена мережа курсів, факультетів, бізнес-шкіл, шкіл менеджменту, маркетингу, підприємництва, семінарів, навчальних центрів тощо; на підприємствах проводяться спеціальні тренінги, рольові ігри, ротація керівників структурних підрозділів на певний період. Крім того, підготовку і підвищення кваліфікації службовців, спеціалістів та керівників здійснюють вищі навчальні заклади різних рівнів (коледжі, інститути, університети, академії), інститути післядипломної освіти, курси підвищення кваліфікації з відривом від виробництва та ін.

Система підготовки персоналу повинна враховувати як інтереси підприємств у швидкому заповненні вакантних місць, економію витрат, пов'язаних з підготовкою працівників, так і інтереси працівників - одержати повноцінну професійну підготовку. Тому система розвитку персоналу на підприємстві має бути гнучкою, здатною змінювати зміст, методи та організаційні форми згідно з потребами виробництва і ситуацією, яка складається на ринку праці. У зв'язку з цим управління персоналом повинно сконцентрувати свої зусилля на вирішення таких проблем: розробка стратегії з питань формування кваліфікованого персоналу; визначення потреб у навчанні працівників в розрізі спеціальностей та професій; вибір форм і методів професійного розвитку персоналу; вибір програмно-методичного та матеріально-технічного забезпечення процесу навчання як важливої умови його якості; фінансове забезпечення всіх видів навчання в потрібній кількості[3].

Освіта і навчання персоналу повинні бути безперервними і забезпечувати необхідний розвиток персоналу, який може бути загальним і професійним.

Професійний розвиток - це набуття працівником нових компетенцій, знань, умінь і навиків, які він використовує чи буде використовувати у своїй професійній діяльності. Це процес підготовки, перепідготовки й підвищення кваліфікації працівників з метою виконання нових виробничих функцій, завдань і обов'язків нових посад[19].

Професійний розвиток вимагає значних зусиль відносно кандидата, тому він неможливий без зацікавленості з його боку. Мотивами тут можуть бути бажання скоріше освоїти нову роботу, зберегти колишню чи одержати вищу посаду, забезпечити гарантію стабільності чи зростання доходів; набути знання; розширити контакти, стати більш незалежним від роботодавців і конкурентоспроможним на ринку праці.

На потребу в професійному розвитку працівників впливає динаміка зовнішнього середовища, поява нових зразків техніки і технології, зміна стратегії і структури підприємств, необхідність освоєння нових інноваційних видів діяльності[5].

Як власники/керівники спланують діяльність, організують її, змотивують працівників на досягнення показників роботи, проконтролюють ступінь їх досягнення (в кількості, якості і часі), залежатиме успіх в конкурентній боротьбі. Саме тому досить важливим є розвиток персоналу, який забезпечує актуалізацію вмінь, знань працівників, відповідність сучасним тенденціям.

Фактори необхідності розвитку персоналу представлені на рис. 2.



Рисунок 2 – Фактори необхідності розвитку персоналу в сучасних умовах
Рисунок 2 – Factors necessary for personnel development in modern conditions

В умовах активізації інноваційно-інтеграційних процесів у світі змінюються вимоги до організації та ефективності професійного розвитку персоналу. Задля забезпечення високопродуктивної роботи персоналу актуалізується доцільність застосування сучасних форм і методів професійного розвитку, компетентнісного підходу під час організації навчання, розвитку, в першу чергу, навичок і компетенцій, потрібних для ефективної професійної діяльності в умовах економіки нового типу [23].

Отже, активізація інноваційно-інтеграційних процесів у світі є причиною суттєвої трансформації якісних вимог до фахівців, методів, важелів та підходів до організації професійного розвитку персоналу. Сьогодні розвиток економіки ставить нові завдання щодо використання нових технологій управління персоналом в умовах розвитку цифрової економіки.

Проаналізувавши підходи до визначення понять «професійний розвиток персоналу», у наукових публікаціях останніх років (табл. 2), сформулюємо наступні узагальнюючі висновки. По-перше, «професійний розвиток працівників» є найголовнішою складовою «розвитку персоналу» в цілому, однак ці поняття не є тотожними, оскільки останнє з них є набагато більш ємним. По-друге, більшість дослідників розглядають професійний розвиток персоналу як «процес», рідше - як «комплекс заходів», «систему» чи «діяльність». По-третє, акцентується увага на ключових принципах професійного розвитку таких, як безперервність, цілеорієнтованість, адаптованість, синергійність тощо. По-четверте, обов'язковим критерієм успішного професійного розвитку є використання нових знань на практиці та отримання відповідного корисного результату на рівні індивіда, організації, суспільства, тобто його результативність[3].

Таблиця 2 - Підходи до визначення професійного розвитку персоналу
Table 2 - Approaches to determining the professional development of personnel

Автор	Визначення
Зленко А.М., Мірошніченко Д.А.	*Професійний розвиток* - це набуття працівником нових компетенцій, знань, умінь і навиків, які він використовує чи буде використовувати у своїй професійній діяльності. Це процес підготовки, перепідготовки й підвищення кваліфікації працівників з метою виконання нових виробничих функцій, завдань і обов'язків нових посад
Баніт 0.В.	*Професійний розвиток,* складниками якого є: виробнича адаптація, професійне навчання, що охоплює підготовку, перепідготовку й підвищення кваліфікації, оцінювання й атестацію, планування трудової кар'єри, професійно-кваліфікаційне просування, формування резерву керівників і особистісний розвиток, що супроводжує їх, може здійснюватися в певній послідовності, неперервності та взаємодії всіх елементів
Жиденко Н.	*Професійний розвиток* - системно-організований процес удосконалення існуючих, або набуття нових компетенцій, що приводять до покращення діяльності персоналу сьогодні або в майбутньому і забезпечують досягнення поставлених організацією цілей
Морозова М.Е.	*Професійний розвиток* - це безперервний комплексний процес, який включає професійне навчання (формування у працівників специфічних, професійних знань, навиків за допомогою спеціальних методів навчання), розвиток кар'єри та підвищення кваліфікації
Кириченко М.О.	*Професійний розвиток* - цілеспрямований, пролонгований і поетапний процес фахового становлення, саморозвитку компетентного фахівця, професіонала, особистості, яка характеризується неперервністю, системністю, динамізмом, циклічністю і синергізмом та передбачає інноваційний науково- методичний супровід з урахуванням освітніх потреб, мотивації і потреб
Гаврилюк І.В.	*Професійний розвиток особистості* відображає процес підготовки людини до конкретного виду трудової діяльності, охоплює оволодіння особистістю потрібними теоретичними знаннями, уміннями та практичними навичками, соціальними нормами поведінки, системою моральних цінностей і економічних якостей
Дзекун Ю.О.	*Професійний розвиток персоналу* - комплекс заходів, що включають професійне навчання, перепідготовку та підвищення кваліфікації, а також планування кар'єри персоналу організації. *Систему розвитку персоналу* слід розуміти як цілеспрямований комплекс інформаційних, освітніх, прив'язаних до конкретних робочих місць елементів, які сприяють підвищенню кваліфікації працівників даної організації відповідно до завдань її розвитку, потенціалу і схильностей співробітників
Бучинська Т.В.	*Розвиток персоналу* - це вдосконалення, а також оволодіння якісно новими професійними, діловими навичками та вміннями, професійними та особистісними компетенціями в результаті безперервного навчання та саморозвитку особистості. Розвиток базується на гармонійному поєднанні особистісних, інтелектуальних, моральних, емоційно-вольових, психофізіологічних якостей, успішне комбінування яких
Донцова А.Ю.	*Професійний розвиток персоналу* - це сукупність заходів, спрямованих на оновлення професійних знань, навичок, отримання нових знань, розвиток здібностей працівників до навчання та постійного підвищення кваліфікації для якісного виконання більш складних трудових завдань, підвищення ефективності діяльності підприємства, конкурентоспромож-ності продукції або послуг, що надаються споживачам.

Отже, розвиток персоналу - це планування та реалізація сукупності організаційно-управлінських методів, технологій та підходів, спрямованих на удосконалення кваліфікаційних hard та soft навичок та вмінь працівника, з ціллю підвищення продуктивності праці, розширення його функціональних можливостей, подальшого професійного та кар'єрного зростання.

Особлива роль у забезпеченні результативності та продуктивності професійного розвитку персоналу належить застосуванню форм і методів навчання, найбільш адекватних конкретним умовам трудової діяльності. Найбільш поширеною класифікацією є розподіл форм професійного навчання на такі, що відбуваються на робочому місці та поза робочим місцем. Разом з тим, в умовах активізації інноваційно-інтеграційних процесів у світі, стрімкого розвитку інформаційно-комунікативних технологій, зміни підходів до організації зайнятості та поширення її дистанційних форм відбувається трансформація самого поняття робочого місця у якості навчального простору[19]..

Планування професійного розвитку персоналу охоплює п'ять послідовних етапів: 1) інформаційний – збір та обробка необхідної інформації про діючий персонал та його розвиток у перспективі; 2) розробка плану професійного розвитку персоналу на підприємстві – аналіз наявного стану і перспектив професійного розвитку персоналу та розробка альтернативних варіантів планів професійного розвитку персоналу; 3) прийняття рішень – затвердження одного із варіантів плану як обов'язкового орієнтиру для організації проведення професійного навчання; 4) визначення необхідних витрат – проводяться розрахунки витрат на професійне навчання персоналу; 5) здійснення контролю за реалізацією плану професійного розвитку, контроль успішності та результативності навчання; коригування цілей професійного розвитку персоналу на основі зміни цілей організації [7]. Послідовність дій планування професійного розвитку персоналу представлено на рис. 3.

Навчання є одним із найбільш дієвих способів розвитку персоналу будь-якого підприємства. Саме воно здатне не тільки забезпечити продуктивну та результативну діяльність працівника, а й зробити його більш креативним, розвинути у нього нові погляди та бачення функціонування підприємства, сформувати відданість та лояльність до підприємства[23].

Але на сьогодні розвиток економіки ставить нові завдання щодо використання нових технологій управління персоналом в умовах розвитку цифрової економіки.

Традиційно науковці розподіляють методи навчання персоналу на дві групи: методи навчання на робочому місці та поза робочим місцем (табл. 3).

Методи навчання персоналу на робочому місці, без відриву від основних обов'язків працівника, характеризуються безпосередньою взаємодією із звичною діяльністю працівника, у звичайній для нього робочій ситуації. Таке навчання проводиться спеціально для конкретного підприємства, тільки для його працівників і може передбачати запрошення викладача ззовні.

До методів навчання на робочому місці відносять, такі[23].

Коучинг (наставництво) — метод консалтингу, в процесі якого людина-тренер (коуч), допомагає підопічному працівнику досягти професійної мети, передаючи йому свій досвід за допомогою нагляду і навчань.

Менторство (з англ. mentoring - наставництво) - вид наставництва, під час якого працівник що володіє великим досвідом та практичними навиками проводить постійну роботу з підлеглим (учнем). Ментор при цьому не просто ділиться досвідом та знаннями а надає моральну підтримку та мотивує працівника на вирішення поставлених завдань.

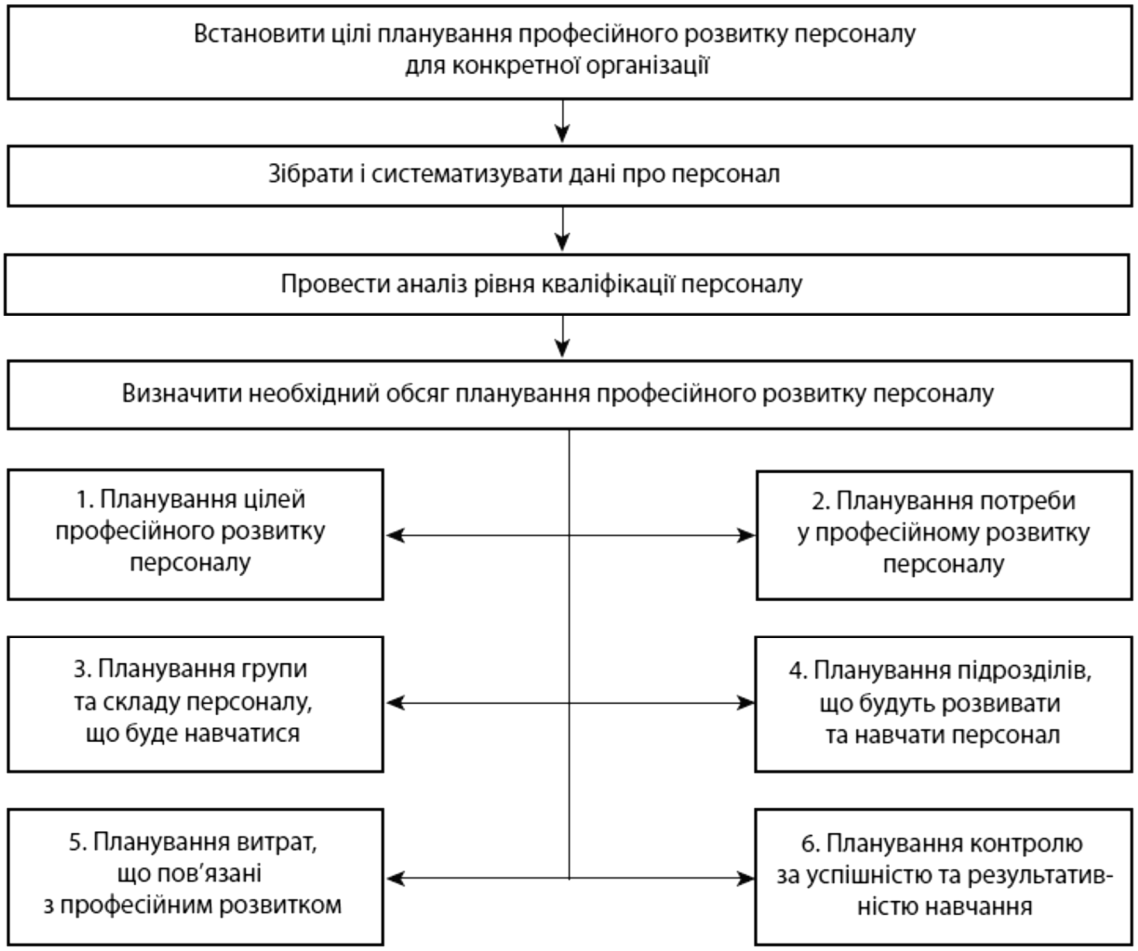


Рисунок 3 **–** Послідовність дій планування професійного розвитку персоналу
Figure 3 – The sequence of actions for planning the professional development of personnel

Таблиця 3-Сучасні методи навчання персоналу
Table 3-Modern methods of personnel training

Методи навчання на робочому місці:	***Методи навчання поза робочим місцем:***
- Buddying	- Тренінг
- Коучинг	- Майстер-клас
- Менторство (наставництво)	- Кейс-навчання
- Сторітеллінг (мотиваційна розповідь)	- Моделювання
- Екшн-навчання	- E-learning
- Баскет-мето (імітації ситуації)	- Ділові ігри
- Shadowing («стеження»)	- Відвідування конференцій, семінарів, ярмарок професій, лекцій, тощо
- Ротація	

Незважаючи на те, що на перший погляд коучинг та менторство є досить схожими методами, вони мають певні відмінност: коуч (тренер) може мати іншу кваліфікацію, ментор, зазвичай, має ту ж професію та працює в тій самій організації, що й його учень; коуч - це, в певній мірі, психолог, мотиватор, ментор - це учитель, який передає свої навики учню; менторство є довготривалим процесом, коучинг - це тимчасова програма, що не передбачає надання певних порад та рекомендацій.

Buddying - метод схожий до коучингу та менторства, його суть полягає у закріпленні за певним працівником buddy (партнера), основними задачами якого є виявлення у роботі працівника «вузьких місць», шляхом постійного зворотнього зв'язку про дії і рішення закріпленого за ним співробітника. На відміну від коучингу, учасники перебувають у рівноправних відносинах, а не відносинах керівника та підлеглого.

Сторітеллінг (мотиваційна розповідь) - метод навчання нових співробітників для ознайомлення з організаційною структурою, корпоративною культурою, локальними розпорядчими документами організації, тощо. Навчання починається з моменту прийняття на роботу, до повної адаптації працівника. Проводиться безпосереднім керівником (наставником) з метою надання новому працівникові інформації про організацію, її особливості, здійснення контролю в період випробувального терміну (стажування).

Екшн-навчання - метод, що базується на вирішенні реальних практичних проблем в процесі діяльності організації. Для цього в організації створюється спеціальна група, що по-чергово вирішує поставлені перед нею завдання. Тривалість такого навчання може складати період від кількох тижнів до року. За допомогою цього методу можна удосконалити компетенції зі стратегічного планування, навики прийняття обґрунтованих рішень та конкретних виробничих завдань.

Баскет-метод - метод, що полягає в імітації ситуацій «управлінської діяльності», працівник долучається до роботи керівника виконує його функції та вирішує гіпотетичні завдання. Зазвичай даний метод використовують, щоб упевнитися чи претендент на керівну посаду готовий до ролі керівника.

Shadowing («стеження») - метод, який полягає у наданні можливості працівникові, що є претендентом на просування кар'єрною драбиною, для перекваліфікації або ротації, не менше двох днів бути «тінню» співробітника, який займає аналогічну посаду. Завдяки цьому працівник-претендент «занурюється» в специфіку очікуваної посади, може визначити сутність і обсяг необхідних йому знань, навиків та компетенцій.

Ротація - метод, який полягає у переміщенні працівника з однієї посади на іншу, де він зможе опанувати нові кваліфікаційні навики, отримати додатковий досвід, більш детально вникнути у певні функціональні процеси. Тривалість ротації може тривати декілька днів або декілька місяців. Даний метод вважається ефективним для навчання керівників з метою отримання ними свіжого погляду на ситуацію, появи нових нестандартних ідей та набуття нового досвіду. Найбільшою популярністю у великих компаніях користується ротація керівника для управління іншою філією підприємства.

Secondment (своєрідне «відрядження») є різновидом ротації, що передбачає тимчасове переміщення працівника на інше місце роботи, в інший підрозділ організації з подальшим поверненням до виконання попередніх обов'язків.

Методи навчання поза робочим місцем здійснюють зовнішні навчальні структури за межами організації. До таких методів навчання відносять такі.

Тренінг - форма активного навчання, спрямована на оволодіння учасниками певними знаннями, технологіями, навиками та інформацією; під час навчання майбутні фахівці виконують тренінгові

вправи адаптовані до майбутньої професійної діяльності під керівництвом викладача-тренера на основі спеціально підготовлених інструктивно- методичних матеріалів, які відповідають сучасним вимогам до професійної діяльності.

Майстер-клас - форма активного навчання, яка передбачає розповідь та практичне застосування нової технології чи методу провідним спеціалістом в даній сфері. Метод дозволяє працівникові не тільки почути про нову технологію, а й побачити процес її реалізаціїйого в дії, усвідомити проблеми, які можуть виникнути у майбутньому під час самостійного виконання аналогічних завдань.

Кейс-навчання - полягає у вивченні практичних ситуацій, які виникають в діяльності інших підприємств, передбачає аналіз і групове обговорення гіпотетичних або реальних ситуацій. Такий метод дає можливість розвинути здібності до аналізу, діагностики та прийняття обґрунтованих рішень. Метод є ефективним для керівників різного рівня.

Моделювання - полягає у відтворенні реальних умов роботи (використання тренажерів, макетів та ін.). Моделювання ситуації через використання тренажерів є незамінним у випадку, коли навчання на робочому місці дуже дороге і небезпечне (електромобілі, літаки, інше).

E-learning - масовий метод дистанційного навчання. Під час даного методу інформація передається великій кількості працівників одночасно.

Ділові ігри - колективна гра, яка передбачає розгляд навчального прикладу, під час якого учасники гри отримують ролі і розглядають наслідки прийнятих рішень. Такий метод є досить ефективним, адже надає практичні навики, дозволяє працівникові зрозуміти наслідки від прийнятих рішень без завдання шкоди реальному підприємству.

Мозковий штурм - суть методу полягає у стимулюванні креативного мислення працівника. Для цього сворюють команду та ставлять завдання, яке потребує вирішення, члени даної команди по-чергово пропонують свої ідеї (під час висування ідей жодна з них не може піддаватися критиці).

Навчання, як умова розвитку персоналу, повинно бути одним із пріоритетних завдань підприємств транспортної галузі[17].

Для сприяння підприємствам транспортної галузі в організації професійного навчання працівників треба:

- відновити та активізувати систему професійної орієнтації молоді, що вчиться, об'єднавши зусилля влади різного рівня, навчальних закладів і роботодавців;
- максимально спростити умови ліцензування підприємств, що здійснюють професійне навчання працівників на робочих місцях;
- змінити підходи і вимоги до розробки учбових планів і програм для професійного навчання на виробництві (з урахуванням особливостей навчання дорослих);
- забезпечити підприємства навчальними посібниками, аудіо- і відео матеріалами тощо;
- розробити і розповсюдити ефективну і зручну методику оцінки ефективності навчання персоналу підприємств;
- розробити механізм стимулювання працівників до безперервного підвищення професійного рівня;
- запропонувати на законодавчому рівні відповідний дієвий механізм заохочення роботодавців (зменшення податків, надання пільгових кредитів і т. п.) [17]..

Водночас слід підкреслити, що розвиток персоналу вітчизняних підприємств транспортної галузі до вимог світових стандартів можливо забезпечити лише при поєднанні ефективного навчання

персоналу та дієвої і прозорої трудової мотивації, що об’єднає інтереси соціальних партнерів на ринку праці.

Таким чином, в контексті повномасштабної воєнної агресії рф проти України, сучасна система професійного розвитку персоналу на вітчизняних підприємствах транспортної галузі має бути гнучкою, здатною змінювати зміст, методи та організаційні форми згідно з потребами виробництва і ситуацією, яка складається на ринку праці. У зв'язку з цим управління розвитком персоналу повинно сконцентрувати свої зусилля на вирішення таких проблем, як розробка стратегії з питань формування кваліфікованого персоналу; визначення потреб у навчанні працівників з огляду на спеціальності та професії; вибір форм і методів професійного розвитку персоналу; вибір програмно-методичного та матеріально-технічного забезпечення процесу навчання як важливої умови його якості; фінансове забезпечення всіх видів навчання в потрібній кількості[19].

Для забезпечення стабільності розвитку держави необхідною передумовою стає розвиток професійного потенціалу, який переростає у людський капітал. Збереження та розвиток творчого потенціалу людини – головна мета інноваційної освіти, яка повинна бути пронизана загальнолюдськими цінностями. Для цього необхідно зробити так, щоб вона розвивала гармонійне мислення, яке базується на поєднанні внутрішньої свободи особистості та її соціальної відповідальності, а також толерантності. Саме ці характеристики особистості сьогодні включені до переліку основних цінностей світової цивілізації, задекларованих у документах ООН.

Визначені пріоритетні напрями та завдання країн-членів ЄС із досягнення цілей стратегії «Європа-2020» зумовлюють провідні тенденції та нові підходи до європейського менеджменту людських ресурсів. Розвиток людських ресурсів розглядається не тільки як економічна передумова, а й як спосіб вирішення проблеми зайнятості населення, де необхідна умова конкурентоспроможності сучасних підприємств – створення сильного Європейського ринку праці. Залежність збільшення темпів економічного росту від підвищення якості ринку праці змушує політиків звертати пильну увагу на систему безперервної професійної освіти і навчання, котра включає внутрішньофірмову підготовку і розвиток виробничого персоналу. Кожна країна-член ЄС розробила свою політику щодо навчання на виробництві, послуговуючись стратегічними європейськими орієнтирами та даними Євростату щодо безперервного професійного навчання на виробництві в країнах ЄС[19].

Висновки

Таким чином, професійна культура персоналу транспортної галузі обумовлена специфікою його професійної діяльності та визначає ступінь оволодіння і використання на практиці знань, способів та методів службової діяльності. Зміст професійної культури працівника персоналу транспорту полягає в опануванні кожним правником системою загальнокультурних і професійних цінностей, створених і сформованих різними поколіннями етнічних, національних і регіональних людських спільнот і власне носіями професії. У структурі професійної культури працівника транспортної галузі доцільно виділити такі складові: технічна, інженерна, психологічна, етична та комунікативна культура.

Актуальною залишається проблема розроблення й теоретичного обґрунтування методологічних засад підвищення рівня професійної культури працівників транспортнох галузі, що є перспективним напрямком нашого дослідження і потребує подальшого вивчення та впровадження в системі професійної підготовки креативних професіоналів транспорту.

Професійний розвиток персоналу – це вирішення основних завдань як в інтересах транспортної галузі (підвищення стійкості, конкурентоспроможності підприємства, ефективності та якості праці),

так і в інтересах персоналу (підвищення рівня життя, відкриття можливостей для реалізації своїх ділових якостей, здібностей).

Професійне навчання персоналу має безперервний характер і забезпечує роботодавців кваліфікованими та конкурентоспроможними на ринку праці працівниками. Професійне навчання персоналу націлене на підвищення компетентності працівників організації, формування в них високого професіоналізму, креативності, майстерності, гнучкого і сучасного економічного мислення, вміння працювати в динамічних економічних умовах та забезпечення високої продуктивності праці й ефективності діяльності підприємств транспортної галузі.

Перелік посилань

1.Вечірко Р. М. Українська та зарубіжна культура: навч.-метод. посіб. для самост. вивч. дисципліни / Р.М. Вечірко, О. М. Семашко, В. В. Олефіренко. - К.: КНЕУ, 2003. - 367 с.

2. Гончаренко С. Український педагогічний словник / Семен Гончаренко. - К.: Либідь, 1997. - 374 с.

3.Дудко С.В. Професійний розвиток персоналу: технології оцінювання та механізм мотивації. Вісник Хмельницького національного університету. 2017. №6. Т. 2(253). С. 57-65.

4.Енциклопедія освіти / Академія пед. наук України; головний ред. В.Г. Кремінь. Київ: Інтер, 2-8. 1040 с.

5.Жиленко А.Ю. Особливості управління розвитком персоналу на підприємстві / Жиленко А.Ю., Бикова А.Л. // Молодий вчений. – № 11(63). –2018. – С. 418-421.

6.Закон України «Про професійний розвиток працівників» / Довідник кадровика. – 2012. – № 3(117). – С. 48-52.

7.Зленко А.М. Професійний розвиток персоналу як передумова підвищення рівня продуктивності праці / А.М. Зленко, Д.А. Мірошніченко //Економічний вісник університету. – 2015. – Вип. № 24/1. – С. 34-38.

8.Ісаєнко С.А. Формування професійної культури у студентів інженерно-технічних спеціальностей засобами іноземної мови : дис. ... канд. пед. наук : спец. 13.00.04 “Теорія і методика професійної освіти”. Київ, 2009. 227 с.

9.Капська А.Й. Соціальна робота: деякі аспекти роботи з дітьми та молоддю: Навчально-методичний посібник. Київ: УДЦССМ, 2001. 2001 с

10.Корінний М.М., Шевченко В.Ф. Короткий енциклопедичний словник з культури. Київ : Україна, 2003. 384 с.

11.Крупський, О. П. Професійна культура майбутнього менеджера: психолого-педагогічні аспекти й чинники формування / О. П. Крупський, Є. В.Намлієв // Теорія і практика професійного становлення особистості в соціокультурному просторі : монографія / За ред. О. О. Лаврентьєвої, О. П. Крупського, Є. В. Намлієва. - Дніпропетровськ : Акцент ПП, 2014. - С. 257-281.

12.Марченко О.Г. Професійна культура фахівця як соціально-професійний феномен. Інноваційна педагогіка. Випуск 58. Том 1. 2023. С.161-165.

13.Миколаєнко Н. “Професійна культура”: аналіз наукових досліджень. Науковий вісник. Серія "Педагогіка. Соціальна робота”/ Ужгородський нац. ун-т. Ужгород : УНУ, 2014. Вип. 32. С. 120-123.

14.Овчар П.А. Економічний розвиток автотранспортної галузі України в умовах глобальних викликів: [моногр.] П. А. Овчар. К.: ЦП «Компринт», 2018. 374 с.

15.Партика І.В. Сучасні аспекти професійного розвитку персоналу організації / І.В. Партика,

Г.В. Ожубко // Науковий погляд: економіка та управління. – №2 (68). – 2020. – С. 154-158.

16.Пілевич О. А. "Культура", "Професійна культура" як базові категорії дослідження професійної культури майбутнього економіста / О. А. Пілевич // Професійна освіта: проблеми і перспективи. 2014. Вип. 7. - С. 41-46. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Profos_2014_7_11

17.Продіус О.І. Теоретично-методичні основи управління персоналом транспортного підприємства / О. І. Продіус. // Причорноморські економічні студії. – 2019. – №41. – С. 116–120.

18.Професійний розвиток персоналу підприємств у країнах Європейського Союзу: посібник / Л.П. Пуховська, А.О. Ворначев, С.О. Леу ; за наук. ред. Л.П. Пуховської. – Київ: ІПТО НАПНУ. 2015. – 176 с.

19.Професійний розвиток персоналу підприємств в системі мотиваційного менеджменту: колективна монографія / М.В. Семикіна, С.В. Дудко, А.А.Орлова та ін. Кропивницький: КОД, 2021. 440 с.

20.Спіріна Т. П. Формування професійної культури майбутніх соціальних педагогів у навчальному процесі вищого навчального закладу: автореф. дис. ...канд. пед. наук: 13.00.04 /; Житомир. держ. ун-т імені Івана Франка. - Житомир, 2009. - 19 с.

21. Сурмін Ю. П. Майстерня вченого: підручник для науковця / Ю. П. Сурмін. - К.: Консорціум з удосконалення менеджмент-освіти в Україні, 2006. - 302 с.

22.Улунова Г.Є. Професійна культура: сутність, фахові особливості, розвиток : колективна монографія / кол. авт. ; відп. ред. Г.Є. Улунової. Суми: Вид-во СумДПУ імені А.С. Макаренка, 2016. С. 8-21.

23.Харун О.А. Професійне навчання як засіб розвитку трудового потенціалу персоналу підприємств за умов євроінтеграції / О.А. Харун // Вісник Хмельницького національного університету. Економічна науки. – № 2. – 2019. – С. 73-79.

24.Черньонков Я. О. Формування професійної культури майбутнього вчителя іноземної мови: автореф. дис. .канд. пед. наук:04 / Черньонков Ярослав Олександрович; Кіровоград. держ. пед. ун-т імені В. Винниченка. - Кіровоград, 2006. - 22 с.

25. Шведова Я. В. Формування професійної культури майбутніх тележурналістів у фаховій підготовці: автореф. дис. .канд. пед. наук:04 / Харків. нац. ун-т ім. В.Н. Каразіна.- Харків, 2010. 24 с.

26. Щеголєва Т. Л. Формування професійної культури майбутніх офіцерів-прикордонників у процесі вивчення дисциплін гуманітарного циклу: автореф. дис. .канд. пед. наук: 13.00.04 / Нац. акад.держ. прикордон. служби України імені Богдана Хмельницького. - Хмельницький, 2007. - 19 с.

PROFESSIONAL CULTURE AND DEVELOPMENT OF TRANSPORT STAFF AS A LEADING INDUSTRY OF THE NATIONAL ECONOMY OF UKRAINE IN THE CONDITIONS OF EUROPEAN INTEGRATION

Anhelina Spitsyna, Ph.D., Associate Professor of the Department of Economics National Transport University, Kyiv, Ukraine, angel7a@ukr.net, tel. +380679053181, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovich-Pavlenko, 1, https:// orcid.org/ 0000-0001-9730-6249

Abstract. The article substantiates the necessity of forming the professional culture of the sports industry specialists as an integral component of their general culture. Various scientific approaches to determining the essence and structure of the phenomenon under study are presented. The formation of the

professional culture of the personality of transport specialists in the process of their educational and professional activity is one of the urgent problems of today. In the country, the problem of professional self-awareness, psychological and pedagogical conditions for its formation has emerged most acutely today precisely because of changes in social and economic conditions, innovations in the field of education, especially professional, as well as in connection with the need to change the attitude of the subject of work to his professional activity . The article reveals the role and substantiates the need for professional development and training of personnel, as well as an analysis of the main directions and forms of professional training and professional development of personnel. The external and internal factors of the organization that determine the need for professional development and training of personnel are determined. Formulated motives of the employee to develop professionally. The goals of professional training of the organization's personnel are differentiated. In modern conditions of globalization, where the speed, efficiency and cost of transportation of goods and services become crucial, the development of the transport industry becomes a key factor in increasing the global competitiveness of the state. For Ukraine, with its strategically advantageous geographical position, this becomes especially relevant. In the context of the Russian Federation's full-scale military aggression against Ukraine, the very functioning of transport enterprises has become one of the main factors that ensure a certain level of economic and social stability of the country.

Key words: personnel development, transport industry, development of professional culture, European integration, professional development, professional training

References

1.VechIrko R. M. UkraYinska ta zarubIzhna kultura: navch.-metod. posIb. dlya samost. vivch. distsiplIni / R.M. VechIrko, O. M. Semashko, V. V. OlefIrenko. - K.: KNEU, 2003. - 367 s.

2. Goncharenko S. UkraYinskiy pedagogIchniy slovnik / Semen Goncharenko. - K.: LibId, 1997. - 374 s.

3.Dudko S.V. ProfesIyniy rozvitok personalu: tehnologIYi otsInyuvannya ta mehanIzm motivatsIYi. VIsnik Hmelnitskogo natsIonalnogo unIversitetu. 2017. #6. T. 2(253). S. 57-65.

4.EntsiklopedIya osvIti / AkademIya ped. nauk UkraYini; golovniy red. V.G. KremIn. KiYiv: Inter, 2-8. 1040 s.

5.Zhilenko A.Yu. OsoblivostI upravlInnya rozvitkom personalu na pIdpriEmstvI / Zhilenko A.Yu., Bikova A.L. // Molodiy vcheniy. – # 11(63). –2018. – S. 418-421.

6.Zakon UkraYini «Pro profesIyniy rozvitok pratsIvnikIv» / DovIdnik kadrovika. – 2012. – # 3(117). – S. 48-52.

7.Zlenko A.M. ProfesIyniy rozvitok personalu yak peredumova pIdvischennya rIvnya produktivnostI pratsI / A.M. Zlenko, D.A. MIroshnIchenko //EkonomIchniy vIsnik unIversitetu. 2015. Vip. # 24/1. S. 34-38.

8.IsaEnko S.A. Formuvannya profesIynoYi kulturi u studentIv Inzhenerno-tehnIchnih spetsIalnostey zasobami InozemnoYi movi : dis. ... kand. ped. nauk : spets. 13.00.04 “TeorIya I metodika profesIynoYi osvIti”. KiYiv, 2009. 227 s.

9.Kapska A.Y. SotsIalna robota: deyakI aspekti ro¬boti z dItmi ta moloddyu: Navchalno-metodichniy posIb¬nik. KiYiv: UDTsSSM, 2001. 2001 s

10.KorInniy M.M., Shevchenko V.F. Korotkiy entsiklo¬pedichniy slovnik z kulturi. KiYiv : UkraYina, 2003. 384 s.

11.Krupskiy, O. P. ProfesIyna kultura maybutnogo menedzhera: psihologo-pedagogIchnI aspekti y chinniki formuvannya / O. P. Krupskiy, E. V.NamlIEv // TeorIya I praktika profesIynogo stanovlennya

osobistostI v sotsIokulturnomu prostorI : monografIya / Za red. O. O. LavrentEvoYi, O. P. Krupskogo, E. V. NamlIEva. - DnIpropetrovsk : Aktsent PP, 2014. - S. 257-¬281.

12.Marchenko O.G., PROFESIYNA KULЬTURA FAHIVTsYa YaK SOTsIALЬNO-PROFESIYNIY FENOMEN. INNOVATsIYNA PEDAGOGIKA.Vipusk 58. Tom 1. 2023. S.161-165.

13.MikolaEnko N. “ProfesIyna kultura”: analIz nau¬kovih doslIdzhen. Naukoviy vIsnik. SerIya "PedagogIka. SotsIalna robota”/ Uzhgorodskiy nats. un-t. Uzhgorod : UNU, 2014. Vip. 32. S. 120-123.

14.Ovchar P.A. EkonomIchniy rozvitok avtotransportnoYi galuzI UkraYini v umovah globalnih viklikIv: [monogr.] P. A. Ovchar. K.: TsP «Komprint», 2018. 374 s.

15.Partika I.V. SuchasnI aspekti profesIynogo rozvitku personalu organIzatsIYi / I.V. Partika, G.V. Ozhubko // Naukoviy poglyad: ekonomIka ta upravlInnya. – #2 (68). – 2020. – S. 154-158.

16.PIlevich O. A. "Kultura", "ProfesIyna kultura" yak bazovI kategorIYi doslIdzhennya profesIynoYi kulturi maybutnogo ekonomIsta / O. A. PIlevich // ProfesIyna osvIta: problemi I perspektivi. 2014. Vip. 7. - S. 41-46. - Rezhim dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Profos_2014_7_11

17.ProdIus O.I. Teoretichno-metodichnI osnovi upravlInnya personalom transportnogo pIdpriEmstva / O. I. ProdIus. // PrichornomorskI ekonomIchnI studIYi. – 2019. – #41. – S. 116–120.

18.ProfesIyniy rozvitok personalu pIdpriEmstv u kraYinah Evropeyskogo Soyuzu: posIbnik / L.P. Puhovska, A.O. Vornachev, S.O. Leu ; za nauk. red. L.P. PuhovskoYi. KiYiv: IPTO NAPNU. 2015. 176 s.

19.ProfesIyniy rozvitok personalu pIdpriEmstv v sistemI motivatsIynogo menedzhmentu: kolektivna monografIya / M.V. SemikIna, S.V. Dudko, A.A.Orlova ta In. Kropivnitskiy: KOD, 2021. 440 s.

20.SpIrIna T. P. Formuvannya profesIynoYi kulturi maybutnIh sotsIalnih pedagogIv u navchalnomu protsesI vischogo navchalnogo zakladu: avtoref. dis. ...kand. ped. nauk: 13.00.04 /; Zhitomir. derzh. un-t ImenI Ivana Franka. - Zhitomir, 2009. - 19 s.

21. SurmIn Yu. P. Maysternya vchenogo: pIdruchnik dlya naukovtsya / Yu. P. SurmIn. - K.: KonsortsIum z udoskonalennya menedzhment-osvIti v UkraYinI, 2006. - 302 s.

22.Ulunova G.E. ProfesIyna kultura: sutnIst, fa¬hovI osoblivostI, rozvitok : kolektivna monografIya / kol. avt. ; vIdp. red. G.E. UlunovoYi. Sumi: Vid-vo SumDPU ImenI A.S. Makarenka, 2016. S. 8-21.

23.Harun O.A. ProfesIyne navchannya yak zasIb rozvitku trudovogo potentsIalu personalu pIdpriEmstv za umov EvroIntegratsIYi / O.A. Harun // VIsnik Hmelnitskogo natsIonalnogo unIversitetu. EkonomIchna nauki. – # 2. – 2019. – S. 73-79.

24.Chernonkov Ya. O. Formuvannya profesIynoYi kulturi maybutnogo vchitelya InozemnoYi movi: avtoref. dis. .kand. ped. nauk:04 / Chernonkov Yaroslav Oleksandrovich; KIrovograd. derzh. ped. un-t ImenI V. Vinnichenka. - KIrovograd, 2006. - 22 s.

25. Shvedova Ya. V. Formuvannya profesIynoYi kulturi maybutnIh telezhurnalIstIv u fahovIy pIdgotovtsI: avtoref. dis. .kand. ped. nauk:04 / HarkIv. nats. un-t Im. V.N. KarazIna.- HarkIv, 2010. 24 s.

26. SchegolEva T. L. Formuvannya profesIynoYi kulturi maybutnIh ofItserIv-prikordonnikIv u protsesI vivchennya distsiplIn gumanItarnogo tsiklu: avtoref. dis. .kand. ped. nauk: 13.00.04 / Nats. akad.derzh. prikordon. sluzhbi UkraYini ImenI Bogdana Hmelnitskogo. - Hmelnitskiy, 2007. - 19 s.