

**ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО ВІДНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТКУ
ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
STATE AGENCY FOR RESTORATION AND INFRASTRUCTURE
DEVELOPMENT OF UKRAINE**

**ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ РОЗВИТКУ ІНФРАСТРУКТУРИ»
(ДП «НІРІ»)
STATE ENTERPRISE
«NATIONAL INSTITUTE FOR DEVELOPMENT INFRASTRUCTURE»
(SE «NIDI»)**



ДОРОГИ І МОСТИ

Збірник наукових праць
Заснований у 2003 р.

Випуск 31

ROADS AND BRIDGES

Collection of scientific papers
Established in 2003

Issue 31

КИЇВ
KYIV

2025

Дороги і мости : збірник наукових праць. Київ, 2025. Вип. 31. с. 354

У збірнику публікуються результати наукових досліджень із питань: впровадження новітніх дорожньобудівельних матеріалів і технологій; проєктування, будівництва та експлуатаційного утримання автомобільних доріг і транспортних споруд на них; організації та безпеки дорожнього руху; ціноутворення та економічної ефективності процесів будівництва та подальшого експлуатаційного утримання об'єктів дорожньотранспортної інфраструктури; захисту навколишнього середовища від шкідливого впливу об'єктів дорожньотранспортної інфраструктури тощо.

Для працівників проєктних і підрядних організацій, науково-дослідних інститутів, викладачів, аспірантів і студентів автомобільно-дорожніх учбових закладів.

Головний редактор: канд. екон. наук, доц. Безуглий А. О.

Заступник головного редактора: д-р техн. наук, проф. Славінська О. С.

Відповідальний редактор: канд. техн. наук, доц. Каськів В. І.

Відповідальний секретар: Гаєвська Н. М.

Члени редколегії: д-р техн. наук, проф. Батракова А. Г.; д-р техн. наук, проф. Бєлятинський А. О.; д-р екон. наук, проф. Бондар О. А.; д-р техн. наук, проф. Внукова Н. В.; д-р техн. наук, проф. Гамеляк І. П.; д-р екон. наук, доц. Іванченко В. О.; д-р техн. наук, проф. Клець Д. М.; д-р техн. наук, доц. Лазаренко С. В.; д-р техн. наук, доц. Меленчук Т. М.; д-р екон. наук, ст. наук. співр. Новікова А. М.; д-р техн. наук, проф. Онищенко А. М.; д-р техн. наук, проф. Прокудін Г. С.; д-р техн. наук, проф. Хрутьба В. О.; д-р екон. наук, доц. Шемаєв В. В.; канд. техн. наук, ст. наук. співр. Бабяк І. П.; канд. екон. наук Бібик Ю. М.; канд. техн. наук Головка С. К.; канд. техн. наук, проф. Гришук О. К.; канд. техн. наук Краюшкіна К. В.; канд. техн. наук, доц. Нагайчук В. М.; канд. екон. наук Печончик Т. І.; Ph.D. (Econ.) Стасюк Б. О.; канд. техн. наук Цинка А. О.; канд. техн. наук, доц. Шевчук Н. А.

Зарубіжні члени редколегії: Ph.D. (Eng.), Sen. Research. Бонін Гвідо (Італія); D.Sc. (Eng.), Prof. Гаспар Ласло (Угорщина); Ph.D. (Chem.), Associate Prof. Олівєро Росі Цезаре (Італія); д-р техн. наук, проф. Телтаєв Багдат Бурханбайули (Казахстан); D.Sc. (Eng.), Prof. Біліщук Ян (Польща); D.Sc. (Eng.), Prof. Кужава Мешко (Польща).

Редакційна рада: Безуглий А. О. (голова), Каськів В. І. (заступник голови), Гаєвська Н. М. (секретар), Нагайчук В. М., Славінська О. С.

Технічний редактор: Шевчук О. П.

Адреса редакційної колегії: 03113, м. Київ, просп. Берестейський, буд. 57, ДП «НІПІ», www.dorogimosti.org.ua

Збірник входить до Переліку наукових фахових видань України (Категорія «Б»), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії:

галузь науки — економічні, спеціальності: 051 Економіка, 073 Менеджмент (Наказ Міністерства освіти і науки України від 17.03.2020 № 409);

галузь науки — технічні, спеціальності: 183 Технології захисту навколишнього середовища, 192 Будівництво та цивільна інженерія, 193 Геодезія та землеустрій, 194 Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології, 263 Цивільна безпека (Наказ Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 № 886), 275 Транспортні технології (за видами) (Наказ Міністерства освіти і науки України від 17.03.2020 № 409).

Рекомендовано Науково-технічною радою ДП «НІПІ» (протокол від 15.05.2025 № 1).

Збірник наукових праць включено в міжнародні бази даних: CrossRef, Index Copernicus International, Ulrichsweb, Google Scholar, Directory of Open Access Journals (DOAJ), Directory of Open Access Scholarly Resources (ROAD).

The Collection publishes the results of scientific research on the following issues: introduction of innovative road construction materials and technologies; design, construction and operational maintenance of roads and transport facilities located on them; traffic safety and traffic management; pricing and economic efficiency of construction processes and further operational maintenance of road infrastructure facilities; protection of the environment from the harmful impact of road infrastructure objects, etc.

For the employees of design and contracting organizations, research institutes, teachers, graduate students and students of motor road-transport educational institutions.

Editor-in-Chief: *Ph.D. (Econ.), Associate Prof. Artem Bezuglyi.*

Deputy Editor-in-Chief: *D.Sc. (Eng.), Prof. Olena Slavinska.*

Executive Editor: *Ph.D. (Eng.), Associate Prof. Volodymyr Kaskiv.*

Executive Secretary: *Natalia Haievska.*

Editorial Board: *D.Sc. (Eng.), Prof. Anzhelika Batrakova; D.Sc. (Eng.), Prof. Adrii Bieliatynskyi; D.Sc. (Eng.), D.Sc. (Econ.), Prof. Olena Bondar; D.Sc. (Eng.), Prof. Nataliia Vnukova; D.Sc. (Eng.), Prof. Ihor Gameliak; D.Sc. (Econ.), Associate Prof. Vitalii Ivanchenko; D.Sc. (Eng.), Prof. Dmytro Klets; Associate Prof. Serhii Lazarenko; D.Sc. (Eng.), Associate Prof. Tetiana Melenchuk; D.Sc. (Eng.), Prof. Artur Onishchenko; D.Sc. (Eng.), Prof. Heorhii Prokudin; D.Sc. (Eng.), Prof. Viktoriia Khrutba; D.Sc. (Econ.), Associate Prof. Volodymyr Shemayev; D.Sc. (Econ.), Sen.Research. Alla Novikova; Ph.D. (Eng.), Sen.Research. Ihor Babyak; Ph.D. (Econ.) Yuliia Bibyk; Ph.D. (Eng.) Serhii Holovko; Ph.D. (Eng.), Prof. Oleksandr Gryshchuk; Ph.D. (Eng.) Kateryna Krayushkina; Ph.D. (Eng.), Associate Prof. Vasyl Nahaichuk; Ph.D. (Econ.) Taras Pechonchuk; Ph.D (Econ.) Bohdan Stasiuk; Ph.D. (Eng.) Anatolii Tsynka; Ph.D. (Eng.), Associate Prof. Nataliia Shevchuk.*

Foreign Members of the Editorial Board: *Ph.D. (Eng.), Associate Prof. Guido Bonin (Italy); D.Sc. (Eng.), Prof. Gaspar Laszlo (Hungary); Ph.D. (Chem.), Associate Prof. Cesare Oliviero Rossi (Italy); D.Sc. (Eng.), Prof. Bahdat Teltayev (Kazakhstan); D.Sc. (Eng.), Prof. Jan Biliszczuk (Poland); D.Sc. (Eng.), Prof. Mieszko Kuzawa (Poland).*

Editorial Council: *Artem Bezuglyi (Chairman), Volodymyr Kaskiv (Deputy Chairman), Natalia Haievska (Secretary), Vasyl Nahaichuk, Olena Slavinska.*

Technical editor: *Oksana Shevchuk.*

Address of Editorial board: 03113, Kyiv, Beresteiskyi Ave., 57, SE «NIDI», www.dorogimosti.org.ua

The collection is included in the List of scientific professional publications of Ukraine (Category «B»), in which the results of dissertations for the degree of Doctor of Sciences, Candidate of Sciences and Doctor of Philosophy can be published:

branch of science – economic, specialties: 051 Economics, 073 Management (Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine as of 17.03.2020 No. 409);

branch of science – technical, specialties: 183 Environmental Protection Technology, 192 Construction and Civil Engineering, 193 Geodesy and Land Management, 194 Hydraulic Construction, Water Engineering and Water Technology, 263 Civil Security (Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine as of 02.07.2020 No. 886), 275 Transport technology (by type) (Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine as of 17.03.2020 No. 409).

Recommended by the decision of the Scientific and Technical Council of SE NIDI (Minutes dated 05/15/2025 No.1).

The collection of scientific papers is included in the international database: CrossRef, Index Copernicus International, Ulrichsweb, Google Scholar, Directory of Open Access Journals (DOAJ), Directory of Open Access Scholarly Resources (ROAD).

Certificate number of the state registration of the collection Series KB No. 8005 of 10/20/2003

© State enterprise «National institute for development infrastructure» (SE «NIDI»), 2025

ЗМІСТ

ЕКОНОМІКА. МЕНЕДЖМЕНТ

Безуглий А. О., Стасюк Б. О., Печончик Т. І., Мудриченко Н. С., Загорняк О. В.

Удосконалення методології складання кошторису видатків
на утримання Сужби замовника та визначення розміру коштів на її утримання
під час виконання робіт з відновлення та розвитку інфраструктури..... 11

Воркут Т. А., Волинець Л. М.

Системні аспекти стратегічного управління організаціями логістичних провайдерів
у складному динамічному середовищі.....22

Богінська Л. О.

Еколого-економічні аспекти дорожнього будівництва.....33

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

Цинка А.О., Ілляш С. І., Зеленовський В. А., Райковський В. Ф.

Аналізування радіусів повороту *LHV* (триланкових автопоїздів типу *eurocombi*)
із загальною довжиною понад 25 м.....42

Diana Bardhi, Altin Seranaj, László Gáspár, Zsolt Bencze

Review of road pavement performance in various countries 51

Копинець І. В., Желтобрюх А. Д., Соколов О. В., Соколова О. Б., Юнак А. Л.

Лабораторне ущільнення крупнозернистих асфальтобетонних сумішей
з використанням гіраторного ущільнювача.....69

Зеленовський В. А., Райковський В. Ф., Рибальченко С. А., Гамеляк І. П.

Удосконалення підходів до розрахунку відстані між деформаційними швами
в дорожньому цементобетонному покритті.....89

Терещенко Т. А.

Вимоги до розташування арматури в деформаційних швах
бетонного покриття типу *JPCP* і сучасні підходи до контролювання якості робіт
з коригуванням оплати 100

Терещенко Т. А.

Порівняння *RCC* та *HBM* і загальні питання стандартизації
й впровадження цих матеріалів 108

Бєлоград А. Ю., Тихолаз Є. В., Приймаченко А. С.

Огляд вимог стандартів України щодо вибору типу цементу для забезпечення
довговічності залізобетонних конструкцій.....118

Каськів В. І., Скрипник А. Л., Ячник М. В.

Методичні підходи до обстеження виробництва в процесі сертифікації продукції
та атестування виробництва.....134

ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ

Вознюк А. Б., Дуля М. В.

Практичні аспекти перевіряння та аналізування наборів геопросторових даних про автомобільні дороги загального користування 149

Кельба С. С., Яценко О. Ф.

Формотворення і моделювання складних об'ємно-просторових рішень у сакральному будівництві під впливом сучасних конструктивних та будівельних технологій і методик їх розрахунку 163

ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

**Безуглий А. О., Каськів В. І., Панібратець Л. Г., Степанов С. М.,
Грінів В. С., Чайковська Л. І.**

Визначення пріоритетності обстеження та першочерговості ремонтів транспортних споруд за допомогою програмного комплексу «Аналітична експертна система управління мостами» 171

Каськів В. І., Бабяк І. П.

Застосування металевої арматури періодичного профілю в конструкціях транспортних споруд. Питання нормування 180

Овчаренко О. А., Фітаров В. С.

Аналіз методів проектування комбінованих пальово-плитних фундаментів та перспективи їх застосування у мостових конструкціях 189

Стоянович С. В., Полюга Р. І.

Дослідження динамічних характеристик залізобетонної монолітної попередньо напруженої прогонової будови мосту 197

Мінюкова А. Д., Сташук П. М.

Дослідження ефективності зовнішнього попередньо напруженого армування для підсилення мостових конструкцій 205

Онищенко А. М., Виноградов В. О.

Особливості експлуатації щебенево-мастикових деформаційних швів на мостах 215

Гаркуша М. В.

Дослідження спряження б'єфів дорожніх водопропускальних споруд з металевих гофрованих конструкцій 220

Абрамов В. М.

Аналітичні і скінчено-елементні розрахунки дорожніх споруд різних форм з гофрованого металу за деформаційним критерієм 234

Абрамов В. М.

Еквівалентне тимчасове навантаження для аркових мостових споруд з гофрованого металу 244

Остапчук В. Ю.

Досвід та проблематика обстеження історичних мостів 250

Коврига С. В., Фітаров В. С., Завгородній С. С.

Порівняльно-аналітичне дослідження робіт, пов'язаних з інвентаризацією та паспортизацією 257

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Нагребельна Л. П., Беленчук О. В., Кононенко А. О.

Формування культури дотримання правил дорожнього руху у суспільстві 267

Нагребельна Л. П., Кострульова Т. Є., Шпінь Д. М., Корчевська А. А.

Вимоги різних країн до дорожньої розмітки на вологому покритті.....275

Шапенко Є. М., Гальона І. І., Котова С. О., Семенченко О. В.,

Білоног О. В., Ярошевський В. В.

Оцінка зон впливу на ефективність транспортної логістики міста.....282

Овчар Д. О.

Ключові аспекти управління персоналом водіїв у підприємствах логістичних провайдерів

в умовах економічної нестабільності та кризових ситуацій.....292

Сістук В. О.

Можливості автоматизованого відеоаналізу дорожнього руху

для розрахунку опору у вузлах транспортної моделі за допомогою ICA.....305

Шемаєв В. В., Ананьєв М. Ю.

Стратегічні пріоритети розвитку європейської колії 1435 мм в Україні.....318

ТЕХНОЛОГІЯ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Білоног О. Є., Янішевський С. В., Костюченко О. В., Фартучний В. І.,

Черненко І. О., Янішевський Є. С.

Впровадження підходів сталого розвитку при управлінні процесами транспортного

обслуговування суб'єктів господарської діяльності 331

Харитонова Н. М., Яроцук О. С.

Дослідження властивостей протиожеледних матеріалів різними країнами світу

для ефективного застосування під час зимового утримання автомобільних доріг 345

CONTENTS

ECONOMY. MANAGEMENT

*Artem Bezugliy, Bohdan Stasiuk, Taras Pechonchyk,
Nataliia Mudrychenko, Oleg Zagornyak*

Improvement of the methodology for estimating the cost of maintaining the customer service and determining the amount of funds for its maintenance during the implementation of works on the restoration and development of infrastructure.....11

Tetyana Vorkut, Ludmila Volynets

Systematic aspects of strategic management of logistics provider organizations in a complex dynamic environment.....22

Lyudmila Boginska

Environmental and economic aspects of road construction 33

CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING

Anatolii Tsynka, Sergii Illiash, Volodymyr Zelenovskyi, Vitaliy Raykovskiy

Analysis of turning radii of lhv (three -link eurocombi trains) with a total length of more than 25 m 42

Diana Bardhi, Altin Seranaj, László Gáspár, Zsolt Bencze

Review of road pavement performance in various countries 51

*Ivan Kopynets, Anton Zheltobriukh, Oleksii Sokolov,
Oksana Sokolova, Alina Yunak*

Laboratory compaction of coarse-grained asphalt mixtures using a gyratory compactor 69

Volodymyr Zelenovsky, Vitaliy Raykovskiy, Sergii Rybalchenko, Ihor Gamelyak

Improvement of approaches to calculating the distance between expansion joints in road cement concrete pavement 89

Tatyana Tereshchenko

Requirements for position of reinforcement in deformation joints of concrete pavement of a JPCP type and contemporary approach to works quality control with payment adjustment 100

Tatyana Tereshchenko

Comparison of RCC and HBM and main standardization and implementation issues for these materials 108

Anastasiia Bielohrad, Tikhonaz E., Artem Pryymachenko

Review of Ukrainian standard requirements for selecting the type of cement to ensuring the durability of reinforced concrete structures 118

Volodymyr Kaskiv, Andrii Skrypnyk, Mariia Yachnyk

Methodological approaches to production inspection in the process of product certification and production authentication 134

GEODESY AND LAND MANAGEMENT

Andrii Vozniuk, Mykhailo Dulia

Practical aspects of validating and analyzing public roads geospatial datasets 149

Alexei Yaschenko, Serhii Kelba

Form generation and modelling of complex spatial solutions
in sacral construction under the influence of modern structural and building
technologies and calculation methodologies 163

HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION, WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGY

*Artem Bezugliy, Volodymyr Kaskiv, Liudmyla Panibratets, Sergii Stepanov,
Vladyslava Hriniv, Leonida Chaikovska*

Determination of priority inspection and repair
urgency of transport structures using the software complex
“Analytical expert system for bridge management” 171

Volodymyr Kaskiv, Ihor Babyak

Application of metal reinforcement of periodic profile in transport structures.
Standardization issues 180

Oleksii Ovcharenko, Vladyslav Fitarov

Analysis of design methods for combined pile d raft foundations and prospects
of their application in bridge structures 189

Sergii Stoianovych, Roman Poliuga

Research of the dynamic characteristics of a reinforced concrete monolithic
pre-stressed bridge span structure 197

Anna Miniukova, Pavlo Stashuk

Research on the effectiveness of externally pre-stressed reinforcement
for strengthening bridge structures 205

Artur Onyshchenko, Vladyslav Vynogradov

Peculiarities of operation of crushed stone-mastic expansion joints on bridges 215

Mykola Harkusha

Research of low water stream crossing structures made
of metal corrugated constructions 220

Volodymyr Abramov

Analytical and finite element calculations of road structures of different forms
from corrugated metal according to the deformation criterion 234

Volodymyr Abramov

Equivalent temporary load for arch bridge structures made of corrugated metal 244

Vitalii Ostapchuk

Experience and problems of inspection of historical bridges 250

Sergei Kovryga, Vladyslav Fitarov, Serhii Zavhorodnii

Comparative and analytical study of works related to inventory
and technical passporting 257

TRANSPORT TECHNOLOGY

Liudmyla Nagrebelna, Olga Belenchuk, Alla Kononenko

Formation of a road traffic compliance culture in society 267

Liudmila Nahrebelna, Tetiana Kostrulyova, Denis Shpin, Alina Korchevskaya

Use of regulatory documents regarding materials for horizontal road markings 275

*Yevheniia Shapenko, Inesa Halona, Svitlana Kotova,
Oksana Semenchenko, Oleksandr Bilonoh, Valeriy Yaroshevskyy*

Assessment of zones of influence on the efficiency of city transport logistics 282

Denys Ovchar

Key aspects of driver personnel management in logistics provider enterprises
under conditions of economic instability and crisis situations 292

Volodymyr Sistuk

The potential of automated video analysis of traffic for estimating impedance
in transportation model nodes with ICA 305

Volodymyr Shemayev, Mykola Ananiev

Strategic development priorities of the european gauge 1435 mm in Ukraine 318

ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES

*Oksana Bilonoh, Serhii Yanishevskiy, Oleksandra Kostiuchenko, Volodymyr Fartuchnyi,
Igor Chernenko, Yevgen Yanishevskiy*

Implementation of sustainable development approaches in the management
of transport service processes of economic entities 331

Nataliia Kharytonova, Lesya Yaroshchuk

Study of the properties of de-icing materials in different countries of the world
for effective use during winter maintenance of highways 345

УДК 338.5:625.08

Безуглий А. О.¹, канд. екон. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0003-3883-7968>Стасюк Б. О.¹, д-р філос. з екон., <https://orcid.org/0000-0003-2504-6577>Печончик Т. І.², канд. екон. наук, <https://orcid.org/0000-0003-3093-6822>Мудриченко Н. С.¹, <https://orcid.org/0000-0002-1916-8642>Загорняк О. В.², канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0003-3830-4520>¹Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна²Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ СКЛАДАННЯ
КОШТОРИСУ ВИДАТКІВ НА УТРИМАННЯ СЛУЖБИ ЗАМОВНИКА
ТА ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРУ КОШТІВ НА ЇЇ УТРИМАННЯ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ
РОБІТ З ВІДНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТКУ ІНФРАСТРУКТУРИ**

Анотація

Вступ. Будівництво (реконструкція), модернізація, оновлення та експлуатація об'єктів інфраструктури, спрямованих на задоволення основних потреб населення, мають стратегічний характер, оскільки охоплюють транспортний сектор, житлово-комунальне господарство, освіту, охорону здоров'я та інші сфери народного господарства. Від злагодженої роботи інженерно-транспортної інфраструктури залежить не тільки ефективність роботи промисловості, сільськогосподарського виробництва, а й забезпечення належного рівня життєвого розвитку людей та обороноздатності країни.

У період широкомасштабної військової агресії російської федерації проти України об'єкти інфраструктури стали однією з ключових сфер, які зазнали найбільших атак з боку агресора, відповідно ці об'єкти отримали найбільших руйнувань, як в абсолютному, так і у вартісному виразі.

У зв'язку із реорганізацією структури Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України, яке реалізує державну політику у сфері відновлення і розвитку інфраструктури країни, саме на його регіональні підрозділи, якими є Служби відновлення та розвитку інфраструктури в областях (далі – Служба замовника), як одержувачі або розпорядники бюджетних коштів нижчого рівня було покладено функції з технічного нагляду, організації та проведення закупівель робіт / послуг, підготовки необхідної проєктної документації, контролю за виконанням робіт і здачі готового об'єкта в експлуатацію під час виконання робіт з нового будівництва, реконструкції, ремонтів та експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування, будівництва (нового будівництва, реконструкції, реставрації, капітального ремонту), ремонту, модернізації інфраструктури, об'єктів житлової нерухомості, громадського призначення, виробничого комплексу, соціальної сфери, сфери житлово-комунального господарства, благоустрою населених пунктів, управління побутовими відходами, інженерно-транспортної, енергетичної інфраструктури, захисних споруд цивільного захисту, інших об'єктів, що мають вплив на життєдіяльність населення, військових об'єктів та майна, у сферах авіаційного, залізничного (крім утримання), морського та внутрішнього водного транспорту, автомобільного транспорту загального користування, міського електричного транспорту, у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель, а також щодо об'єктів і споруд оборонного та спеціального призначення, заходів із захисту об'єктів критичної інфраструктури паливно-енергетичного сектору критичної інфраструктури, розвитку, будівництва, ремонту, облаштування, модернізації та утримання пунктів пропуску через державний кордон для автомобільного та залізничного сполучення та інших робіт, що відносяться до компетенції Служби замовника. Ураховуючи зазначене, удосконалення організаційної структури Служби замовника з урахуванням нових функцій і завдань, формування чітких та прозорих правил формування кошторису на утримання служби замовника та визначення процедури узгодження кошторису з органом управління є ключовим завданням для отримання універсального механізму розрахунку, який забезпечить ефективне і прозоре використання бюджетних коштів.

Проблематика. У зв'язку оптимізацією системи центральних органів виконавчої влади відповідно до постанови Кабінету Міністрів України [1] і розширення функцій та обов'язків Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України виникла потреба у перегляді Методичних вказівок [2]. Існує нагальна потреба в оптимізації та визначенні обґрунтованого розміру коштів на утримання Служби замовника, яка зумовлена також запровадженням нових національних стандартів із ціноутворення в будівництві, що встановлюють порядок визначення вартості робіт в будівництві [4, 5]; оптимізацією системи центральних органів виконавчої влади, а саме змін, які відбулися в структурі Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України та його регіональних підрозділів, а також надання їм нових функцій; запровадженням Концепції реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування.

Метою дослідження є удосконалення методології, яка визначає порядок формування кошторису видатків на утримання Служби замовника, оптимізація загальної структури Служби замовника та формалізація процесу адміністрування витрат на її утримання, забезпечення єдиного підходу до визначення та планування фінансових ресурсів, необхідних для ефективного функціонування Служби замовника в умовах реалізації інфраструктурних проєктів, забезпечення прозорості та ефективності використання фінансових ресурсів під час виконання робіт з відновлення та розвитку інфраструктурних об'єктів.

Матеріали та методи. Під час проведення дослідження виконано аналізування нормативно-правових актів і нормативних документів, які регламентують функціонування Служби замовника, а також нових правил з ціноутворення [4, 5]. Методологія складання кошторису видатків на утримання Служби замовника та визначення розміру коштів на її утримання під час виконання робіт з відновлення та розвитку інфраструктури перш за все ґрунтується на перегляді постанови Кабінету Міністрів України [1] та обґрунтуванні пропозицій щодо оптимізації структури Служби, як замовника робіт з відновлення та розвитку інфраструктури відповідно до вимог нормативно-правових актів, нормативних документів та з урахуванням обсягів робіт з відновлення та розвитку інфраструктури на мінімально допустимому рівні (у тому числі з урахуванням вимог законодавства про публічні закупівлі, залучення незалежного технічного нагляду, інженера-консультанта тощо).

Результати. У результаті дослідження було синтезовано удосконалену методологію складання кошторису видатків на утримання Служби замовника, яка дозволить об'єктивно і достовірно визначати розмір коштів на утримання Служби замовника під час виконання робіт з відновлення та розвитку інфраструктури з урахуванням нового функціоналу Служби замовника та змін в нормативному забезпеченні ціноутворення в будівництві. На основі удосконаленої методології були розроблені Методичні вказівки, які застосовуватимуться для складання кошторису видатків Служби замовника під час виконання робіт з нового будівництва, реконструкції, ремонтів та експлуатаційного утримання автомобільних доріг відповідно до національного стандарту [3], а також виконання інших робіт та/або послуг, які є предметом діяльності Служби замовника.

Висновки. На практиці Методичні вказівки [9] застосовуватимуть під час обґрунтування розміру коштів на утримання Служби замовника, що включають до глави 10 «Утримання служби замовника та інжинірингові послуги» зведеного кошторисного розрахунку вартості робіт з нового будівництва, реконструкції, ремонтів та експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування, а також вартості робіт з нового будівництва, реконструкції, реставрації, капітального ремонту та модернізації об'єктів інфраструктури. Розроблені методичні вказівки [9] розширять нормативну базу документів з відновлення і розвитку інфраструктури та використовуватимуться під час підготовки проєктів та аналізу кошторисів видатків на утримання Служби замовника.

Ключові слова: визначення розміру коштів, відновлення та розвиток інфраструктури, калькулювання, кошторис видатків, об'єкт, розрахунок витрат, Служба замовника, утримання.

Вступ

Відповідно до типового Положення про Службу замовника, метою її діяльності є: забезпечення розвитку та функціонування автомобільних доріг загального користування державного значення; здійснення в межах визначених повноважень заходів з будівництва (нового будівництва, реконструкції, реставрації, капітального ремонту), ремонту та модернізації об'єктів інфраструктури тощо.

Розмір коштів на утримання Служби замовника може визначатися відповідно до положень методичних вказівок зі складання кошторису видатків на утримання Служби замовника та визначення розміру коштів на її утримання під час виконання робіт з відновлення та розвитку інфраструктури у разі, якщо такий порядок передбачено відповідним положенням про Службу замовника та погоджено головним розпорядником бюджетних коштів, що спрямовуються на фінансове забезпечення будівництва, реконструкції, ремонту і утримання автомобільних доріг загального користування місцевого значення. У цій статті здійснено аналіз змін до Методичних вказівок [2], за допомогою яких положення нормативного документа було приведено у відповідність до вимог нормативно-правових актів, нормативних документів та обсягів робіт з відновлення та розвитку інфраструктури з урахуванням сучасних вимог (у тому числі з урахуванням вимог законодавства про публічні закупівлі).

Основна частина

У зв'язку з оптимізацією системи центральних органів виконавчої влади відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 13.01.2023 № 29, перейменуванням Державного агентства автомобільних доріг України на Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України, запровадженням Концепції реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування та нових стандартів у системі ціноутворення, що встановлюють порядок визначення вартості робіт в будівництві [4, 5] виникла потреба у перегляді МВ 42.1-37641918-774:2019 «Методичні вказівки зі складання кошторису видатків на утримання служби замовника та визначення розміру коштів на її утримання при виконанні робіт з експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування». А тому підходи до складання кошторису видатків на утримання Служби замовника та визначенні розміру коштів на її утримання необхідно змінити.

Так, відповідно до нових повноважень, одним із основних завдань Служби замовника є: підготовка та організація виконання державних програм з питань забезпечення надійного і безпечного руху транспортних засобів автомобільними дорогами загального користування, а також реалізація завдань та функцій з відновлення та будівництва об'єктів інфраструктури.

Згідно з діючим Типовим Положенням про Службу замовника, Служба утримується у межах кошторису видатків, затвердженого Державним агентством відновлення та розвитку інфраструктури в Україні, за рахунок:

1) коштів, передбачених у зведеному кошторисному розрахунку (далі — ЗКР) вартості будівництва та ремонту автомобільних доріг, виходячи з розміру лімітів на утримання Служби замовника. Зведені кошторисні розрахунки складаються згідно з нових правил з ціноутворення [4] та [5];

2) коштів, передбачених у ЗКР вартості експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування згідно з розрахунками за Методикою визначення обсягів фінансування будівництва, поточного ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

Розмір коштів на утримання Служби замовника, які включаються до глави 10 «Утримання Служби замовника» ЗКР, визначається на підставі затвердженого органом управління кошторису видатків для відповідної Служби замовника на рік (плановий період). Кошторис видатків Служби замовника складається, виходячи з:

- з принципів економії і раціонального використання коштів;
- штатного розпису Служби замовника, затвердженого в установленому порядку, який складається з інженерно-технічних працівників, що безпосередньо здійснюють технічний нагляд за роботами з нового будівництва, реконструкції, ремонтів та експлуатаційного утримання та працівників, діяльність яких пов'язана з організацією і забезпеченням функціонування Служби замовника (адміністративний, технічний та інший допоміжний персонал);
- обґрунтованого розрахунку витрат за статтями видатків, передбачених цими методичними вказівками, які включаються до кошторису видатків на утримання Служби замовника.

Чисельність працівників Служби замовника приймається згідно затвердженого в установленому порядку штатного розпису. Структурну схему підрозділів Служби замовника та їх підпорядкування профільним заступникам начальника (орієнтовний взаємозв'язок між якими наведено на (рис. 1) підготовлено з урахуванням основних функціональних напрямів діяльності вищезазначених Служб, визначених діючими положеннями про служби відновлення та розвитку інфраструктури в областях та постановою Кабінету Міністрів України [6], а саме:

- функції балансоутримувача автомобільних доріг та інших об'єктів інфраструктури;
- функції замовника робіт;
- функції одержувача бюджетних коштів.

Ураховуючи класифікацію видатків, відповідно до наказу Мінфіну [7], на утримання Служби замовника можуть бути передбачені видатки за наступними розділами:

1. Оплата праці:

- заробітна плата за тарифними ставками та посадовими окладами;
- надбавки, премії, компенсації та інші грошові виплати;
- винагороди за трудовими договорами (не для суб'єктів господарювання).

2. Нарахування на оплату праці:

- соціальні внески, страхування, податки відповідно до законодавства.

3. Предмети, матеріали, обладнання та інвентар:

- витрати на придбання необхідного обладнання;
- витрати на канцелярське приладдя, техніку для офісів.

4. Оплата послуг (крім комунальних):

- навчання персоналу;
- підтримка інформаційно-аналітичних систем;
- витрати на консалтингові послуги.

5. Видатки на відрядження:

- внутрішні та закордонні поїздки (погоджені відповідно до постанови Кабінету Міністрів України [8]).

6. Оплата комунальних послуг та енергоносіїв:

- витрати на утримання приміщень, електроенергію, воду, опалення.

7. Інші поточні видатки:

- витрати, пов'язані з організаційною діяльністю (пошта, зв'язок).

8. Капітальні видатки:

- модернізація інфраструктури Служби замовника;
- закупівля техніки чи транспорту (вартістю понад 200 тис. грн).

Сьогодні, відповідно до правил ціноутворення [4] при визначенні вартості робіт з нового будівництва, реконструкції, ремонтів та експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування до глави 10 «Утримання Служби замовника та інжинірингові послуги» ЗКР окремими рядками вносяться кошти на:

1) утримання Служби замовника в розмірі, який не може перевищувати 1,5 % від підсумку глав 1 – 9 ЗКР;

2) здійснення технічного нагляду в розмірі, який складає 1,5 % від підсумку глав 1 – 9 ЗКР;

3) надання послуг інженера-консультанта за договором про надання інженерно-консультаційних послуг у розмірі, залежно від етапу, на якому він залучений, що не може перевищувати 3 % від підсумку глав 1 – 9.

Відповідно до правил ціноутворення [4] під час надання дорожніх послуг з експлуатаційного утримання кошти, що вносяться до глави 10 «Утримання Служби замовника та інжинірингові послуги» ЗКР, визначаються на підставі обґрунтованого розрахунку та можуть перевищувати показники, що наведені вище.

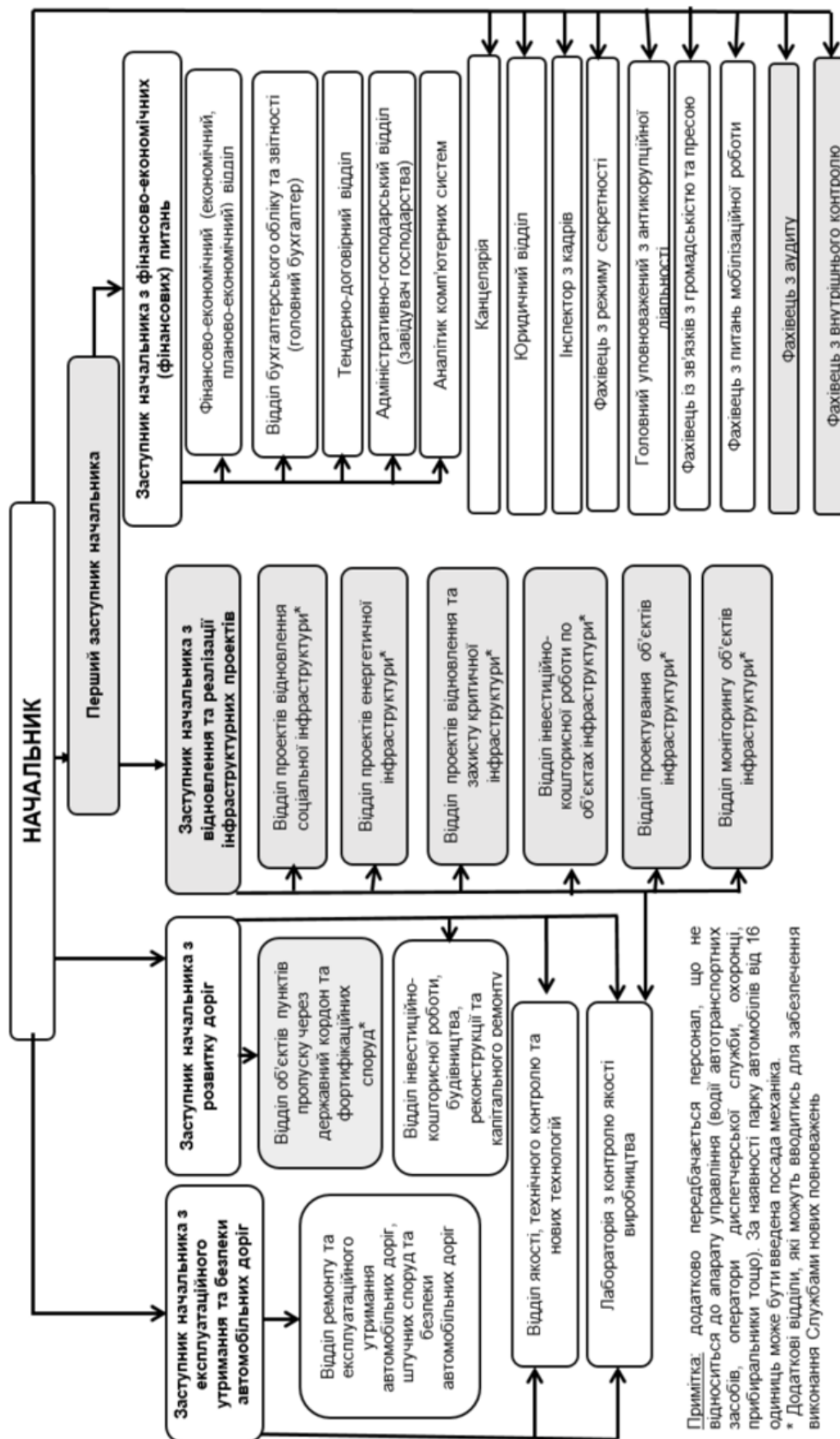
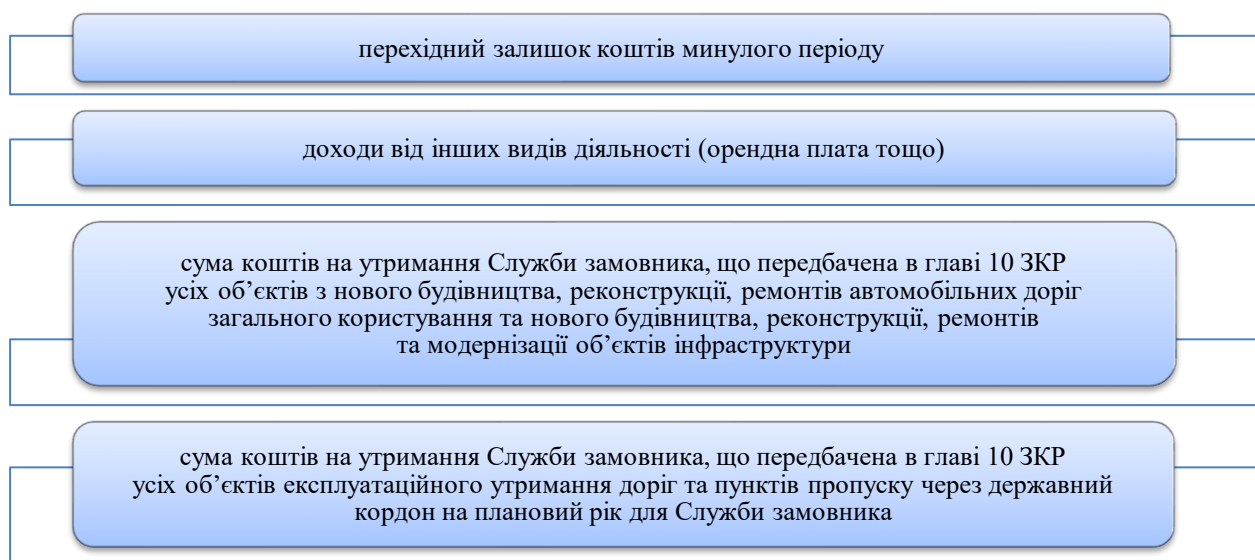


Рисунок 1 — Орієнтовна структурна схема підрозділів Служби замовника

Щодо робіт з нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту будинків, будівель і споруд будь-якого призначення, їх комплексів та частин, лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури (крім автомобільних доріг загального користування), а також реставрації пам'яток архітектури та містобудування, визначення вартості яких регулюється положеннями Кошторисних норм України [5], до глави 10 «Утримання Служби замовника та інжинірингові послуги» ЗКР окремими рядками включаються кошти на:

- 1) утримання Служби замовника в розмірі 1 % від підсумку глав 1 – 9 ЗКР;
- 2) здійснення технічного нагляду в розмірі 1,5 % від підсумку глав 1 – 9 ЗКР;
- 3) надання послуг інженера-консультанта за договором про надання інженерно-консультаційних послуг, залежно від етапу, на якому він залучений, в розмірі 3 % від підсумку глав 1 – 9 ЗКР.

Джерелами, з яких здійснюється фінансування витрат, передбачених кошторисом видатків, на утримання Служби замовника є:



Визначення розміру коштів на утримання Служби замовника, що включається до кошторису видатків на утримання Служби замовника на плановий рік, здійснюють за формулою:

$$V_{\text{КОШТ}} = \sum P_i, \quad (1)$$

де $V_{\text{КОШТ}}$ — сума розділів загального затвердженого кошторису видатків на плановий рік для Служби замовника, грн;

P_i — розрахунковий обсяг коштів за i -им розділом видатків, що наведений вище, грн.

Окрім видатків за розділами, наведеними вище, Служба замовника на своїх рахунках може сформувати резервний (нерозподілений) обсяг коштів ($V_{\text{РЕЗ}}$), який не включається до кошторису видатків на утримання Служби замовника на плановий рік, але необхідний для формування перехідного залишку коштів на початок наступного періоду. Резервний (нерозподілений) обсяг коштів ($V_{\text{РЕЗ}}$) не може перевищувати 25 % від розміру загального затвердженого кошторису видатків на плановий (n) рік для Служби замовника ($V_{\text{КОШТ}}$):

$$V_{\text{РЕЗ}} \leq V_{\text{КОШТ}} \times 0,25, \quad (2)$$

де $V_{\text{РЕЗ}}$ — резервний обсяг коштів, який не включається до суми кошторису видатків на утримання Служби замовника на плановий рік, проте необхідний для формування перехідного залишку коштів на початок наступного періоду, грн;

$V_{\text{КОШТ}}$ — розмір коштів, що включений до загального затвердженого кошторису видатків на плановий рік для Служби замовника, грн.

Для фінансування витрат, передбачених кошторисом видатків на утримання Служби замовника, необхідно використовувати кошти з наступних джерел та у наступній пріоритетній послідовності:

- перехідний залишок коштів минулого періоду;
- доходи, отримані від інших видів діяльності (орендна плата тощо);
- сума коштів на утримання Служби замовника, що передбачена в главі 10 ЗКР усіх об'єктів з нового будівництва, реконструкції, ремонтів автомобільних доріг загального користування та нового будівництва, реконструкції, ремонтів та модернізації об'єктів інфраструктури на плановий рік для Служби замовника;
- сума коштів на утримання Служби замовника, що передбачена в главі 10 ЗКР усіх об'єктів експлуатаційного утримання доріг та пунктів пропуску через державний кордон на плановий рік для Служби замовника.

Для розрахунку видатків необхідно використовувати три рівні обґрунтувань:

- а) перший рівень — загальний плановий кошторис видатків на утримання Служби замовника за розділами видатків та джерелами фінансування;
- б) другий рівень — статті видатків за кожним розділом;
- в) третій рівень — деталізація і розшифрування кожної статті.

Крім того, доцільно надавати окремі пояснення до деталізованих розрахунків третього рівня.

Отже, підсумовуючи всі зміни, які були зроблено шляхом перегляду Методичних вказівок [2] ключовими аспектами впровадження [7] є:

1. **Інтеграція в існуючу систему управління.** Методичні вказівки розроблені для того, щоб гармонійно вписатися в існуючі процедури бюджетного планування та виконання інфраструктурних проєктів. Особливу увагу приділено відповідності вимогам діючого законодавства України.

2. **Прозорість і підзвітність.** Методичні вказівки встановлюють чіткі процедури розрахунків, оформлення та звітності щодо використання коштів. Це забезпечує прозорість витрат та сприяє уникненню конфліктів між замовниками та державними органами.

3. **Покращення управління.** Використання чітко визначених критеріїв для розрахунку витрат забезпечує можливість більш точного планування фінансових ресурсів.

4. **Ефективність використання бюджетних коштів.** Оптимізація витрат сприяє економії ресурсів та підвищенню ефективності їх використання.

5. **Зменшення ризиків.** Прозорі механізми розрахунку дозволяють знизити ризик фінансових порушень.

Впровадження цих Методичних вказівок, розроблених на базі удосконаленої методології, стане важливим кроком на шляху до підвищення прозорості та ефективності управління в секторі відновлення, а також подальшого розвитку інфраструктури, який є критично важливим для економічного розвитку країни.

Висновки

Удосконалена методологія зі складання кошторису видатків на утримання Служби замовника та визначення розміру коштів на її утримання під час виконання робіт з відновлення та розвитку інфраструктури для учасників проєктів з відновлення інфраструктури є важливим інструментом для забезпечення прозорості та ефективності фінансових операцій у сфері відновлення інфраструктури. Їх впровадження сприятиме підвищенню якості управління проєктами та зміцненню довіри між усіма учасниками інвестиційного процесу.

Практична користь від використання удосконаленої методології, на базі якої сформовано нові методичні вказівки, полягає в можливості уникнути перевитрат, забезпечити контроль за використанням бюджетних коштів та підвищити ефективність управління фінансовими ресурсами. Це особливо важливо для проєктів, що фінансуються державним бюджетом або за кошти міжнародних організацій.

Список літератури

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 13.01.2023 № 29 «Деякі питання оптимізації системи центральних органів виконавчої влади» // База даних законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/29-2023-п#Text> (дата звернення 01.04.2025).

2. МВ 42.1-37641918-774:2019 Методичні вказівки зі складання кошторису видатків на утримання служби замовника та визначення розміру коштів на її утримання при виконанні робіт з експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування, Київ, 2019. 40 с. (Інформація та документація).

3. ДСТУ 8747:2017 Автомобільні дороги. Види та переліки робіт з ремонтів та експлуатаційного утримання, прийнято та надано чинності наказом Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») від 20 грудня 2017 року № 434 з 2020–01–01, Київ, 2017. 11 с. (Інформація та документація).

4. Методика визначення вартості дорожніх робіт та послуг щодо визначення вартості нового будівництва, реконструкції, ремонтів та експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування, Київ, 2022. 95 с. (Інформація та документація).

5. Кошторисні норми України «Настанова з визначення вартості будівництва», Київ, 2021. 138 с. (Інформація та документація).

6. Постанова Кабінету Міністрів від 10.09.2014 № 439 «Про затвердження Положення про Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України», редакція від 08.03.2023 № 439-2014-п // База даних законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/439-2014-p#Text> (дата звернення 01.04.2025).

7. Наказ Міністерства фінансів України від 12.03.2012 № 333 «Про затвердження Інструкції щодо застосування економічної класифікації видатків бюджету та Інструкції щодо застосування класифікації кредитування бюджету» // зареєстровано в Міністерстві юстиції України 27 березня 2012 року за № 56/20769 // База даних законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0456-12#Text> (дата звернення 01.04.2025).

8. Постанова КМУ від 02.02.2011 № 98 «Про суми та склад витрат на відрядження державних службовців, а також інших осіб, що направляються у відрядження підприємствами, установами та організаціями, які повністю або частково утримуються (фінансуються) за рахунок бюджетних коштів», редакція від 28.06.2024 № 98-2011-п // База даних законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/98-2011-p#Text> (дата звернення 01.04.2025).

9. МВ 42.1-37641918-794:2024 Методичні вказівки зі складання кошторису видатків на утримання служби замовника та визначення розміру коштів на її утримання під час виконання робіт з відновлення та розвитку інфраструктури для учасників проєктів з відновлення інфраструктури, Київ, 2024. 64 с. (Інформація та документація) (дата звернення 01.04.2025).

10. Безуглий А. О., Бібик Ю. М., Гресько І. Л. Концептуальні засади визначення вартості проєктних робіт на дорожні роботи та послуги в контексті міжнародного досвіду. *Дороги і мости*. Київ, 2024. Вип. 30. С. 25–39 DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.025>.

11. Безуглий А. О., Стасюк Б. О., Ілляш С. І., Печончик Т. І., Мудриченко Н. С., Комар В. Ю. Концептуальні засади пріоритетизації фінансового забезпечення заходів з дорожніх робіт та послуг. *Дороги і мости*. Київ, 2024. Вип. 29. С. 13–24. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.29.013>.

12. Безуглий А. О., Бібик Ю. М., Гресько І. Л., Бойко М. О. Особливості нової системи ціноутворення в дорожній галузі та шляхи її удосконалення. *Дороги і мости*. Київ, 2023. Вип. 28. С. 8–18. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.008>.

13. Безуглий А. О., Бібик Ю. М., Гресько І. Л., Бельська О. Л., Концева В. В. Фінансова спроможність дорожніх підприємств — як один із критеріїв для участі у процедурі закупівлі. *Дороги і мости*. Київ, 2021. Вип. 24. С. 8–19. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.24.008>.

14. Безуглий А. О., Бельська О. Л., Бібик Ю. М., Ракович І. В. Нормативне забезпечення запровадження довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг для забезпечення їх експлуатаційного стану. *Дороги і мости*. Київ, 2020. Вип. 22. С. 8–19. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.22.008>.

References

1. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 13.01.2023 No. 29 “Deiaki pytannia optymizatsii systemy tsentralnykh orhaniv vykonavchoi vlady” (Some issues of optimization of the system of central executive authorities) // Baza danykh zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/29-2023-p#Text> (data zvernennia 01.04.2025) [in Ukrainian].

2. MV 42.1-37641918-774:2019 Metodychni vказivky zi skladannia koshtorysu vydatkiv na utrymannia sluzhby zamovnyka ta vyznachennia rozmiru koshtiv na yii utrymannia pry vykonanni robiv z ekspluatatsiinoho utrymannia avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia (Methodological Guidelines for Preparing Cost Estimates for the Maintenance of the Customer's Service and Determining the Amount of Funds for its Maintenance in the Performance of Works on the Operational Maintenance of Public Roads), Kyiv, 2019. 40 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
3. DSTU 8747:2017 Avtomobilni dorohy. Vydy ta pereliky robiv z remontiv ta ekspluatatsiinoho utrymannia (Highways. Types and lists of repair and maintenance works), pryiniato ta nadano chynnosti nakazom Derzhavnoho pidpriemstva "Ukrainskyi naukovo-doslidnyi i navchalnyi tsentr problem standartyzatsii, sertyfikatsii ta yakosti" (DP "UkrNDNTs") vid 20 hrudnia 2017 roku No. 434 z 2020-01-01, Kyiv, 2017. 11 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
4. Metodyka vyznachennia vartosti dorozhnykh robiv ta posluh shchodo vyznachennia vartosti novoho budivnytstva, rekonstruktsii, remontiv ta ekspluatatsiinoho utrymannia avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia (Methodology for determining the cost of road works and services to determine the cost of new construction, reconstruction, repair and maintenance of public roads), Kyiv, 2022. 95 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
5. Koshtorysni normy Ukrainy "Nastanova z vyznachennia vartosti budivnytstva" (Estimated norms of Ukraine "Guidelines for determining the cost of construction), Kyiv, 2021. 138 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
6. Postanova Kabinetu Ministriv vid 10.09.2014 No.439 "Pro zatverdzhennia Polozhennia pro Derzhavne ahentstvo vidnovlennia ta rozvytku infrastruktury Ukrainy" (Regulations on the State Agency for the Restoration and Development of Infrastructure of Ukraine), redaktsiia vid 08.03.2023 No. 439-2014-p // Baza danykh zakonodavstva Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/439-2014-p#Text> (data zvernennia 01.04.2025) [in Ukrainian].
7. Nakaz Ministerstva finansiv Ukrainy vid 12.03.2012 № 333 "Pro zatverdzhennia Instruksii shchodo zastosuvannia ekonomichnoi klasyfikatsii vydatkiv biudzhetu ta Instruksii shchodo zastosuvannia klasyfikatsii kredytuvannia biudzhetu" (On Approval of the Instruction on the Application of the Economic Classification of Budget Expenditures and the Instruction on the Application of the Classification of Budget Lending) // zareiestrovano v Ministerstvi yustytzii Ukrainy 27 bereznia 2012 roku za No. 56/20769 // Baza danykh zakonodavstva Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0456-12#Text> (data zvernennia 01.04.2025) [in Ukrainian].
8. Postanova KMU vid 02.02.2011 No. 98 "Pro sumy ta sklad vytrat na vidriadzhennia derzhavnykh sluzhbovtiv, a takozh inshykh osib, shcho napravlaiutsia u vidriadzhennia pidpriemstvamy, ustanovamy ta orhanizatsiiamy, yaki povnistiu abo chastkovo utrymuiutsia (finansuiutsia) za rakhunok biudzhetnykh koshtiv" (On the Amounts and Composition of Travel Expenses for Civil Servants and Other Persons Sent on Business Trips by Enterprises, Institutions and Organizations that are Fully or Partially Maintained (Financed) at the Expense of Budgetary Funds), redaktsiia vid 28.06.2024 № 98-2011-p // Baza danykh zakonodavstva Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/98-2011-p#Text> (data zvernennia 01.04.2025) [in Ukrainian].
9. MV 42.1-37641918-794:2024 Metodychni vказivky zi skladannia koshtorysu vydatkiv na utrymannia sluzhby zamovnyka ta vyznachennia rozmiru koshtiv na yii utrymannia pid chas vykonannia robiv z vidnovlennia ta rozvytku infrastruktury dlia uchasykiv proektiv z vidnovlennia infrastruktury (Methodological Guidelines for Estimating the Costs of Maintaining the Customer's Service and Determining the Amount of Funds for its Maintenance During the Performance of Infrastructure Restoration and Development Works for Participants of Infrastructure Restoration Projects), Kyiv, 2024. 64 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) (data zvernennia 01.04.2025) [in Ukrainian].
10. Bezuhlyi A. O., Bibyk Yu. M., Hresko I. L. Kontseptualni zasady vyznachennia vartosti proiektnykh robiv na dorozhni roboty ta posluhy v konteksti mizhnarodnoho dosvidu (Conceptual framework for determining the cost of design works for road works and services in the context of international experience. *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2024. Vyp. 30. P. 25–39. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.025> [in Ukrainian].

11. Bezuhlyi A. O., Stasiuk B. O., Illiash S. I., Pechonchik T. I., Mudrychenko N. S., Komar V. Iu. Kontseptualni zasady priorytezhatsii finansovoho zabezpechennia zakhodiv z dorozhnikh robot ta posluh (Conceptual principles of prioritization of financial support for road works and services). *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2024. Vyp. 29. P. 13–24. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.29.013> [in Ukrainian].

12. Bezuhlyi A. O., Bibyk Yu. M., Hresko I. L., Boiko M. O. Osoblyvosti novoi systemy tsinoutvorennia v dorozhnii haluzi ta shliakhy yii udoskonalennia (Features of the new pricing system in the road sector and ways to improve it.). *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2023. Vyp. 28. P. 8–18. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.008> [in Ukrainian].

13. Bezuhlyi A. O., Bibyk Yu. M., Hresko I. L., Belska O. L., Kontseva V. V. Finansova spromozhnist dorozhnikh pidpriemstv — yak odyin iz kryteriiv dlia uchasti u protseduri zakupivli (Financial capacity of road enterprises as one of the criteria for participation in the procurement procedure.). *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2021. Vyp. 24. P. 8–19. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.24.008> [in Ukrainian].

14. Bezuhlyi A. O., Belska O. L., Bibyk Yu. M., Rakovych I. V. Normatyvne zabezpechennia zaprovadzhennia dovhostrokovykh kontraktiv na ekspluatatsiine utrymannia avtomobilnykh dorih dlia zabezpechennia yikh ekspluatatsiinoho stanu (Financial capacity of road enterprises as one of the criteria for participation in the procurement procedure.). *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2020. Vyp. 22. P. 8–19. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.22.008> [in Ukrainian].

Artem Bezugliy¹, Ph.D., Assoc. Prof., <https://orcid.org/0000-0003-3883-7968>

Bohdan Stasiuk¹, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0003-2504-6577>

Taras Pechonchik², Ph.D., <https://orcid.org/0000-0003-3093-6822>

Nataliia Mudrychenko¹, <https://orcid.org/0000-0002-1916-8642>

Oleg Zagornyak², Ph.D., Assoc. Prof., <https://orcid.org/0000-0003-3830-4520>

¹State Enterprise “National Institute for Development Infrastructure” (SE “NIDI”), Kyiv, Ukraine

²National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

IMPROVEMENT OF THE METHODOLOGY FOR ESTIMATING THE COST OF MAINTAINING THE CUSTOMER SERVICE AND DETERMINING THE AMOUNT OF FUNDS FOR ITS MAINTENANCE DURING THE IMPLEMENTATION OF WORKS ON THE RESTORATION AND DEVELOPMENT OF INFRASTRUCTURE

Abstract

Introduction. The construction (reconstruction), modernization, renewal and operation of infrastructure facilities aimed at meeting the basic needs of the population are of a strategic nature, as they cover the transport sector, housing and communal services, education, healthcare and other areas of the national economy. Not only the efficiency of industry and agricultural production, but also the proper level of people's life development and the country's defense capability depend on the coordinated operation of the engineering and transport infrastructure.

During the large-scale military aggression of the Russian Federation against Ukraine, infrastructure facilities became one of the key areas that were subjected to the largest attacks by the aggressor, and accordingly, these facilities suffered the greatest destruction, both in absolute and value terms.

In connection with the reorganization of the structure of the State Agency for the Restoration and Development of Infrastructure of Ukraine, which implements the state policy in the field of restoration and development of the country's infrastructure, its regional divisions, which are the Services for Restoration and Development of Infrastructure in the regions (hereinafter referred to as the Customer Service), as recipients or managers of lower-level budget funds, were entrusted with the functions of technical supervision, organization and conduct of procurement of works/services, preparation of the necessary project documentation, control over the implementation of the maritime and inland water transport, public road transport, urban electric transport, in the field of energy efficiency of buildings, as well as defense and special-purpose facilities and structures, measures to protect critical infrastructure facilities of the fuel and energy sector of critical infrastructure, development, construction, repair, arrangement, modernization and

maintenance of border crossing points for road and rail transport and other works that are in In view of the above, improving the organizational structure of the Customer Service with regard to new functions and tasks, establishing clear and transparent rules for the formation of estimates for the maintenance of the Customer Service and determining the procedure for approving estimates with the management body is a key task to obtain a universal calculation mechanism that will ensure efficient and transparent use of budget funds.

Objective. Due to the optimization of the system of central executive authorities in accordance with the resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine [1] and the expansion of the functions and responsibilities of the State Agency for the Restoration and Development of Infrastructure of Ukraine, there is a need to revise the Methodological Guidelines [2]. There is an urgent need to optimize and determine the reasonable amount of funds for the Customer Service, which is also due to the introduction of new national standards for pricing in construction, which establish the procedure for determining the cost of construction works [4, 5]; optimization of the system of central executive authorities, namely, the changes that have taken place in the structure of the State Agency for the Restoration and Development of Infrastructure of Ukraine and its regional divisions, as well as the provision of new functions to them; introduction of the Concept of Reforming the system of state management of public roads.

The purpose of the study is to improve the methodology that determines the procedure for forming the estimate of expenditures for the maintenance of the Customer Service, optimize the overall structure of the Customer Service and formalize the process of administering the costs of its maintenance, ensure a unified approach to identifying and planning the financial resources necessary for the effective functioning of the Customer Service in the context of infrastructure projects, ensure transparency and efficiency of the use of financial resources during the implementation of works on restoration and development of infrastructure.

Materials and methods. The study analyzed the legal acts and regulations governing the functioning of the Customer Service for infrastructure restoration and development, as well as the new pricing rules [4, 5]. The methodology for estimating the costs of maintaining the Customer Service and determining the amount of funds for its maintenance during the performance of infrastructure restoration and development works is primarily based on the revision of the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine [1] and the substantiation of proposals for optimizing the structure of the Service as a customer of infrastructure restoration and development works in accordance with the requirements of legal acts, regulatory documents and taking into account the volume of infrastructure restoration and development works at the minimum allowable level.

Results. As a result of the study, an improved methodology for estimating the costs of maintaining the Customer Service was synthesized, which will allow to objectively and reliably determine the amount of funds for the maintenance of the Customer Service during the performance of infrastructure restoration and development works, taking into account the new functionality of the Customer Service and changes in the regulatory support for pricing in construction. Based on the improved methodology, the following Guidelines have been developed to be used for preparing estimates.

Conclusions. In practice, the Guidelines [9] will be used to justify the amount of funds for the maintenance of the Customer Service, which are included in Chapter 10 “Maintenance of the Customer Service and Engineering Services” of the consolidated estimate of the cost of new construction, reconstruction, repair and operational maintenance of public roads, as well as the cost of new construction, reconstruction, restoration, overhaul and modernization of infrastructure facilities. The developed methodological guidelines [9] will expand the regulatory framework of documents on infrastructure restoration and development and will be used in the preparation of projects and analysis of cost estimates for the maintenance of the Customer Service.

Keywords: Customer Service, infrastructure restoration and development, cost estimates, costing, cost calculation, determining the amount of funds, facility maintenance.

УДК 656.13:658

Воркут Т. А., *д-р техн. наук, проф.*, <https://orcid.org/0000-0003-0354-476X>Волинець Л. М., *канд. екон. наук, проф.*, <https://orcid.org/0000-0002-5064-2349>*Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна*

СИСТЕМНІ АСПЕКТИ СТРАТЕГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОРГАНІЗАЦІЯМИ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОВАЙДЕРІВ У СКЛАДНОМУ ДИНАМІЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Анотація

Вступ. На сьогоднішній день умови взаємодії між стадіями формування (формулювання) і реалізації організаційної стратегії розглядаються в багатьох наукових роботах у галузі управління як науковій дисципліні. При цьому дані роботи носять як загальнометодологічний, із точки зору стратегічного управління, характер, як, наприклад, робота [1], так і зосереджуються на окремих аспектах функціонального, зокрема, логістичного, стратегічного управління, наприклад, робота [2].

У контексті вищезазначеного, можемо нагадати роботу [1], в якій, у межах систематизації наукових шкіл стратегічного управління, виокремлюються прескриптивні і дескриптивні наукові школи. Однією із відмінних рис прескриптивних шкіл — школи дизайну, школи планування і школи позиціонування — є те, що їх прибічники вважають, що результативна і ефективна організаційна стратегія передбачає відокремлення (розділення) мислення і дії. Тобто, процесів формулювання, в термінології прескриптивних шкіл, і реалізації організаційної стратегії. Стосовно дескриптивних шкіл — школи підприємництва, когнітивної школи, школи навчання, школи влади, школи зовнішнього середовища, школи культури, то маємо зазначити, що їх прибічники дотримуються відмінної думки. Вони вважають, що результативна і ефективна організаційна стратегія передбачає об'єднання мислення і дії. Тобто, процесів формування, в термінології дескриптивних шкіл, і реалізації організаційної стратегії.

Проблематика. Наукова прогалина ідентифікується в частині браку комплексних, таких, що ґрунтуються на методологічних підходах стратегічного управління і інформаційних технологій, методах і моделях стратегічного управління організацією логістичного провайдера, яка, (організація) діючи в складному динамічному середовищі, реалізує підходи дескриптивних наукових шкіл стратегічного управління.

Мета. Метою дослідження є формулювання концептуальних засад стратегічного управління, насамперед, у частині моніторингу і контролю, організацією логістичного провайдера, яка, діючи в складному динамічному середовищі, використовує підходи дескриптивних наукових шкіл стратегічного управління.

Матеріали та методи. При проведенні аналізу наукових робіт, у яких розглядається проблематика формування концепцію стратегічного управління організацією логістичного провайдера, яка, діючи в складному динамічному середовищі, використано метод наукової ідентифікації; при розробленні комплексної моделі, яка, використовуючи теорію стратегічного управління і теорію штучного інтелекту, надає математичний опис процесу оцінювання стану функціонування організації логістичного провайдера, який розглядається як підпроцес в рамках процесу моніторингу і контролю відповідної стадії стратегічного управління використано підхід теорії штучного інтелекту, а саме окремої складової даної теорії, яка представлена нечіткими когнітивними моделями.

Результати. Розроблено концептуальні засади стратегічного управління, насамперед, у частині моніторингу і контролю, організацією логістичного провайдера, яка, діючи в складному динамічному середовищі, використовує підходи дескриптивних наукових шкіл стратегічного управління.

Висновки. Сформовано концепцію стратегічного управління організацією логістичного провайдера, яка, діючи в складному динамічному середовищі, використовує підходи дескриптивних наукових шкіл стратегічного управління.

Запропоновано комплексну модель, яка, використовуючи теорію стратегічного управління і теорію штучного інтелекту, надає математичний опис процесу оцінювання стану функціонування організації логістичного провайдера, який розглядається як підпроцес в рамках процесу моніторингу і контролю організаційної стратегії відповідної стадії стратегічного управління. Дана модель дозволить підвищити результативність і ефективність стратегічного управління в організації логістичного провайдера за рахунок підвищення оперативності набуття даних для прийняття стратегічних рішень в умовах накладання стадій формування і реалізації організаційних стратегій, що вирізняє дескриптивні наукові школи стратегічного управління.

Ключові слова: динамічне середовище, збалансована система показників, ключовий показник результатів діяльності, організація логістичних провайдерів, стратегічне управління.

Вступ

На сьогоднішній день умови взаємодії між стадіями формування (формулювання) і реалізації організаційної стратегії розглядаються в багатьох наукових роботах у галузі управління як науковій дисципліні. При цьому дані роботи носять як загальнометодологічний, із точки зору стратегічного управління, характер, як, наприклад, робота [1], так і зосереджуються на окремих аспектах функціонального, зокрема, логістичного, стратегічного управління, наприклад, робота [2].

Так, у контексті вищезазначеного, можемо нагадати роботу [1], в якій, у межах систематизації наукових шкіл стратегічного управління, виокремлюються прескриптивні і дескриптивні наукові школи. Однією із відмінних рис прескриптивних шкіл — школи дизайну, школи планування і школи позиціонування — є те, що їх прибічники вважають, що результативна і ефективна організаційна стратегія передбачає відокремлення (розділення) мислення і дії. Тобто, процесів формулювання, в термінології прескриптивних шкіл, і реалізації організаційної стратегії. Стосовно дескриптивних шкіл — школи підприємництва, когнітивної школи, школи навчання, школи влади, школи зовнішнього середовища, школи культури, то маємо зазначити, що їх прибічники дотримуються відмінної думки. Вони вважають, що результативна і ефективна організаційна стратегія передбачає об'єднання мислення і дії. Тобто, процесів формування, в термінології дескриптивних шкіл, і реалізації організаційної стратегії.

Водночас, незалежно від прийнятих припущень щодо умов взаємодії між стадіями формування (формулювання) і реалізації організації стратегії, проблема реалізації стратегії, сама по собі, зберігає теоретичну і практичну значущість. Насамперед, у частині виявлення факторів і побудови систем відповідних їм показників для коректного оцінювання ступеня досягнення організацією стратегічних цілей і відстеження внеску її окремих структур у досягнення даних цілей. В умовах слідування підходам дескриптивних шкіл, що актуально для організацій, які діють у складному динамічному середовищі, важливою умовою також виступає оперативність набуття інформації для формування нової і/або корегування існуючої стратегії.

На думку авторів концепції збалансованої системи показників (ЗСП) Р. Каплана і Д. Нортон, у викладенні роботи [3], на заваді успішній реалізації стратегії стоять чотири бар'єри — бар'єр бачення (лише 5 % працівників розуміють стратегію), бар'єр людського чинника (лише 25 % управляючих мають стимули, пов'язані зі стратегією), бар'єр управління (лише 15 % організацій на обговорення стратегії витрачають більше однієї години на місяць) і бар'єр ресурсів (лише у 40 % організацій простежується зв'язок між бюджетами — поточними та капітальними — і стратегіями).

На початку ЗСП розроблялась як система оцінювання (система показників для оцінювання), яка мала б сприяти перекладу стратегічних планів організації в сукупність взаємопов'язаних фінансових і нефінансових показників, які використовуються для поширення інформації про

стратегію, формування єдиної направленості в роботі, обґрунтування управлінських рішень, визначення пріоритетів при розподілі ресурсів. Сучасне розуміння ЗСП передбачає, що вона має використовуватися за механізм реалізації стратегії через визначення цілей, показників для їх вимірювання, цільових (нормованих) значень цих показників, а також заходів (зокрема, в формі проєктів), які спрямовуються на подолання відмінностей між поточними і цільовими значеннями вищезазначених показників.

Відповідно до методології ЗСП система цілей організації визначається на наступних рівнях: корпоративні (загальноорганізаційні) цілі; цілі стратегічних бізнес-одиниць; цілі окремих структурних підрозділів і працівників. Розроблення ЗСП для кожного наступного, відносно нижчого, рівня носить назву каскадування. ЗСП відносно нижчого рівня узгоджується із відповідною системою відносно вищого рівня організації на основі визначення стратегічних цілей і показників, які відділи, регіональні представництва, окремі робочі групи тощо будуть використовувати для відстеження їх внеску в досягнення загальних цілей організації. ЗСП охоплює різні аспекти (сфери) діяльності організації. В загальному випадку, це орієнтованість на задоволення потреб споживачів (клієнтів), внутрішні бізнес-процеси, фінансові результати, а також інноваційність, навчання та розвиток персоналу [3, 4, 5].

Із кожною ціллю організації пов'язується один або кілька показників — так званих, ключових показників результату діяльності, або КПД (англ. — Key Performance Indicators, KPI), які, будучи кількісними індикаторами, дозволяють вимірювати ступінь досягнення цієї цілі. При цьому вводиться поняття цільового значення КПД — як чисельного значення КПД, досягнення якого означає досягнення успіху (як запланованого результату) за відповідним аспектом діяльності на заданому проміжку часу.

Зауважимо, що в різних україномовних джерелах, зокрема, в сфері проєктного і логістичного управління, управління ланцюгами постачань тощо, простежується вживання різних термінів, як перекладів KPI. Так, для перекладу із англійської мови слова, яке входить до словосполучення, позначеного аббревіатурою KPI, — *performance* — гіпотетично можуть використовуватися два терміни. Це результативність — як ступінь досягнення запланованих результатів, здатність організації орієнтуватися на результат. І це ефективність — як співвідношення між досягнутими результатами і витраченими ресурсами. Тобто, як альтернативу, маємо ключові показники ефективності або ключові показники результативності. Відповідно, можемо мати і такий висновок, що слово *performance* об'єднує в собі і результативність, і ефективність. А KPI може перекладатися наступним словосполученням — ключовий показник результату діяльності. Тобто, результат — як поєднання результативності і ефективності [6, 7].

Водночас, одностайної думки стосовно цього питання, на наш погляд, ще не сформувалося. Ми можемо зустрічати у визнаних інформаційних джерелах переклад KPI таким словосполученням як ключовий показник ефективності. Зустрічаються й інші версії. Для того, щоб уникнути зазначених непорозумінь, проте, в цілому, приймаючи версію, що слово *performance* об'єднує в собі і результативність і ефективність, у подальшому, ми, використовуючи аббревіатуру КПД, будемо розшифровувати її як ключовий показник діяльності, що, наприклад, має місце в роботах [6, 7], або ключовий показник результату діяльності. Дані два тлумачення в цій роботі розглядатимуться за рівнозначні.

Гіпотетично, в основу концепції ЗСП можуть бути покладені будь-які методологічні підходи до формування КПД. Разом із тим, спостерігаємо, насамперед, інтерпретація результатів робіт Р. Каплана і Д. Нортонна стосовно ЗСП, зокрема, в роботі [3], а також практика застосування ЗСП вказують на те, що КПД розглядаються як детерміновані величини, а умови їх формування відповідають концепції управління за цілями П. Друкера або напрацюванням щодо вдосконалення та подальшого розвитку даної концепції. Хоча, очевидно, на часі було б проаналізувати можливості до застосування модифікацій у концепції ЗСП. Або застосування навіть відмінних концептуальних

підходів, коли показники оцінювання ступеня реалізації стратегії в організації розглядаються як випадкові величини, що відображає теорія управління, запропонована Е. Демінгом. Як називав її сам Е. Демінг — теорія статистичного мислення.

Зазначимо також, що концепція ЗСП бере до уваги фактори, насамперед, внутрішнього організаційного середовища, залишаючи поза увагою фактори зовнішні. При цьому очевидна, на перший погляд, думка, що на фактори зовнішнього середовища організація не впливає, а приймає їх лише як данність, не є вже такою й очевидною. Умови взаємодії організації і її зовнішнього середовища, в тому числі, і щодо зворотного впливу організації на таке середовище, зокрема, представлені в дослідженнях таких шкіл стратегічного управління як школа зовнішнього середовища і школа влади (субшкола макровлади). Тобто, показники, які характеризують фактори зовнішнього середовища, теж доцільно розглядати в рамках введення організаційної системи ЗСП. Або введення відмінної від ЗСП системи показників в організації в контексті реалізації стратегії. Інше питання, у випадку прийняття концепції ЗСП, чи показники, які характеризують фактори зовнішнього середовища, будуть представлені за групами, які відповідають аспектам ЗСП — орієнтованість на задоволення потреб споживачів (клієнтів), внутрішні бізнес-процеси, фінансові результати, а також інноваційність, навчання та розвиток персоналу, чи вони будуть виокремлені в самостійну, п'яту групу.

Водночас, не можна уникнути питання застосування інформаційних технологій для збору, обробки і аналізу даних при розбудові систем показників для забезпечення стратегічного управління, маючи на увазі подальше використання цих систем у процесах стадії моніторингу і контролю організаційної стратегії. Сучасний розвиток інформаційних технологій значуще впливає як на характер самої постановки завдань, так і на методи та моделі, які використовуються для їх вирішення практично в кожній предметній області, де передбачається застосування даних технологій. При цьому специфіка завдань стратегічного управління в організації, зокрема, логістичного провайдера, потребує вдосконалення й подальшого розвитку застосовуваного математичного апарату, в тому числі, заснованого на використанні теорії штучного інтелекту.

Аналіз праць відповідних науково-методичних підходів [8 – 15] показав, що спільними недоліками вищезазначених досліджень у сфері інформаційних технологій із точки зору можливості їх інтерпретації до досліджень у сфері стратегічного управління є:

- неможливість ієрархічної обробки різнотипних даних при оцінюванні результативності і ефективності стратегічного управління в організації логістичного провайдера;
- відсутність можливості додаткового залучення необхідних обчислювальних ресурсів системи інформаційного забезпечення при оцінюванні результативності і ефективності стратегічного управління в організації логістичного провайдера;
- не враховується тип невизначеності та зашумленості даних про інформацію, яка циркулює в системі стратегічного управління організації логістичного провайдера;
- відсутність механізмів глибокого навчання баз знань системи інформаційного забезпечення стратегічного управління в організації логістичного провайдера;
- відсутність визначення пріоритетності пошуку в певному напрямку під стратегічне управління в організації логістичного провайдера.

Таким чином, наукова прогалина ідентифікується в частині браку комплексних, таких, що ґрунтуються на методологічних підходах стратегічного управління і інформаційних технологій, методах і моделях стратегічного управління організацією логістичного провайдера, яка, (організація) діючи в складному динамічному середовищі, реалізує підходи дескриптивних наукових шкіл стратегічного управління.

Метою дослідження є формулювання концептуальних засад стратегічного управління, насамперед, у частині моніторингу і контролю, організацією логістичного провайдера, яка, діючи в складному динамічному середовищі, використовує підходи дескриптивних наукових шкіл стратегічного управління.

Завдання дослідження:

- сформулювати концепцію стратегічного управління організацією логістичного провайдера, яка, діючи в складному динамічному середовищі, використовує підходи дескриптивних наукових шкіл стратегічного управління;
- розробити комплексну модель, яка, використовуючи теорію стратегічного управління і теорію штучного інтелекту, надає математичний опис процесу оцінювання стану функціонування організації логістичного провайдера, який розглядається як підпроцес в рамках процесу моніторингу і контролю відповідної стадії стратегічного управління.

Основна частина

В умовах моніторингу і контролю процесів формування і реалізації стратегій в організації логістичного провайдера до уваги мають братися фактори, які визначають середовище, за якого функціонує дана організація. Зазначені фактори можуть бути згруповані в рамках трьох груп — група факторів зовнішнього середовища, група факторів внутрішнього середовища, а також група факторів, які, гіпотетично, можуть бути одночасно віднесені як до зовнішніх, так і до внутрішніх. У свою чергу, в групі факторів зовнішнього середовища можуть бути виокремлені такі підгрупи факторів як підгрупа факторів прямого впливу і підгрупа факторів опосередкованого впливу. Концепція стратегічного управління організацією логістичного провайдера, яка (організація) діючи в складному динамічному середовищі, реалізує підходи дескриптивних наукових шкіл стратегічного управління, представлена на **рис 1**.

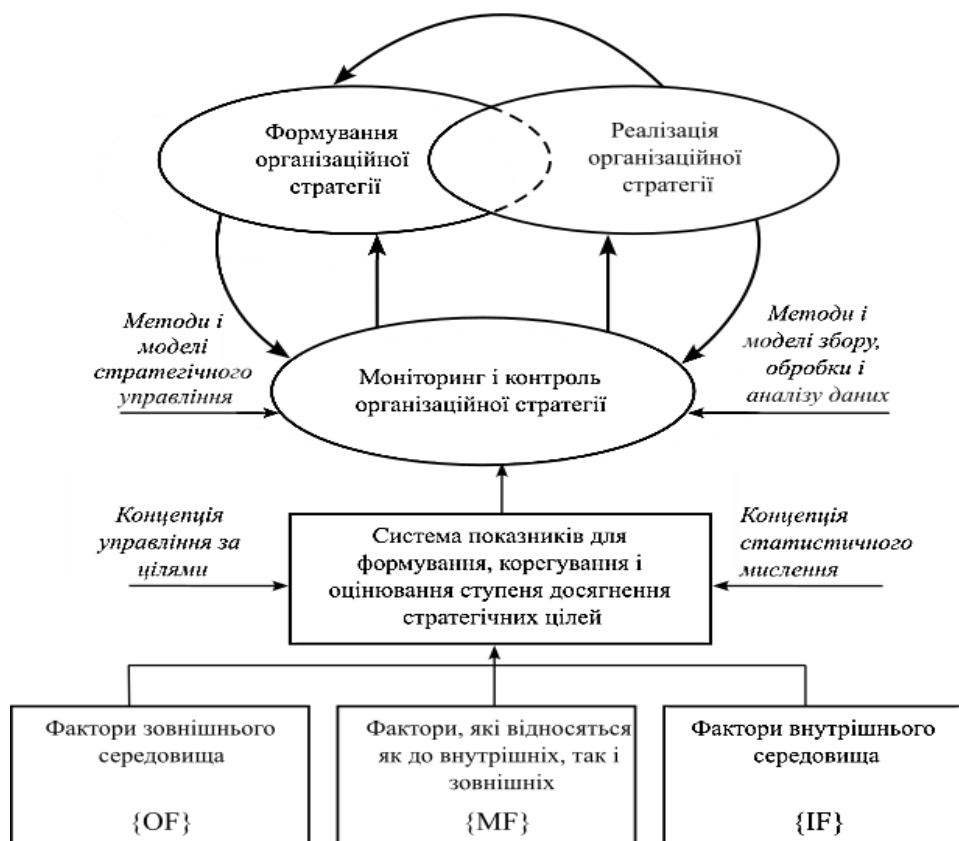


Рисунок 1 — Концепція стратегічного управління організацією логістичного провайдера, яка діючи в складному динамічному середовищі, реалізує підходи дескриптивних наукових шкіл стратегічного управління

У загальному випадку, як можна очікувати, фактори середовища організації логістичного провайдера будуть визначатися відмінними, за одиницями вимірювання, походженням (безрозмірні, числові, вербальні), показниками, які ці фактори характеризують. Одним із можливих підходів до врахування вищезазначеного є використання теорії штучного інтелекту, а саме окремої складової даної теорії, яка представлена нечіткими когнітивними моделями. Відповідну математичну модель, узгоджуючись із концепцією стратегічного управління організацією логістичного провайдера, яка діє у складному динамічному середовищі і реалізує підходи дескриптивних наукових шкіл стратегічного управління, **рис. 1**, можна представити у наступному вигляді, із урахуванням результатів роботи [16]:

$$S_{\text{лп}} = \{IF\}, \quad \{OF\}, \{MF\}, \quad (1)$$

де M — мета управління організацією логістичного провайдера;
 $\{IF\}$ — фактори внутрішнього середовища організації логістичного провайдера;
 $S_{\text{лп}}; \{OF\}$ — фактори зовнішнього середовища організації логістичного провайдера;
 $\{MF\}$ — фактори, які віднесено як до факторів зовнішнього, так і до факторів внутрішнього середовища організації логістичного провайдера.

Вираз (1) для динамічної системи:

$$\forall t \in \{1, \dots, T, \dots\} S_t = \begin{cases} s_1^{(t)} F_1 \left(\varphi_{1,1} \left(s_1^{(t-1)}, \dots, s_1^{(t-L_1^1)} \right), \varphi_{1,N} \left(s_N^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_1^N)} \right) \right) \times l_1, \\ s_2^{(t)} F_2 \left(\varphi_{2,1} \left(s_1^{(t-1)}, \dots, s_1^{(t-L_2^1)} \right), \varphi_{2,N} \left(s_N^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_2^N)} \right) \right) \times l_2, \\ \dots \\ s_N^{(t)} F_N \left(\varphi_{N,1} \left(s_1^{(t-1)}, \dots, s_1^{(t-L_N^1)} \right), \varphi_{N,N} \left(s_N^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_N^N)} \right) \right) \times l_N, \end{cases} \quad (2)$$

де S — багатовимірний часовий ряд, що характеризує зміну стану організації логістичного провайдера;

$S_t = (s_1^{(t)}, s_2^{(t)}, \dots, s_N^{(t)})$ — часовий зріз стану організації логістичного провайдера, представлений у вигляді багатовимірного часового ряду на t -й момент часу;

$s_j^{(t)}$ — значення j -го компонента багатовимірного часового ряду на t -й момент часу, що характеризує зміну стану організації логістичного провайдера;

L_j^i — максимальне значення часової затримки i -го компоненту відносно j -го, що характеризує значення оперативності оброблення інформації щодо стану організацією логістичного провайдера;

φ_{ij} — оператор для врахування взаємовпливу між i -м та j -м компонентом багатовимірного часового ряду;

F_i — перетворення для отримання $s_i^{(t)}$, $i=1, \dots, N$;

N — число компонентів багатовимірного часового ряду;

l — оператор для врахування ступеню поінформованості про стан організації логістичного провайдера.

Із виразу (2) можна зробити висновок, що даний вираз дозволяє описати стан організації логістичного провайдера із урахуванням затримок у часі. Затримки пов'язані зі збором, обробкою та узагальненням інформації, а також необхідності врахування ступеня поінформованості про стан

організації логістичного провайдера. Вираз (2) дозволяє описати процеси, які мають як кількісні, так і якісні одиниці вимірювання.

Комплексна оцінка результативності і ефективності функціонування організації логістичного провайдера в рамках стадії моніторингу і контролю організаційної стратегії складається з наступної послідовності дій:

Дія 1. Введення вихідних даних. Вводяться початкові дані про стан організації логістичного провайдера.

Дія 2. Побудова моделі зовнішніх факторів організації логістичного провайдера.

Дія 3. Побудова моделі внутрішніх факторів організації логістичного провайдера.

Дія 4. Побудова нечіткої когнітивної моделі організації логістичного провайдера.

Для реалізації оцінки взаємозв'язків системних факторів, які впливають на результативність і ефективність функціонування організації логістичного провайдера, застосовується нечітка когнітивна модель, **рис. 2**.

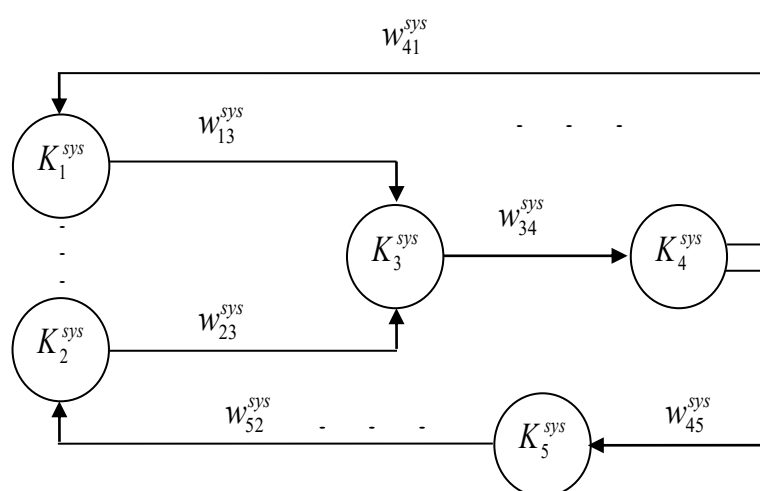


Рисунок 2 — Варіант структури нечіткої когнітивної моделі, що відображає системні фактори та взаємозв'язки між ними

Дана модель дозволяє отримувати вихідні дані для визначення впливу системних факторів на результативність і ефективність функціонування організації логістичного провайдера за допомогою нечітких моделей на основі нечітких нейронних продукційних ANFIC-мереж.

На вербальному рівні завдання оцінювання взаємозв'язків системних факторів функціонування організації логістичного провайдера може бути описано у наступному вигляді:

- 1) задання множини концептів K_i^{sys} , що характеризують фактори функціонування організації логістичного провайдера;
- 2) задання множини концептів K_j^{dan} , що характеризують ідентифіковані джерела виникнення ризиків функціонування організації логістичного провайдера;
- 3) формування структури нечіткої когнітивної моделі оцінювання взаємозв'язків системних факторів $K = (K^{dan}, K^{sys})$ функціонування організації логістичного провайдера;
- 4) опис стану або значення концептів функціонування організації логістичного провайдера на основі шкали дійсних чисел, що обмежені в діапазоні $[-1, 1]$;
- 5) визначення способу і задання значення безпосереднього впливу концептів функціонування організації логістичного провайдера один на одного $w_{ij}, K_j^{sys} = w_{ij} K_i^{sys}$;

6) визначення способу акумулювання безпосереднього впливу декількох концептів функціонування організації логістичного провайдера на один $K_j^{sys} = K_j^{sys} + \sum_{j=1}^N w_{ij} K_i^{sys}$;

7) визначення механізму опосередкованого впливу концептів функціонування організації логістичного провайдера $K_i \xrightarrow{l} K_q : d_l = (K_i, K_{Z_1^l}, K_{Z_2^l}, \dots, K_{Z_n^l}, K_q), l = 1, \dots, m$, де m – можливе число шляхів між концептами K_i й K_q ;

8) побудова моделі динаміки функціонування організації логістичного провайдера $K_j^{sys}(t+1) = K_j^{sys}(t) + \sum_{i=1}^N w_{ij} K_i^{sys}(t)$.

Висновки

Сформовано концепцію стратегічного управління організацією логістичного провайдера, яка, діючи в складному динамічному середовищі, використовує підходи дескриптивних наукових шкіл стратегічного управління.

Запропоновано комплексну модель, яка, використовуючи теорію стратегічного управління і теорію штучного інтелекту, надає математичний опис процесу оцінювання стану функціонування організації логістичного провайдера, який розглядається як підпроцес в рамках процесу моніторингу і контролю організаційної стратегії відповідної стадії стратегічного управління. Дана модель дозволить підвищити результативність і ефективність стратегічного управління в організації логістичного провайдера за рахунок підвищення оперативності набуття даних для прийняття стратегічних рішень в умовах накладання стадій формування і реалізації організаційних стратегій, що вирізняє дескриптивні наукові школи стратегічного управління.

Список літератури

1. Mintzberg, H., Lampel J., Ahlstrand B. Strategy Safari: A Guided Tour Through The Wilds of Strategic Management. Toronto: Free Press. 2001. 416 с.
2. Воркут Т. А., Луцкай Ю. В., Харута В. С., Чечет А. М. Стратегічне управління проектами логістичного аутсорсингу. Монографія. К.: Міленіум, 2021. 156 с.
3. Niven P. R. Balanced Scorecard Step-By-Step: Maximizing Performance and Maintaining Results. 2nd ed. Hoboken: Wiley, 2006. 336 p.
4. Kaplan R. S., Norton D. P. The Strategy-Focused Organization: How Balanced Scorecard Companies Thrive in the New Business Environment. Boston: Harvard Business School Press, 2000. 504 p.
5. Kaplan R. S., Norton D. P. Alignment: Using the Balanced Scorecard to Create Corporate Synergies. Boston: Harvard Business School Press, 2006. 320 p.
6. Управління ланцюгами постачань: логістичний аспект: навчальний посібник / Воркут Т. А., Білоног О. Є., Дмитриченко А. М., Третиниченко Ю. О. Київ: НТУ, 2017. 288 с.
7. Портфельно-орієнтоване управління в організаційних мережах: монографія / Воркут Т. А., Білоног О. Є., Дмитриченко А. М., Петунін А. В., Срібна Н. В., Третиниченко Ю. О. Київ: Міленіум, 2021. 227 с.
8. Ko Y.-C., Fujita H. An Evidential Analytics for Buried Information in Big Data Samples: Case Study of Semiconductor Manufacturing. *Information Sciences*. 2019. Vol. 486. P. 190–203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>.
9. Pérez-González C. J., Colebrook M., Roda-García J. L., Rosa-Remedios C. B. Developing a Data Analytics Platform to Support Decision Making in Emergency and Security Management. *Expert Systems with Applications*. 2019. Vol. 120. P. 167–184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>.
10. Chen H.. Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management

Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Procedia Computer Science*. Vol. 131. 2018. P. 952–958. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233> 12.

11. Chan H. K., Sun X., Chung S.-H.. When Should Fuzzy Analytic Hierarchy Process be Used Instead of Analytic Hierarchy Process? *Decision Support Systems*. 2019. P. 1–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>.

12. Osman A. M. S. Novel Big Data Analytics Framework for Smart Cities. *Future Generation Computer Systems*. 2019. Vol. 91. P. 620–633. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>.

13. Gödri I., Kardos C., Pfeiffer A., Váncza J. Data Analytics-Based Decision Support Workflow for High-Mix Low-Volume Production Systems. *CIRP Annals*, Vol. 68 (1), P. 471–474. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>.

14. Harding J. L. Data Quality in the Integration and Analysis of Data from Multiple Sources: Some Research Challenges. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XL-2/W1. 2013. P. 59–63. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w1-59-2013>.

15. Maccarone A. D., Brzorad J. N., and Stone H. M. Characteristics And Energetics Of Great Egret And Snowy Egret Foraging Flights. *Waterbirds*. 2008. Vol. 31, No. 4, P. 541–549. DOI: <https://doi.org/10.1675/1524-4695-31.4.541>.

16. Tatiana Vorkut, Lyudmila Volynets. DEVISING A METHOD FOR ASSESSING THE EFFICIENCY IN MANAGING LOGISTICS OPERATIONS OF MOTOR TRANSPORT ENTERPRISES. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2024, Vol. 6 (3 (132), P. 17–24. DOI: <https://doi.org/10.15587/17294061.2024.317567>.

References

1. Mintzberg, H., Lampel, J., Ahlstrand, B. (2001). *Strategy Safari: A Guided Tour Through The Wilds of Strategic Mangament*. Toronto: The Free Press, 416 [in English].

2. Vorkut T. A., Lushchai Yu. V., Kharuta V. S., Cheshet A. M. (2021). *Strategic management of logistics outsourcing projects*. Monograph. K.: Millennium. 156 p. [in Ukrainian].

3. Niven, P. R. (2006). *Balanced scorecard step-by-step: Maximizing performance and maintaining results* (2nd ed.). Wiley. 336 p. [in English].

4. Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2000). *The strategy-focused organization: How balanced scorecard companies thrive in the new business environment*. Harvard Business School Press. 504 p. [in English].

5. Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2006). *Alignment: Using the balanced scorecard to create corporate synergies*. Harvard Business School Press. 320 p. [in English].

6. Vorkut, T. A., Bilonog, O. Ye., Dmytrichenko, A. M., Tretynychenko, Y. O. (2017). *Supply Chain Management: Logistic Aspect*. Kyiv: NTU. 288 p. [in Ukrainian].

7. Vorkut T. A., Bilonoh O. Ie., Dmytrychenko A. M., Petunin A. V., Sribna N. V., Tretynychenko Yu.O. (2021) *Portfelno-orientovane upravlinnia v orhanizatsiinykh merezhakh*. Monohrafiia. Kyiv: Milenium, 227 p. [in Ukrainian].

8. Ko Y.-C., Fujita H. (2019). An Evidential Analytics for Buried Information in Big Data Samples: Case Study of Semiconductor Manufacturing. *Information Sciences*. Vol. 486. P. 190–203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079> [in English].

9. Pérez-González C. J., Colebrook M., Roda-García J. L., Rosa-Remedios C. B. Developing a Data Analytics Platform to Support Decision Making in Emergency and Security Management. *Expert Systems with Applications*. 2019. Vol. 120. P. 167–184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023> [in English].

10. Chen H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Procedia Computer Science*, Vol. 131, P. 952–958. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233> [in English].

11. Chan H. K., Sun X., Chung S.-H. (2019). When Should Fuzzy Analytic Hierarchy Process be Used Instead of Analytic Hierarchy Process? *Decision Support Systems*. Vol. 125, P. 113–114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114> [in English].
12. Osman A. M. S. (2019). Novel Big Data Analytics Framework for Smart Cities. *Future Generation Computer Systems*. Vol. 91. P. 620–633. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046> [in English].
13. Gödri I., Kardos C., Pfeiffer A., Váncza J. (2019). Data Analytics-Based Decision Support Workflow for High-Mix Low-Volume Production Systems. *CIRP Annals*, Vol. 68 (1), P. 471–474. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001> [in English].
14. Harding J. L. (2013). Data Quality in the Integration and Analysis of Data from Multiple Sources: Some Research Challenges. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XL-2/W1, P. 59–63. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w1-59-2013> [in English].
15. Maccarone A. D., Brzorad J. N., and Stone H. M. (2008). Characteristics And Energetics Of Great Egret And Snowy Egret Foraging Flights. *Waterbirds*. Vol. 31, No. 4, P. 541–549. DOI: <https://doi.org/10.1675/1524-4695-31.4.541> [in English].
16. Tatiana Vorkut, Lyudmila Volynets. (2024). DEVISING A METHOD FOR ASSESSING THE EFFICIENCY IN MANAGING LOGISTICS OPERATIONS OF MOTOR TRANSPORT ENTERPRISES. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 6 (3 (132)), P. 17–24. DOI: <https://doi.org/10.15587/17294061.2024.317567> [in English].

Tetyana Vorkut, D.Sc., Prof., <https://orcid.org/0000-0003-0354-476X>

Ludmila Volynets, Ph.D., Prof., <https://orcid.org/0000-0002-5064-2349>

National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

SYSTEMATIC ASPECTS OF STRATEGIC MANAGEMENT OF LOGISTICS PROVIDER ORGANIZATIONS IN A COMPLEX DYNAMIC ENVIRONMENT

Abstract

Introduction. Today, the conditions of interaction between the stages of formation (formulation) and implementation of organizational strategy are considered in many scientific works in the field of management as a scientific discipline. At the same time, these works are of a general methodological nature, from the point of view of strategic management, such as, for example, the work [1], and focus on individual aspects of functional, in particular, logistical, strategic management, for example, work [2].

In the context of the above, we can recall the work [1], in which, within the framework of the systematization of scientific schools of strategic management, prescriptive and descriptive scientific schools are distinguished. One of the distinguishing features of prescriptive schools – the design school, the planning school, and the positioning school – is that their proponents believe that effective and efficient organizational strategy involves the separation (separation) of thinking and action. That is, the processes of formulating, in the terminology of prescriptive schools, and implementing organizational strategy. Regarding descriptive schools — the school of entrepreneurship, the cognitive school, the school of learning, the school of power, the school of the environment, the school of culture, we should note that their supporters hold a different opinion. They believe that an effective and efficient organizational strategy involves the combination of thinking and action. That is, the processes of formation, in the terminology of descriptive schools, and the implementation of organizational strategy.

Problem Statement. The scientific gap is identified in the lack of comprehensive, based on methodological approaches of strategic management and information technologies, methods and models of strategic management of a logistics provider organization, which, (the organization) operating in a complex dynamic environment, implements the approaches of descriptive scientific schools of strategic management.

Objective. The purpose of the study is to formulate the conceptual principles of strategic management, primarily in terms of monitoring and control, by a logistics provider organization that, operating in a complex dynamic environment, uses the approaches of descriptive scientific schools of strategic management.

Materials and Methods. When analyzing scientific works that consider the issues of forming a concept of strategic management of a logistics provider organization operating in a complex dynamic environment, the method of scientific identification was used; When developing a comprehensive model that, using the theory of strategic management and the theory of artificial intelligence, provides a mathematical description of the process of assessing the state of functioning of the logistics provider organization, which is considered as a sub-process within the monitoring and control process of the corresponding stage of strategic management, the approach of the theory of artificial intelligence was used, namely, a separate component of this theory, which is represented by fuzzy cognitive models.

Results. Conceptual principles of strategic management have been developed, primarily in terms of monitoring and control, by a logistics provider organization that, operating in a complex dynamic environment, uses the approaches of descriptive scientific schools of strategic management.

Conclusions. A concept of strategic management of a logistics provider organization has been formed, which, operating in a complex dynamic environment, uses the approaches of descriptive scientific schools of strategic management.

A comprehensive model is proposed, which, using the theory of strategic management and the theory of artificial intelligence, provides a mathematical description of the process of assessing the state of functioning of the logistics provider organization, which is considered as a sub-process within the process of monitoring and controlling the organizational strategy of the corresponding stage of strategic management. This model will increase the effectiveness and efficiency of strategic management in the organization of a logistics provider by increasing the efficiency of data acquisition for strategic decision-making in the context of overlapping stages of formation and implementation of organizational strategies, which distinguishes descriptive scientific schools of strategic management.

Keywords: organization of logistics providers, strategic management, balanced scorecard, key performance indicator, dynamic environment.

УДК 338:625

Богінська Л. О., канд. екон. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0001-8635-7980>*Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна*

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ДОРОЖНЬОГО БУДІВНИЦТВА

Анотація

Вступ. Темпи зростання обсягу перевезень і кількості автотранспортних засобів зумовили той факт, що транспортно-дорожні системи в даний час виступають потужним техногенним чинником впливу на довкілля. У зв'язку з цим в коло завдань автомобільного транспорту як галузі економічної географії входить вивчення закономірностей взаємодії транспортних систем, як галузевих, так і регіональних, не тільки з територіально-виробничими системами і системами розселення, а й з навколишнім середовищем.

Проблематика. Незважаючи на гостроту екологічних проблем функціонування транспорту, даний напрямок досліджень не отримав досить широкого розвитку: недостатньо вивчені еколого-економічні аспекти дорожнього будівництва, як основи функціонування транспортної мережі, у тому числі на сільських територіях.

Актуальність обраної теми визначається також слабким розробленням системного підходу в питанні взаємодії системи «транспорт – автодорога – навколишнє середовище», відсутністю кількісних показників для вивчення поширення впливів автотранспорту в межах всієї комунікаційної мережі і окремих її ланок.

Мета. Проведення аналізу існуючих і новостворення науково-обґрунтованих рішень екологічних проблем автомобільних доріг і виробничих підприємств дорожнього будівництва.

Матеріали і методи. Аналіз літературних джерел та проведення досліджень з питання мінімізації негативного впливу дорожнього будівництва на екосистеми та оптимізації економічних витрат.

Результати. Дорожнє будівництво, будучи ключовим елементом інфраструктури, має значний вплив на екологічну та економічну сфери. Стаття присвячена аналізу еколого-економічних аспектів дорожнього будівництва, включаючи оцінку впливу на навколишнє природне середовище, використання ресурсів, економічну ефективність та соціальні наслідки. Розглядаються сучасні технології та методи, спрямовані на мінімізацію негативного впливу дорожнього будівництва на екосистеми та оптимізацію економічних витрат. Особлива увага приділяється питанням сталого розвитку та необхідності інтеграції екологічних та економічних критеріїв у процесі прийняття рішень щодо дорожнього будівництва. У сучасних умовах, коли Україна активно розвиває інноваційну економіку, екологічні виклики вимагають переосмислення традиційних економічних підходів та ролі держави. Це означає, що екологічна політика має стати не просто набором заходів, а комплексною системою, спрямованою на: підвищення добробуту суспільства; покращення якості життя; раціональне використання природних ресурсів. Наголошено на тому, що заходи з охорони довкілля повинні враховуватися на всіх етапах будівництва автомобільних доріг, починаючи від досліджень і проєктування, закінчуючи заготівлею матеріалів, їх транспортуванням, будівельно-монтажними роботами та контролем якості. І автомобільні дороги, і транспортні засоби, залежно від багатьох чинників, можуть завдавати шкоди довкіллю як протягом тривалого, так і короткого часу. У статті основна увага зосереджена на впливі саме автомобільних доріг. Удосконалюється сучасний підхід до дорожнього будівництва, який передбачає врахування еколого-економічних аспектів, що дозволяє збалансувати потреби розвитку з охороною довкілля.

Висновки. Запропоновані шляхи досягнення балансу раціонального, еколого-обґрунтованого дорожнього будівництва через екологічно обґрунтоване проектування, оцінку впливу на навколишнє середовище, екологічний моніторинг, залучення громадськості, спрямовані на сталий збалансований еколого-економічний розвиток дорожнього господарства.

Розроблені основні еколого-орієнтовані заходи у дорожньо-будівельній та дорожньо-транспортній сфері сприятимуть досягненню поставленої мети.

Ключові слова: дорожнє будівництво, захист довкілля, еколого-економічні аспекти, екологічний моніторинг.

Вступ

Темпи зростання обсягу перевезень і кількості автотранспортних засобів зумовили той факт, що транспортно-дорожні системи в даний час виступають потужним техногенним чинником впливу на навколишнє середовище (НС). У зв'язку з цим в коло завдань автомобільного транспорту як галузі економічної географії входить вивчення закономірностей взаємодії транспортних систем, як галузевих, так і регіональних, не тільки з територіально-виробничими системами і системами розселення, а й з навколишнім середовищем. Незважаючи на гостроту екологічних проблем функціонування транспорту, даний напрямок досліджень не отримало досить широкого розвитку: недостатньо вивчені еколого-економічні аспекти дорожнього будівництва, як основи функціонування транспортної мережі, у тому числі на сільських територіях.

Актуальність обраної теми визначається також слабкою розробкою системного підходу в питанні взаємодії системи транспорт-автодорога- навколишнє середовище, відсутністю кількісних показників для вивчення поширення впливів автотранспорту в межах всієї комунікаційної мережі і окремих її ланок.

У дослідженні автор спирався на праці основоположників і сучасних дослідників економікогеографів, в тому числі в сфері географії транспорту: Баранського Н. Н., Бугроменко В. Н., Василевського Л. І., Гольця Г. А., Казанського Н. Н., Колосовського Н. Н., Маєргойз І. М., Нікольського І. В., Родоман Б. Б., Саушкіна Ю. Г., Тархова С. А., Чістобаєва А. І., Шаригіна М. Д., Шліхтера С. Б. та ін.

Мета статті: аналіз існуючих і в створення науково-обґрунтованих рішень екологічних проблем автомобільних доріг і виробничих підприємств дорожнього будівництва.

Виклад основного матеріалу. Основними напрямками посилення екологічної безпеки в глобальному сенсі в умовах сьогодення є:

- припинення забруднення повітряного і водного середовища речовинами, шкідливими або несприятливими для життєдіяльності людини, шляхом розробки і впровадження відповідної технології і суворого контролю над застосуванням речовин, що викликають глибокі порушення природних процесів. На промислових підприємствах необхідно підвищити відповідальність за викиди в атмосферу, скиди у водойми та надходження забруднюючих речовин в ґрунт, впровадити систему сучасних ефективних очисних установок;

- раціональне використання всіх видів природних ресурсів (відновлюваних і невідновлюваних);

- збереження всього природного генофонду живої природи;

- створення сприятливих умов для життя населення шляхом ведення системи науково обґрунтованого містобудування та регіонального районування та планування, що усуне всі негативні наслідки сучасної урбанізації;

- залучення уваги світової громадськості до екологічних проблем певних територій на підставі того, що екологічні лиха та катастрофи не знають кордонів [1, 5].

Конструктивне рішення цих проблем багато в чому визначить умови і якість життя нинішнього і майбутніх поколінь людей, забезпечить екологічно нешкідливий технологічний розвиток виробничих галузей економіки.

За останні три десятиліття поняття «екологічна безпека», яке в широкому розумінні означає захист навколишнього природного та соціального середовища від різних шкідливих впливів, стало актуальним і в галузі будівництва. Зокрема, термін «екологічна безпека автомобільної дороги» охоплює забезпечення захисту природи та суспільства від негативного впливу дороги на всіх етапах її існування: від початкового будівництва до реконструкції, експлуатації, технічного обслуговування та ремонту. Оцінка екологічної безпеки проводиться на основі порівняння кількісних показників санітарно-гігієнічних норм або екологічних параметрів з природним фоном конкретної місцевості. Дотримання цих вимог гарантує стабільність природних екосистем у зонах, прилеглих до автомобільних доріг, протягом тривалого часу. Автомобільні дороги та пов'язані з ними виробничі об'єкти, такі як асфальтобетонні заводи, кар'єри та підприємства з виготовлення залізобетонних конструкцій, що функціонують у складі єдиного дорожнього комплексу, є джерелами забруднення навколишнього середовища.

Заходи з охорони довкілля повинні враховуватися на всіх етапах будівництва автомобільних трас, починаючи від досліджень і проєктування, закінчуючи заготівлею матеріалів, їх транспортуванням, будівельно-монтажними роботами та контролем якості. Для визначення шляхів покращення екологічної безпеки автомобільних трас необхідно розглянути дві основні групи джерел екологічної небезпеки: по-перше, самі автомобільні дороги різних типів (асфальтобетонні, цементобетонні, гравійні), і по-друге, транспортні засоби, що ними користуються, а саме легкові та вантажні автомобілі.

І автомобільні дороги, і транспортні засоби, залежно від багатьох факторів, можуть завдавати шкоди довкіллю як протягом тривалого, так і короткого часу. Інженерні споруди, такі як насипи, шляхопроводи, мости, системи водовідведення, стан узбіч, а також різноманітні об'єкти дорожньої інфраструктури (АЗС, зупинки тощо), впливають на стан ґрунту, якість повітря та чистоту водойм у прилеглих районах. У цій статті основна увага зосереджена на впливі самих автомобільних доріг [7].

Дорожнє будівництво є важливим елементом інфраструктурного розвитку, що сприяє економічному зростанню, покращенню транспортного сполучення та доступу до регіонів. Проте, воно також може мати значний негативний вплив на навколишнє середовище. Тому, сучасний підхід до дорожнього будівництва передбачає врахування еколого-економічних аспектів, що дозволяє збалансувати потреби розвитку з охороною довкілля.

Екологічні аспекти проявляються в таких явищах, як:

1. Забруднення навколишнього природного середовища:

- викиди забруднюючих речовин від будівельної техніки та транспорту можуть призвести до забруднення повітря та ґрунту;
- будівельний пил та шум можуть негативно впливати на здоров'я людей та тварин;
- змивання ґрунту під час будівництва може призвести до забруднення водойм та ерозії ґрунту.

2. Знищення природних екосистем:

- будівництво доріг може призвести до знищення лісів, луків, водно-болотних угідь та інших природних екосистем, що є місцем проживання багатьох видів рослин та тварин – представників флори і фауни кліматичної зони;
- фрагментація природних екосистем може призвести до ізоляції популяцій тварин та рослин, що ускладнює їх розмноження та міграцію.

3. Негативний вплив на стан водних ресурсів:

- будівництво доріг може призвести до зміни гідрологічного режиму територій, що може негативно вплинути на водні ресурси;
- забруднення води будівельними матеріалами та відходами може призвести до погіршення якості води та завдати шкоди водним екосистемам [5].

Економічними аспектами є:

1. Вартість будівництва та експлуатації дорожніх об'єктів:

- будівництво доріг є costly проєктом, що потребує значних фінансових вкладень;
- експлуатація доріг також потребує витрат на утримання, ремонт та обслуговування.

2. Економічна ефективність:

- будівництво доріг може сприяти економічному зростанню за рахунок покращення транспортного сполучення, зниження транспортних витрат та залучення інвестицій;
- проте, необхідно враховувати екологічні збитки від дорожнього будівництва, які можуть знизити його економічну ефективність.

3. Соціально-економічні переваги в дорожньому будівництві це:

- будівництво доріг, яке може сприяти створенню нових робочих місць, розвитку інфраструктури та покращенню якості життя населення;
- виклики, при яких необхідно враховувати можливі негативні соціальні наслідки, такі як переселення людей, втрата земель та зміна традиційного способу життя [5].

Розробляються шляхи досягнення балансу раціонального, еколого-обґрунтованого дорожнього будівництва, а саме:

1. Екологічно обґрунтоване проектування:

- при проектуванні доріг необхідно враховувати екологічні аспекти, такі як збереження природних екосистем, мінімізація забруднення навколишнього середовища та забезпечення безпеки для тварин.
- необхідно використовувати сучасні технології та матеріали, які мають менший негативний вплив на довкілля.

2. Оцінка впливу на навколишнє середовище:

- перед початком будівництва необхідно проводити оцінку впливу на навколишнє середовище, щоб ідентифікувати можливі негативні наслідки та розробити заходи для їх мінімізації.

3. Екологічний моніторинг:

- під час будівництва та експлуатації доріг необхідно здійснювати екологічний моніторинг, щоб контролювати стан навколишнього середовища та своєчасно виявляти можливі негативні зміни.

4. Компенсаційні заходи:

- у разі неминучого негативного впливу на навколишнє середовище, необхідно передбачати компенсаційні заходи, такі як відновлення пошкоджених екосистем, створення заповідників та інші.

5. Залучення громадськості:

- важливо залучати громадськість до обговорення проектів дорожнього будівництва, щоб врахувати їх інтереси та забезпечити підтримку населення [2].

Врахування еколого-економічних аспектів дорожнього будівництва є запорукою сталого розвитку, що дозволяє задовольнити потреби сучасного суспільства, не завдаючи шкоди майбутнім поколінням.

Перш за все необхідно уточнити, які вимоги еколого-правового характеру слід мати на увазі і враховувати при вирішенні тих чи інших аспектів транспортної проблеми. Під екологічними вимогами, яким повинна відповідати виробнича діяльність, розуміються вимоги з охорони навколишнього середовища від шкідливих хімічних, фізичних і біологічних впливів та забезпечення раціонального використання природних ресурсів, що обґрунтовані наукою і практикою й узгоджені з законами розвитку природи. Більш конкретні різновиди екологічних вимог містяться в чинному законодавстві в галузі охорони навколишнього середовища [7].

Забезпечення екологічної безпеки в дорожньому господарстві зводиться до реалізації заходів, спрямованих на охорону довкілля, які можна узагальнено представити у вигляді схеми (**рис. 1**). Висока якість автомобільних доріг, а отже, і їхня екологічна безпека, досягається шляхом комплексного врахування всіх етапів життєвого циклу дороги.

Одним із способів зменшення негативного впливу людини на довкілля є впровадження новітніх екологічних технологій. У дорожньому будівництві «зеленими» технологіями можна вважати ті, що передбачають переробку промислових та побутових відходів, а також забезпечують високу якість дорожньої інфраструктури. Це, в свою чергу, дозволяє скоротити витрати часу та ресурсів на підтримання автомобільних доріг у належному стані під час їх експлуатації. Інвестиції в екологічні

рішення стають все більш важливими в сучасному світі, де проблеми екології вимагають уваги та дій. Використання перероблених матеріалів та шумозахисних екранів є двома ключовими напрямками, в які можна інвестувати для покращення екологічної ситуації.

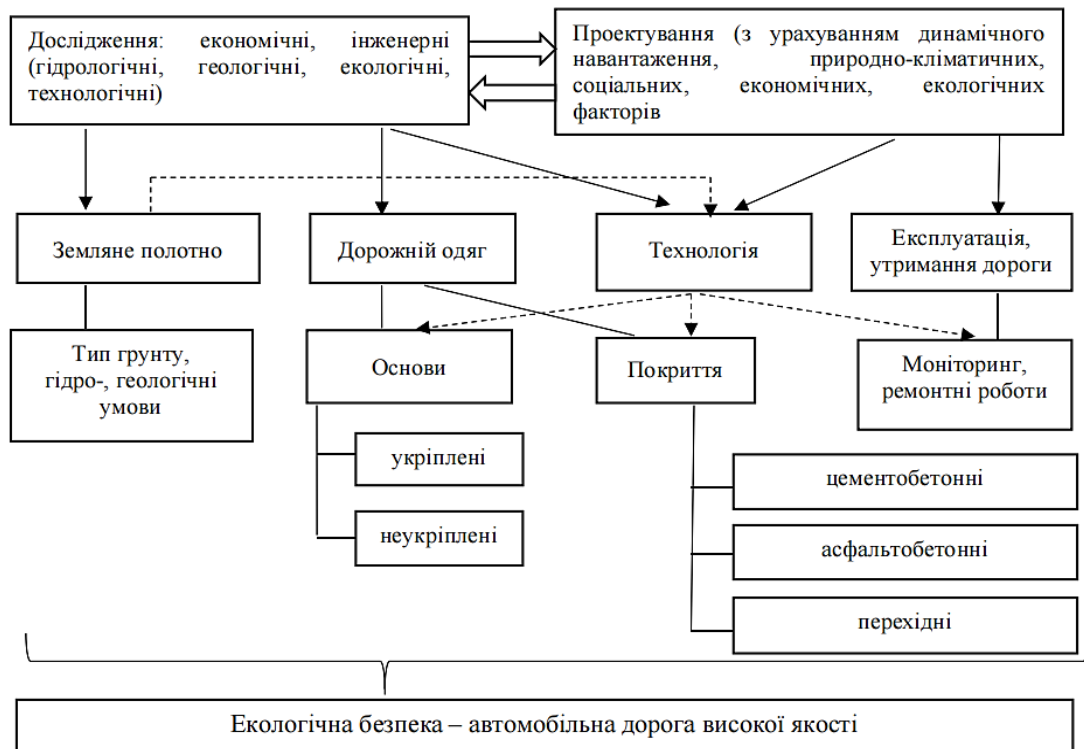


Рисунок 1 — Основні еколого-орієнтовані заходи у дорожньо-будівельній та дорожньо-транспортній сфері (складено автором)

Використання перероблених матеріалів, як інноваційний захід, сприяє зменшенню відходів, які потрапляють на сміттєзвалища, забруднюючи ґрунт та воду, а також дозволяє використовувати вже існуючі ресурси, зберігаючи природні. Виробництво з перероблених матеріалів часто вимагає менше енергії, що зменшує викиди парникових газів, а інвестиції в переробку стимулюють розвиток ефективних та екологічних технологій. Шумозахисні екрани допомагають зменшити шумове забруднення, що позитивно впливає на здоров'я людей та диких тварин, покращують якість життя мешканців поблизу джерел шуму, захищають дику природу, але можуть підвищити вартість нерухомості [6].

Особливий інтерес викликають такі напрямки розвитку дорожнього будівництва:

- Підвищення міцності асфальтобетонних покриттів.
- Дослідження можливості використання відходів місцевих промислових підприємств, наприклад, хімічної промисловості, для покращення якості дорожніх бітумів.
- Заміна природних кам'яних матеріалів, що використовуються для верхнього та нижнього шарів дорожнього покриття, на відходи, отримані в результаті дроблення каміння.
- Використання відходів пластмас як заміна дорогим полімерним добавкам [3].

У даний час у свідомості багатьох людей переважають економічні (матеріальні) інтереси над екологічними. Багато хто не замислюється не тільки про майбутні покоління, а й про власне здоров'я. Неможливо забезпечити ефективність охорони природи лише епізодичними заходами або одними лише, нехай і строгими, заборонами. Необхідно формувати ефективну систему безперервної екологічної освіти та виховання. Кожним повинна бути усвідомлена особиста власна відповідальність щодо здійснення заходів з охорони довкілля.

Вплив на довкілля включає:

- Вилучення значних земельних ділянок для будівництва доріг, гаражів та паркінгів.
- Розвиток інфраструктури для обслуговування автомобілів, такої як автозаправні станції, станції технічного обслуговування та автомийки.
- Підтримання доріг у належному стані, що включає використання снігоприбиральної техніки, обробку доріг протижелезними матеріалами, такими як піщано-соляні суміші, нанесення дорожньої розмітки та встановлення дорожніх знаків і світлофорів [4].

Сучасний стан біосфери, позначений численними негативними наслідками техногенного впливу, вимагає запровадження державного контролю над випуском техніки з недостатнім рівнем екологічної безпеки. Необхідно поетапно нормувати шкідливі викиди, враховуючи технологічну готовність автомобільних та нафтопереробних підприємств. Лише жорсткі, але необхідні заходи дозволять досягти екологічної рівноваги, запобігти катастрофам та забезпечити стабільність природних екосистем та життєдіяльність людства. Практика показує, що ринкові механізми та економічне стимулювання виявилися недостатніми для обмеження зростаючого негативного впливу на довкілля виробництв дорожньо-будівельної сфери.

Нами зроблено спробу розробити підхід щодо прийняття рішення стосовно оптимізації еколого-економічного стану дорожнього будівництва (рис. 2).

Встановлено, що даний системний підхід є ключовим інструментом для успішного зведення дорожніх об'єктів, дозволяючи розробляти науково обґрунтовані управлінські рішення щодо стратегії сталого розвитку дорожньої організації в умовах ринкової економіки. На думку авторів, досягнення мети представляє собою комплекс дій, спрямованих на визначення та отримання очікуваного результату з урахуванням передбачуваних наслідків та мотивацій.

Досягнення мети передбачає зміну існуючої негативної ситуації, а саме: усунення проблем, тобто фрагментів дійсності, які потребують змін або запобігання, та врахування ризиків, що є постійними, періодичними або випадковими факторами зовнішнього чи внутрішнього середовища виробничих дорожніх підприємств, спрямованими на зниження вартості їх продукції, і все це завершується прийняттям конкретних рішень.

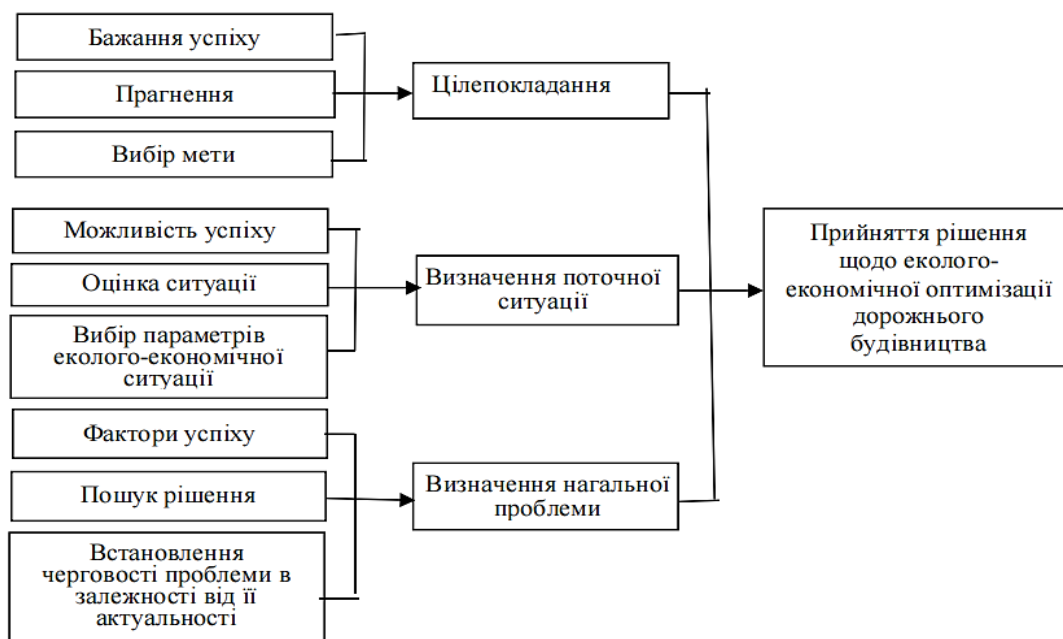


Рисунок 2 — Спрощений сітьовий графік вирішення еколого-економічних проблем в дорожньому будівництві залежно від визначених цілей (розроблено автором)

Запропонована схема може слугувати основою для створення системи управління підприємствами будівельної галузі, яка відповідатиме стратегії розвитку як регіональних будівельних і дорожніх комплексів, так і окремих дорожньо-будівельних об'єктів.

Висновки

Розроблення методики комплексного дослідження функціонування автомобільного транспорту в навколишньому середовищі є складним і багатоцільовим завданням.

Еколого-економічні аспекти дорожнього будівництва включають баланс між економічними вигодами та екологічним впливом. Раціональне використання ресурсів, впровадження екологічних технологій, зниження викидів та впливу на ландшафт сприяють сталому розвитку. Інвестиції в екологічні рішення, такі як використання перероблених матеріалів і шумозахисних екранів, допомагають мінімізувати негативний вплив на довкілля та підвищують ефективність дорожньої інфраструктури.

Практичне значення дослідження полягає в доведенні можливості та ефективності використання розроблених теоретичних методів для технічних рішень екологічних проблем в дорожньому господарстві.

Список літератури

1. Проект постанови КМУ «Про затвердження Порядку розроблення та затвердження регіональних планів управління відходами». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/667-2023-%D0%BF#Text> (дата звернення 09.02.2025).
2. Положення про державну екологічну інспекцію. // ПКМУ від 17 листопада 2001 р. № 1520. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/6872366> (дата звернення 09.02.2025).
3. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року. Закон України від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (дата звернення 12.02.2025).
4. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року. Указ президента України від 30 вересня 2019 року № 722/2019. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/7222019-29825> (дата звернення 01.03.2025).
5. Андрусевич, Н. «Одиниця» за довкілля: чому Україна провалилася у сфері, де ми вважали себе успішними. Європейська правда. URL: <https://www.eurointegration.com.ua/experts/2023/02/7/7155638/> (дата звернення 11.02.2025).
6. Юрченко А. С. Економічне обґрунтування концесій у дорожньому будівництві : дис. ... д-ра філософії: 051 / Націон. трансп. ун-т. Київ, 2021. 205 с. URL: http://diser.ntu.edu.ua/Dis_Yurchenko.pdf (дата звернення: 13.02.2025).
7. Автотранспорт і навколишнє середовище: проблеми і шляхи їхнього вирішення. Електронний ресурс. URL: <https://www.zoda.gov.ua/news/7207/avtotransport-inavkolishnjeseredovishe-problemi-i-shlyahi-jihnogo-virishennya.html> (дата звернення 04.03.2025).

References

1. Proiekt postanovy KМУ “Pro zatverdzhennia Poriadku rozroblennia ta zatverdzhennia rehionalnykh planiv upravlinnia vidkhodamy” [Raft resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine “On approval of the Procedure for the development and approval of regional waste management plans”]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/667-2023-%D0%BF#Text> (data zvernennia 09.02.2025) [in Ukrainian].
2. Polozhennia pro derzhavnu ekolohichnu inspektsiuu (2001). [Regulations on the State Environmental Inspection] // PKMU vid 17 lystopada 2001 p. No. 1520. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/6872366> (data zvernennia 09.02.2025) [in Ukrainian].

3. Pro Osnovni zasady (strategiiu) derzhavnoi ekolohichnoi polityky Ukrainy na period do 2030 roku [On the Basic Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the Period Until 2030]. Zakon Ukrainy vid 28 liutoho 2019 roku No. 2697-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (data zvernennia 12.02.2025) [in Ukrainian].

4. Pro Tsili staloho rozvytku Ukrainy na period do 2030 roku [About the Sustainable Development Goals of Ukraine for the period up to 2030]. Ukaz prezydenta Ukrainy vid 30 veresnia 2019 roku No. 722/2019. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/7222019-29825> (data zvernennia 01.03.2025) [in Ukrainian]

5. Andrusyevych, N.(2023) «Odynytisia» za dovkillia: chomu Ukraina provalylasia u sferi, de my vvazhaly sebe uspishnymy [“Unit” for the environment: why Ukraine failed in an area where we considered ourselves successful]. Yevropeiska pravda. URL: <https://www.eurointegration.com.ua/experts/2023/02/7/7155638/> (data zvernennia 11.02.2025) [in Ukrainian].

6. Yurchenko A. S. Ekonomichne obgruntuvannia kontsesii u dorozhnomu budivnytstvi [Економічне обґрунтування концесій у дорожньому будівництві]: dys. ... d-ra filosofii: 051 / Natsion. transp. un-t. Kyiv, 2021. 205 p. URL: http://diser.ntu.edu.ua/Dis_Yurchenko.pdf (data zvernennia: 13.02.2025) [in Ukrainian].

7. Avtotransport i navkolyshnie seredovyshe: problemy i shliakhy yikhnoho vyrishennia [Motor transport and the environment: problems and solutions]. Elektronnyi resurs. URL: <https://www.zoda.gov.ua/news/7207/avtotransport-inavkolishnjесeredovishe-problemi-i-shlyahi-jihnogo-virishennya.html> (data zvernennia 04.03.2025) [in Ukrainian].

Lyudmila Boginska, Ph.D., Assoc. Prof., <https://orcid.org/0000-0001-8635-7980>

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASPECTS OF ROAD CONSTRUCTION

Abstract

Introduction. The growth rate of transportation and the number of motor vehicles has led to the fact that transport and road systems are currently a powerful technogenic factor affecting the environment. In this regard, the tasks of road transport as a branch of economic geography include the study of the patterns of interaction of transport systems, both sectoral and regional, not only with territorial-production systems and settlement systems, but also with the environment.

Issues. Despite the acuteness of environmental problems of transport operation, this area of research has not received sufficient widespread development: the ecological and economic aspects of road construction, as the basis for the operation of the transport network, including in rural areas, have not been sufficiently studied.

The relevance of the chosen topic is also determined by the weak development of a systemic approach to the issue of the interaction of the “transport – road – environment system”, the lack of quantitative indicators for studying the spread of motor vehicle impacts within the entire communication network and its individual links.

Purpose. Conducting an analysis of existing and newly created scientifically based solutions to environmental problems of highways and road construction production enterprises.

Materials and methods. Analysis of literary sources and conducting research on the issue of minimizing the negative impact of road construction on ecosystems and optimizing economic costs.

Results. Road construction, being a key element of infrastructure, has a significant impact on the environmental and economic spheres. The article is devoted to the analysis of ecological and economic aspects of road construction, including the assessment of the impact on the environment, resource use, economic efficiency and social consequences. Modern technologies and methods aimed at minimizing the negative impact of road construction on ecosystems and optimizing economic costs are considered. Special attention is paid to issues of sustainable development and the need to integrate environmental and economic criteria in the decision-making process regarding road construction. In modern conditions, when Ukraine is actively developing an innovative economy, environmental challenges require rethinking traditional economic approaches and the role of the state. This means that environmental policy should become not just a set of measures, but a comprehensive system aimed at: increasing the well-being of society; improving the quality of life; rational use of natural resources. It is emphasized that environmental protection measures should be taken into account at all stages of highway construction, starting from research and design, ending with the procurement of materials, their transportation, construction and installation works and quality control of the condition of roads. Both highways and vehicles, depending on many factors, can cause harm to the environment both over a long and short period of time. The article focuses on the impact of highways. The modern approach to road construction is being improved, which involves taking into account ecological and economic aspects, which allows balancing the needs of development with environmental protection.

Conclusions. The proposed ways to achieve a balance of rational, ecologically sound road construction through ecologically sound design, environmental impact assessment, environmental monitoring, and public involvement are aimed at sustainable, balanced ecological and economic development of the road sector.

The main ecologically oriented measures in the road construction and road transport sectors have been developed and will contribute to achieving the set goal.

Keywords: road construction, ecological and economic aspects, environmental protection, ecological monitoring.

УДК 625.7/.8

Цинка А. О., канд. техн. наук, <http://orcid.org/0000-0002-0357-2325>Ілляш С. І., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-3001-8012>Зеленовський В. А., <https://orcid.org/0000-0001-5834-5456>Райковський В. Ф., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-6391-7647>

Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»),
м. Київ, Україна

АНАЛІЗУВАННЯ РАДІУСІВ ПОВОРОТУ LHV (ТРИЛАНКОВИХ АВТОПОЇЗДІВ ТИПУ EUROCOMBI) ІЗ ЗАГАЛЬНОЮ ДОВЖИНОЮ ПОНАД 25 м

Анотація

Вступ. У статті розглядається питання щодо аналізування технічних параметрів автопоїздів типу EuroCombi (габаритних розмірів, навантаг на конструкцію дорожнього одягу і транспортні споруди тощо) та встановлення можливості їх руху автомобільними дорогами державного.

Метою роботи є аналізування досвіду використання великогабаритних і великовагових транспортні засоби (габаритних розмірів, навантаг на конструкцію дорожнього одягу і транспортні споруди тощо) з можливості їх руху автомобільними дорогами державного значення.

Матеріали та методи. Методологічною основою виступає науковий підхід до аналізу питань дослідження шляхом використання статистичного, формально-логічного та комплексного методів дослідження. Джерелами дослідження є дані виконаних наукових робіт і чинних нормативних документів

Результат. З метою впровадження сучасних методів проєктування автомобільних доріг із використанням транспортних засобі із загальною довжиною понад 25 м, виконано аналізування параметрів радіуса повороту (внутрішній, зовнішній та довжина шляху) та їх вплив на планування маршруту.

Висновки. Проведені дослідження можна використовувати під час проєктування нових автомобільних доріг державного значення, адаптування існуючої дорожньої інфраструктури (радіуси повороту на примиканням та перехрещеннях), а також як допомога логістам під час планування маршрутів LHV (триланкових автопоїздів типу EuroCombi) для забезпечення безпечного їх проїзду / маневрування за маршрутом слідування.

Ключові слова: автомобільна дорога, LHV (триланкових автопоїздів типу EuroCombi), EMS (European Modular System), директива ЄС, маневреність, радіус.

Вступ

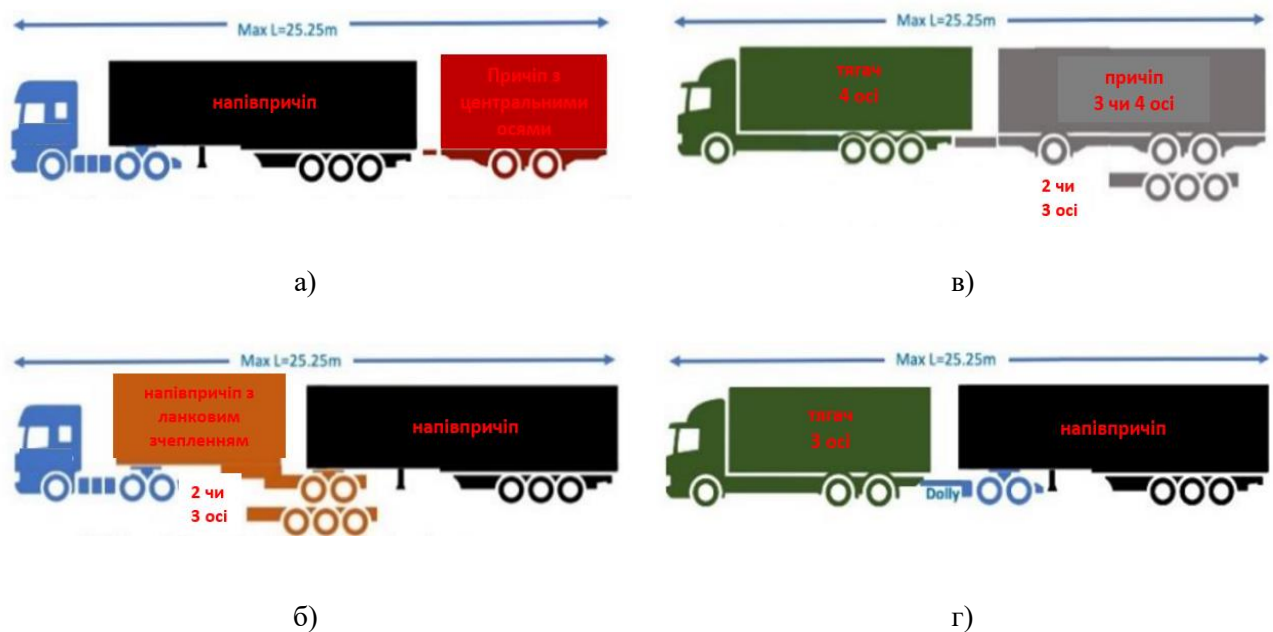
У багатьох країнах використання вантажних автомобілів більшої вантажопідйомності LHV розглядається як спосіб оптимізації вантажних автомобільних перевезень. Основна передумова полягає в тому, що два LHV довжиною понад 25 м і важопідйомністю 60 т можуть замінити три існуючі 44-тонні вантажівки (тягач + причіп / сідельний тягач + напівпричіп), що значно зменшує витрати на перевезення вантажу. Досвід Європейських країн свідчить про те, що використання LHV значно покращує економічні, екологічні фактори та безпеку учасників дорожнього руху.

Виклад основного матеріалу

Аналізування радіусів повороту LHV із загальною довжиною понад 25 м є важливим для оцінювання його маневрових характеристик, впливу на дорожню інфраструктуру та безпеку дорожнього руху. Основні аспекти аналізування включають геометричні характеристики LHV, типові радіуси повороту, вплив на дорожню інфраструктуру та можливі обмеження.

Зона повороту — це траєкторія руху, яка необхідна для виконання повороту транспортним засобом або комбінацією транспортних засобів. Величина радіуса повороту залежить від конструкції транспортного засобу, особливо від відстані між осями і кількості шарнірних зчленувань. Згідно з директивою ЄС 96/53 [1], будь-який транспортний засіб або комбінація транспортних засобів повинні мати можливість розвертатися в межах кола із зовнішнім радіусом до 15 м і внутрішнім радіусом 5,3 м, що відповідає середній довжині шляху 7,2 м — окремі транспортні засоби, задіяні в EMS (European Modular System), або комбінація транспортних засобів повинна відповідати цьому критерію.

У всьому світі існує величезний вибір транспортних засобів різної ваги, габаритів та конфігурацій які довші і важчі, ніж дозволені в даний час транспортні засоби у відповідності до правил дорожнього руху [2–4]. У країнах Європи та деяких країн світу розглядаючи лише транспортні засоби довжиною 25,25 м, основні конфігурації можуть бути описані чотирма схемами, визначеними як прийнятні в ранніх проведених випробуваннях в Нідерландах (рис. 1). В рамках Європейської модульної системи (EMS, як визначено Директивою 96/53/ЄС) виділяють схему B-Double [5] — стандартна комбінація сідельного тягача з максимальною довжиною та напівпричепом (рис. 1 Б), а також вантажівка з жорсткою рамою, що буксирує два коротших причепа з дишлом (рис. 1 Г), які набувають широкого застосування та впровадження.



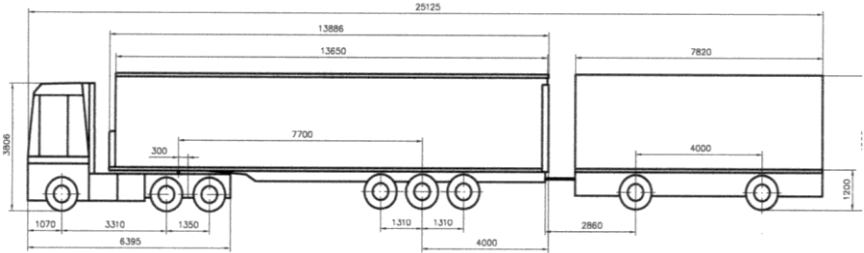
- а) сідельний тягач + напівпричіп + причіп з центральними осями;
- б) сідельний тягач + напівпричіп з ланковим зчепленням + напівпричіп (B-Double);
- в) тягач + причіп;
- г) тягач + підкатний візок + напівпричіп.

Рисунок 1 — Схеми комбінацій модульних систем транспортних засобів LHV

За даними статті 4,4b в Директиві 96/53 фактично дозволено використання триланкових транспортних засобів LHV за модулями, наведеними на **рис. 2**.

Характеристики основних складових комбінації LHV типу MAN TGX 26 6X2 LL

Фахівцями ДП «НІРІ» виконано аналізування графічних даних, наданих замовником щодо параметрів автопоїзду типу EuroCombi за схемою MAN TGX 26 6X2 LL + DOLLY MAXI 180 + SWAP TRAIN. За його результатами аналізування встановлено що заявлена довжина триланкового автопоїзду типу EuroCombi становить 25,96 м (**рис. 3**).



Модуль А—Комбінація сідельного тягача+напіпричепу з зчіпкою + напівпричепу [6]

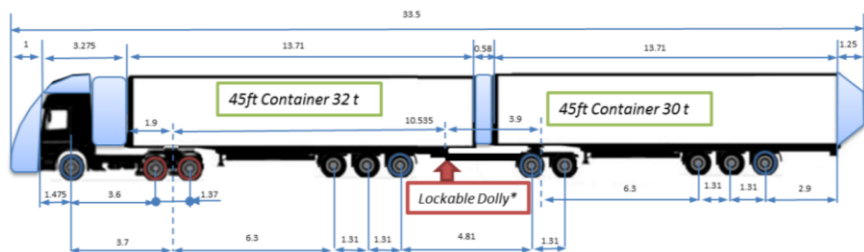
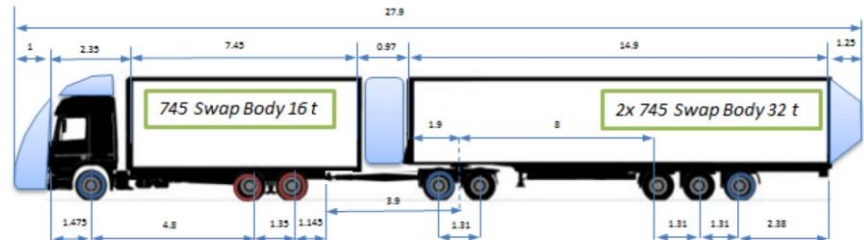
**Модуль Б** — Комбінація сідельного тягача + підкатного візка + напівпричепу**Модуль Г—Комбінація тягача + підкатний візок + напіпричіп**

Рисунок 2 — Геометричні параметри по довжині комбінацій модульних систем транспортних засобів LHV

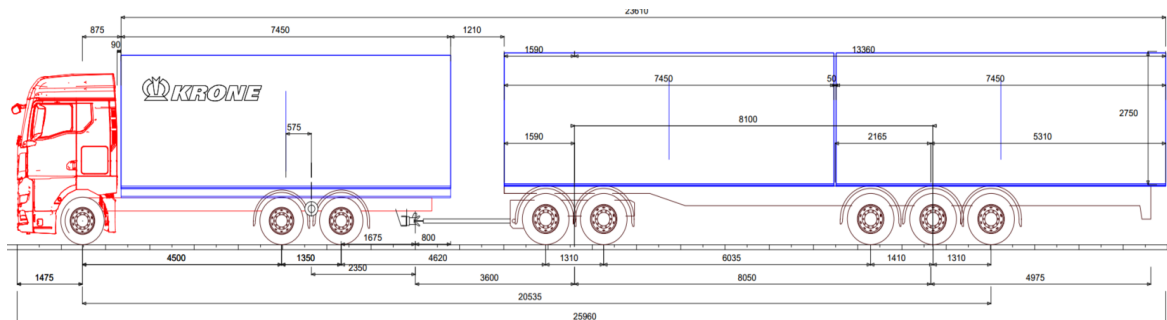


Рисунок 3 — Геометричні параметри по довжині LHV

За наданими досліджень щодо автопоїзду типу EuroCombi за схемою MAN TGX 26 6X2 LL + DOLLY MAXI 180 + SWAP TRAIN визначено такі характеристики основних складових:

- тягач із трьома осями (MAN TGX 26 6X2 LL) де задні дві осі є ведучими. Залежно від конфігурації ця модель може мати різні параметри радіуса повороту, проте для типового вантажного тягача з трьома осями радіус повороту складає близько (8 – 12) м;

- підкатний візок з двома осями (DOLLY MAXI 180), що забезпечує додаткову маневреність. Дозволяє з'єднувати тягач із напівпричепом, але підвищує загальну довжину автопоїзда та загальний радіус повороту;

- напівпричіп (SWAP TRAIN) довжиною 15 м з трьома осями робить значний внесок у довжину автопоїзда і збільшує радіус повороту.

За даними досліджень встановлено фактичні радіуси руху LHV під час розвороту:

- радіус повороту тягача без додаткового обладнання — (8 – 12) м;

- загальний радіус повороту автопоїзда з підкатним візком DOLLY MAXI 180 / SWAP TRAIN — (15 – 22) м;

- використання підкатного візка та напівпричепа збільшує радіус повороту;

- під час повороту радіус визначається передусім тягачем, але збільшена довжина автопоїзда вимагає більше простору для повного розвороту;

- під час розворотів у стандартних умовах (наприклад, на перехрещенні або в промисловій зоні), йому може знадобитись до (25 – 30) м простору для безпечного маневрування.

За даними досліджень на радіус повороту LHV впливають наступні чинники:

- довжина автопоїзда — загальна довжина автопоїзда, яка перевищує 25 м, суттєво впливає на радіус повороту. Чим довший автопоїзд, тим більший радіус;

- конфігурація осей — наявність трьох осей на тягачі та трьох осей на напівпричепі підвищує стійкість, але зменшує маневреність. Осьові навантаження також впливають на розподілення маси та маневреність;

- підкатний візок — має обмежену можливість повороту, що також збільшує радіус повороту.

Обмеження використання LHV на автомобільних дорогах:

- значна довжина та кількість осей можуть ускладнити управління LHV під час повороту, особливо на вузьких дорогах або за низької видимості;

- використання LHV довжиною понад 25 м потребує спеціальних дозволів та обмежене лише певними маршрутами;

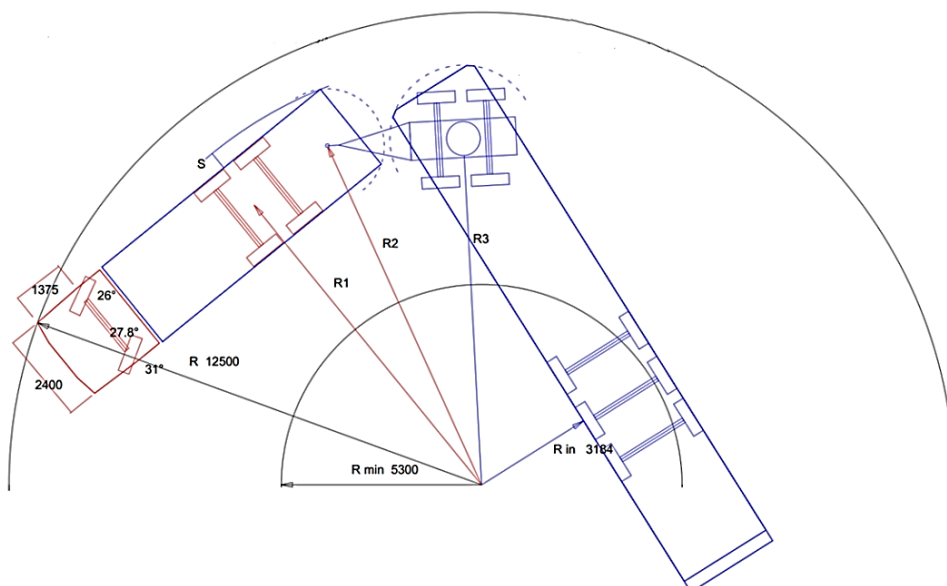
- під час планування маршруту необхідно оцінювати чинники безпеки руху, урахувати можливі ризики під час маневрування на вузьких дорогах, особливо на перехрещеннях і крутих поворотах.

Аналізування компоувальних схем сучасних триланкових автопоїздів, побудованих за модульним принципом, показує, що будь-яка компоувальна схема може бути зведена до схеми з напівпричепом на підкатному візку.

Для забезпечення необхідних показників маневреності кожен елемент автопоїзда повинен вписуватись у коло з внутрішнім радіусом 5,3 м і зовнішнім — 12,5 м (рис. 4). Визначення дійсних радіусів повороту здійснено аналітичним шляхом і базується на математичних моделях.

За результатами досліджень [7 – 11] встановлено, що у разі найбільш типового повороту на 90° автопоїзд на підкатному візку DOLLY MAXI 180 задовольняє вимогам за габаритами смуги руху, проте на усталеній круговій траєкторії, за обраних передаточних відношень приводів управління, не задовольняє вимогам DIRECTIVE 2002/7/EC [18].

За результатами досліджень нідерландських колег встановлено, що збільшення зовнішнього радіуса від 13,3 м до 14,5 м полегшує розворот, внутрішнього радіуса від 5,3 м до 6,5 м — зменшує шлях розвороту. Це ті самі показники, які вже використовуються в різних країнах, для «виняткових перевезень», особливо для кільцевих розв'язок малого радіуса [12 – 15]. Відповідні дослідження показників маневреності автопоїзда були виконані в Україні науковцями Національного транспортного університету [16, 17].



MAN TGX 26.XXX 6x2-2 LL WB D1556 Euro 6 LL/GM 4500+1350

S — габарит зсуву заднього кута автомобіля-тягача, верхня підйомна вісь = 640 мм : макс. 1 000 мм;

R — відстань до зовнішніх коліс керованої осі;

R1 — відстань до центру тягової осі;

R2 — відстань до центру зчіпного пристрою;

R3 — відстань до центру підкатного візка, 12 500 мм;

R in — відстань до внутрішньої осі напівпричепи.

Рисунок 4 — Мінімальні радіуси повороту LHV

Аналізування фактичних радіусів заокруглень на транспортних розв'язках у різних рівнях

За маршрутом слідування автомобільною дорогою державного значення М-05 Київ — Одеса передбачається рух автопоїзду типу EuroCombi за схемою MAN TGX 26 6X2 LL + DOLLY MAXI 180 + SWAP TRAIN, зокрема по:

- дворівневій транспортній розв'язці типу «лист Конюшини» у м. Одеса;
- транспортній розв'язці «Жулянський шляхопровід» у м. Київ.

На **рис. 5 – 7** наведено схеми руху по транспортних розв'язках та радіуси заокруглень.

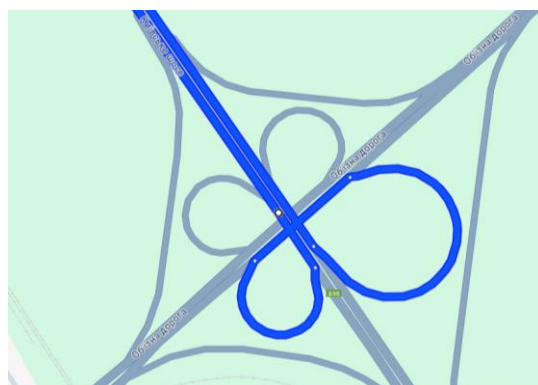


Рисунок 5 — Схема руху по дворівневій транспортній розв'язці типу «лист Конюшини» у м. Одеса

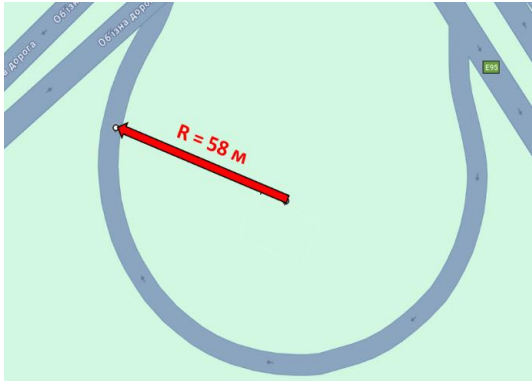


Рисунок 6 — Радіус заокруглення правоповоротного заїзду та з'їзду на дворівневу транспортну розв'язку типу «лист Конюшини» у м. Одеса

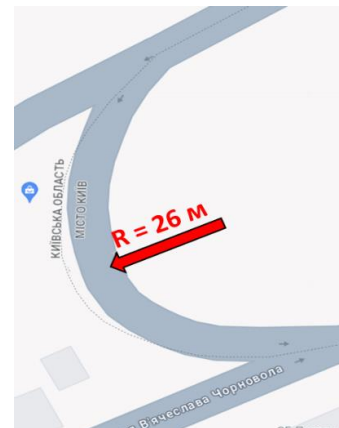
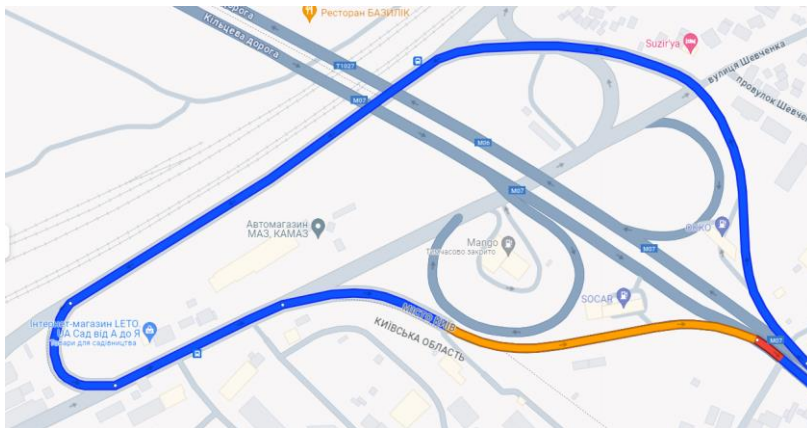


Рисунок 7 — Схема руху по транспортній розв'язці «Жуляньський шляхопровід» та мінімальний радіус лівоповоротного проїзду

Висновки

За результатами аналізування матеріалів можна зробити такі висновки:

- аналізування радіусів повороту LHV довжиною понад 25 м показує, що їх використання вимагає адаптованої дорожньої інфраструктури з більшими радіусами на перехрещеннях і достатньої ширини проїзної частини;
- у багатьох країнах Європи LHV можуть використовуватись лише на спеціально визначених маршрутах, де інфраструктура дозволяє безпечне маневрування;
- для забезпечення необхідних показників маневреності кожен елемент LHV повинен вписуватись у коло з внутрішнім радіусом 5,3 м і зовнішнім радіусом — (12,5 – 14,87) м;
- під час планування маршрутів руху LHV потрібно урахувати особливості дорожньої інфраструктури, що дозволяє безпечний їх проїзд, зокрема маневрування;
- водії повинні бути спеціально навчені керуванню LHV, щоб уникати аварійних ситуацій під час виконання складних маневрів.

Встановлено, що радіуси заокруглень на транспортних розв'язках задовольняють мінімальні вимоги проїзду автопоїзду типу EuroCombi за схемою MAN TGX 26 6X2 LL + DOLLY MAXI 180 + SWAP TRAIN за маршрутом слідування автомобільною дорогою державного значення М-05 Київ – Одеса.

Під час руху зазначеного LHV по заокругленню на транспортній розв'язці «Жулянський шляхопровід» є засторога з точки зору безпеки руху, оскільки за такого малого радіуса можливий рух лише по двох смугах руху одночасно.

Список літератури

1. Директива Ради 96/53/ЄС від 25.07.1996 «Про встановлення для певних наземних транспортних засобів, що рухаються в межах Співтовариства, максимально дозволених розмірів при національних і міжнародних переміщеннях і максимально дозволеної ваги при міжнародних переміщеннях». URL: <https://restoration.gov.ua/4489/zvity/59572/59573.pdf> (дата звернення: 18.02.2025).
2. Про Правила дорожнього Постанова Кабінету Міністрів України: руху від 10.10.2001 № 1306 // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-%D0%BF#Text> . (дата звернення: 18.02.2025).
3. Про автомобільні дороги: Закон України від 08.09.2005 № 2862-IV, редакція від 17.10.2019 № 200-IX // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2862-15#Text> (дата звернення: 18.02.2025).
4. Про проїзд великогабаритних та великовагових транспортних засобів автомобільними дорогами, вулицями та залізничними переїздами. Постанова КМУ від 18.01.2001 № 30 (разом зі зміною, згідно з Постановою КМУ від 26.04.2024 № 457, URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/457-2024-%D0%BF#Text> (дата звернення: 18.02.2025).
5. Department for Transport. LHV Trial Feasibility Study. Final Report. URL: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/62fddfbdb3bf7f06e74a9df7/lhv-trial-feasibility-study.pdf> (дата звернення: 18.02.2025).
6. Department for Transport. LHV TRIALS LITERATURE REVIEW. Draft report v2.0. URL: <https://www.wsp.com/-/media/insights/uk/images/2022/report-lhv-trials-literature-review/lhvlitreviewdraftreportv20.pdf> (дата звернення: 18.02.2025).
7. Сахно, В. П., Поляков, В. М., Марчук, Р. М., & Гуменюк, П. О. (2015). Порівняльна оцінка маневреності триланкових автопоїздів. *Вісник ЖДТУ. Серія «Технічні науки»*, 2(3(62), С. 177–184 DOI: [https://doi.org/10.26642/tn-2012-3\(62\)](https://doi.org/10.26642/tn-2012-3(62)).
8. Шкварко К. В. Довгомірні триланкові автопоїзди – новий етап розвитку автомобільних перевезень в Україні на шляху до Європи. *Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів : наук. журнал*. К. : НТУ, ТАУ, 2003. Вип. 17. С. 146–152.
9. В. П. Сахно, П. О. Гуменюк, Р. М. Марчук. Маневреність та безпека руху триланкових автопоїздів різних компоновальних схем. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. 2011. Вип. 4.
10. Закин Я. Х. Маневренность автомобиля и автопоезда. М., 1986. 137 с.
11. European Modular System for road freight transport – experiences and possibilities URL: <https://unece.org/DAM/trans/wp24/wp24-presentations/documents/pres08-11.pdf> (дата звернення: 18.02.2025).
12. OECD/ITF (2011). Moving Freight with Better Trucks: Improving Safety, Productivity and Sustainability.
13. European Commission. (2017). Study on the Impacts of LHV on Road Safety and Environment in the EU (дата звернення: 18.02.2025).
14. Jensen, A. F., & Nielsen, O. A. (2012). Traffic safety of longer and heavier vehicles in mixed traffic. *Transport Research Arena 2012*. (дата звернення: 18.02.2025).
15. В. П. Сахно, Р. М. Глінчук, Р. М. Марчук, В. П. Онищук Маневреність триланкових автопоїздів типу «В-Double». *Проблеми автомобільного транспорту*. К. : НТУ, 2010. Вип. 7. С. 187–198.
16. DIRECTIVE 2002/7/EC of European parliament and of the council of 18 February 2002 amending Council Directive 96/53/EC of 25 July 1996 laying down for certain road vehicles circulating within the Community the maximum authorized dimensions in national and international traffic and the maximum authorized weights in international traffic Official Journal of the European Communities. 2002. No. L67/47–49 (дата звернення: 18.02.2025).

References

1. Dyrektyva Rady 96/53/JeS vid 25.07.1996 “Pro vstanovlennia dlia pevnykh nazemnykh transportnykh zasobiv, shcho rukhaiutsia v mezhakh Spivtovarystva, maksimalno dozvolenykh rozmiriv pry natsionalnykh i mizhnarodnykh peremishchenniakh i maksimalno dozvolenoj vahy pry mizhnarodnykh peremishchenniakh” (Council Directive 96/53/EC of 25.07.1996 laying down maximum dimensions for national and international movements and maximum weight for international movements for certain land vehicles moving) URL: <https://restoration.gov.ua/4489/zvity/59572/59573.pdf> (data zvernennia: 18.02.2025) [in Ukrainian].
2. Pro Pravyla dorozhnoho Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy: rukhu vid 10.10.2001 No. 1306 // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy (On the Rules of the Road Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine) / Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-%D0%BF#Text> (data zvernennia: 18.02.2025) [in Ukrainian].
3. Pro avtomobilni dorohy: Zakon Ukrainy (On Automobile Roads: Law of Ukraine) vid 08.09.2005 No. 2862-IV, redaktsiia vid 17.10.2019 No. 200-IKh // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2862-15#Text> (data zvernennia: 18.02.2025) [in Ukrainian].
4. Pro proezd velykohabarytnykh ta velykovahovykh transportnykh zasobiv avtomobilnymy dorohamy, vulytsiamy ta zaliznychnymy pereizdamy (On the Passage of Large and Heavy Vehicles on Highways, Streets and Railway Crossings. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine). Postanova KMU vid 18.01.2001 No. 30 (razom zi zmoiniu, zghidno z Postanovoiu KMU vid 26.04.2024 No. 457. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/457-2024-%D0%BF#Text>. (data zvernennia: 18.02.2025) [in Ukrainian].
5. Department for Transport. LHV Trial Feasibility Study. Final Report. URL: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/62fddfbdb3bf7f06e74a9df7/lhv-trial-feasibility-study.pdf> (date of application 18.02.2025) [in English].
6. Department for Transport. LHV TRIALS LITERATURE REVIEW. Draft report v2.0. URL: <https://www.wsp.com/-/media/insights/uk/images/2022/report-lhv-trials-literature-review/lhvlitreviewdraftreportv20.pdf> (date of application 18.02.2025) [in English].
7. Sakhno, V. P., Poliakov, V. M., Marchuk, R. M., & Humeniuk, P. O. (2015). Porivnialna otsinka manevrenosti trylankovykh avtopoizdiv (Comparative assessment of maneuverability of three-link road trains.). *Visnyk ZhDTU. Seriya “Tekhnichni nauky”*, 2(3(62), P. 177–184. DOI: [https://doi.org/10.26642/tn-2012-3\(62\)](https://doi.org/10.26642/tn-2012-3(62)) [in Ukrainian].
8. Shkvarko K. V. Dovhomirni trylankovi avtopoizdy – novyi etap rozvytku avtomobilnykh perevezen v Ukraini na shliakhu do Yevropy (Long-distance three-link road trains – a new stage in the development of road transportation in Ukraine on the way to Europe). *Systemni metody keruvannia, tekhnolohiia ta orhanizatsiia vyrobnytstva, remontu i ekspluatatsii avtomobiliv : nauk. zhurnal. K. : NTU, TAU, 2003. Vyp. 17. P. 146–152* [in Ukrainian].
9. V. P. Sakhno, P. O. Humeniuk, R. M. Marchuk. Manevrenist ta bezpeka rukhu trylankovykh avtopoizdiv riznykh komponovalnykh skhem (Maneuverability and safety of three-link road trains of different layout schemes). *Visnyk Donetskoi akademii avtomobilnoho transportu*. 2011. Vyp. 4 [in Ukrainian].
10. Zakyn Ya. Kh. Manevrennost avtomobylia y avtopoezda (Maneuverability and safety of three-link road trains of different layout schemes). M., 1986. 137 p. [in Ukrainian].
11. European Modular System for road freight transport – experiences and possibilities (European Modular System for road freight transport – experiences and possibilities) URL: <https://unece.org/DAM/trans/wp24/wp24-presentations/documents/pres08-11.pdf> (data zvernennia: 18.02.2025) [in Ukrainian].
12. OECD/ITF (2011). Moving Freight with Better Trucks: Improving Safety, Productivity and Sustainability (date of application 18.02.2025) [in English].
13. European Commission. (2017). Study on the Impacts of LHV on Road Safety and Environment in the EU (date of application 18.02.2025) [in English].

14. Jensen, A. F., & Nielsen, O. A. (2012). Traffic safety of longer and heavier vehicles in mixed traffic. Transport Research Arena 2012. (date of application 18.02.2025) [in English].

15. V. P. Sakhno, R. M. Hlinchuk, R. M. Marchuk, V. P. Onyshchuk Manevrenist trylankovykh avtopoizdiv typu "B-Double" (Maneuverability of three-link road trains of the "B-Double" type). *Problemy avtomobilnoho transportu*. K. : NTU, 2010. Vyp. 7. P. 187–198 [in Ukrainian].

16. DIRECTIVE 2002/7/EC of European parliament and of the council of 18 February 2002 amending Council Directive 96/53/EC of 25 July 1996 laying down for certain road vehicles circulating within the Community the maximum authorized dimensions in national and international traffic and the maximum authorized weights in international traffic. // Official Journal of the European Communities. 2002. No. L67/47–49 [in English].

Anatolii Tsynka, Ph.D., <http://orcid.org/0000-0002-0357-2325>

Sergii Illiash, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-3001-8012>

Volodymyr Zelenovskiy, <https://orcid.org/0000-0001-5834-5456>

Vitaliy Raykovskiy, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-6391-7647>

State Enterprise «National Institute for Development Infrastructure» (SE «NIDI»), Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF TURNING RADII OF LHV (THREE-LINK EUROCOMBI TRAINS) WITH A TOTAL LENGTH OF MORE THAN 25 m

Abstract

Introduction. The article deals with the issue of analyzing the technical parameters of EuroCombi road trains (overall dimensions, loads on the road pavement structure and transport facilities, etc.) and establishing the possibility of their movement on the state highway.

The objective of the study is to analyze the experience of using large and heavy-goods vehicles (overall dimensions, loads on the pavement structure and transport facilities, etc.) with the possibility of their movement on roads of national importance.

Materials and methods. The methodological basis is a scientific approach to the analysis of research issues questions through the use of statistical, formal and logical, and complex research methods. The sources of research are the data of completed scientific works and current regulatory documents.

Results. In order to introduce modern methods of designing roads using vehicles with a total length of more than 25 m, the parameters of the turning radius (internal, external and path length) and their impact on route planning were analyzed.

Conclusions. The conducted research will be used in the design of new roads of national importance, adaptation of existing road infrastructure (turning radii at junctions and intersections), and will also help logisticians in planning LHV routes (three-link road trains of the EuroCombi type) to ensure their safe passage / maneuvering along the route.

Keywords: highway, LHV (three-link road trains of the EuroCombi type), EMS (European Modular System), EU directive, maneuverability, radius.

UDC 625.7/.8

Diana Bardhi¹, Ph.D., <https://orcid.org/0009-0002-6958-7770>

Altin Seranaj², Ph.D., <https://orcid.org/0009-0003-5511-1445>

László Gáspár³, D.Sc., Prof., <https://orcid.org/0000-0002-0574-4100>

Zsolt Bencze⁴, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0003-2130-7864>

¹Department of Civil Engineering and Architecture, Metropolitan Tirana University, Tirana, Albania;

²Department of Building Constructions and Transport Infrastructure, Polytechnic Tirana University, Tirana, Albania;

³Széchenyi István University, Faculty of Civil Engineering, Győr, Hungary, and KTI Hungarian Institute for Transport Sciences and Logistics Non-Profit Ltd., Budapest, Hungary;

⁴KTI Hungarian Institute for Transport Sciences and Logistics Non-Profit Ltd., Budapest, Hungary

REVIEW OF ROAD PAVEMENT PERFORMANCE IN VARIOUS COUNTRIES

Abstract

Introduction. High quality and durable highway pavements are one of the preconditions for the efficient road traffic in every country.

Problem Statement. The high-level and scientific design, construction, maintenance, and rehabilitation of pavement structures — pavement management — can be taken as an important task of road owners — and in the case of state-owned roads, it is directly an obligation. An important subsystem of road asset management comprises several technical tools as pavement management systems (PMSs). Pavement performance models are an essential component of a PMS and have a direct impact on future pavement condition. Pavement structural design is always a rather responsible and hard task since it is obvious that the designer must forecast (predict) — using preferably scientifically based methodologies — the performance of pavement structures to be built in the future. The reliability of this forecast, of course, mainly depends on the accuracy of the design inputs applied. The complexity of the issue can already be characterized by the fact that, at least, traffic, environmental, raw material, construction, maintenance-rehabilitation, operation-related and financial parameters should be considered in the prediction of pavement performance (expected lifetime) during the design (selection) of optimum pavement structural variant. (The interrelationship of these influencing parameters just makes the situation even more complicated.

Purpose. The main aim of the article is to present various aspects of pavement performance in Hungary and Albania.

Materials and Methods. The paper outlines the role (the significance) of pavement performance models in the road asset management, especially in the scientifically based pavement structural design, pointing out the related challenges. After giving a short worldwide review of the topic, the presentation of the special theoretical and practical experiences on pavement performance models in two European countries (Hungary and Albania) are summarized, as case studies.

Results. At the end of the article, some conclusions are drawn, and several proposals are made on the creation and the utilization of pavement performance models including the high significance of a successful road asset management on national economy level; the importance of a scientifically based PMS in increasing the economy of road transport; the direct impact of pavement performance models on future pavement condition, as a major influencing factor of road traffic efficiency; the supporting role of Performance-based Maintenance and Safety Improvements to high volume roads performed in Albania can significantly support to medium-term road management decisions.

Keywords: road pavement, pavement management system, pavement performance model, Hungarian road management, Albanian road management.

Introduction

Pavement structural design is always a rather responsible and hard task since it is obvious that the designer must forecast (predict) — using preferably scientifically based methodologies — the performance of pavement structures to be built in the future. The reliability of this forecast, of course, mainly depends on the accuracy of the design inputs applied. The complexity of the issue can already be characterized by the fact that, at least, traffic, environmental, raw material, construction, maintenance-rehabilitation, operation-related and financial parameters should be considered in the prediction of pavement performance (expected lifetime) during the design (selection) of optimum pavement structural variant. (The interrelationship of these influencing parameters just makes the situation even more complicated). Of course, the actual pavement design techniques are worldwide quite different from each other, there are some typical groups of performance forecast: standardized structures (e.g., in Germany), computerized models, laboratory tests, accelerated loading, road section monitoring. After country-wide co-ordination, this latter one — monitoring — can result in the development of pavement performance models for the roads of the country in question, the most reliable tool of pavement design [1].

The paper outlines the role — the significance — of pavement performance models in the road asset management, especially in the scientifically based pavement structural design, pointing out the related challenges. After giving a short worldwide review of the topic, the presentation of the special theoretical and practical experiences on pavement performance models in two European countries are summarized, as case studies. Finally, some conclusions are drawn, and several proposals are made on the creation and the utilization of pavement performance models.

Role (use) of pavement performance models

As it is well-known pavement performance modelling constitutes an essential part of pavement management system (PMS), since it aims at efficiently predicting the need for maintenance, rehabilitation, or reconstruction of the road pavement, as well as its future deterioration process [2]. If the prediction accuracy of the estimation methods was considerably enhanced, it would obviously result in a more productive allocation of the financial resources, significant savings in costs, and improving the identification of different maintenance techniques.

The present and the predicted future condition of the road, as well as the knowledge about the actual condition improving effect of pavement maintenance treatments can be considered as important information s of road management systems including pavement management system.

Pavement performance modelling or pavement deterioration modelling is the study of pavement deterioration throughout its whole. The actual condition state of road pavement is assessed using various performance indicators. Some of the most well-known performance indicators as Pavement Condition Index (PCI), and Present Serviceability Index (PSI) are complex ones but single distresses such as unevenness characterized by International Roughness Index (IRI), rutting or the extent of surface defects are also used. Among the most frequently used methods for pavement performance modelling are mechanistic models, mechanistic-empirical models, survival curves and Markov models. Recently, machine learning algorithms have been used for this purpose as well.

The wide variety of methodologies suggested for the forecast of pavement performance measures can be either deterministic or stochastic. These methods have different model development concept, model formulation, and output format [3]. The deterministic approach in pavement performance modelling includes mechanistic models, mechanistic-empirical models, and regression models [4].

The general form of deterministic models can be formulated as follows (3):

$$PCS_t = f(P_0, ESAL_{st}, H_e \text{ or } SN, M_R, C, W, I), \quad (1)$$

where PCS_t — is the generalized pavement condition state (PCS) at year t ;
 P_0 — is the initial pavement condition state;
 $ESAL_{st}$ — is the accumulated equivalent single axle loads ($ESAL_s$) applications at age t ;
 H_e — is the total equivalent granular thickness of the pavement structure;
 SN — is the structural number index of total pavement thickness;
 M_R — is the subgrade soil resilient modulus;
 W — is the set of climatic or environmental effects;
 I — is the interaction effects of the preceding effects, and C is the set of construction effects.

The mechanistic models include the analysis of time-series pavement condition data, and consider parameters such as surface deflection, stress, or strain in the pavement performance model.

Due to the combined effects of various factors such as materials, traffic load, and environment, pavements generally deteriorate over time, which may affect road safety and cause additional user costs. That is why timely and suitable maintenance and rehabilitation treatments are necessary to improve pavement performance and extend its service life. As an essential component in pavement maintenance and rehabilitation decision-making, pavement performance models can help pavement managers predict future pavement conditions, select reasonable maintenance activities, and determine appropriate maintenance timing. Thus, a reliable pavement performance model that can accurately predict pavement performance is one of the preconditions for creating effective pavement management systems. Pavement performance models mainly describe the relationship between pavement performance and its influencing factors and can be used to explore the deterioration process and predict future pavement conditions. Generally, pavement performance models can be divided into three basic types: mechanistic models, empirical models, and mechanistic-empirical models [8]. Mechanistic models are usually based on mechanistic principles and analyse pavement responses to stresses, strains, and deflections. Empirical models mainly rely on observed data to explore the relationship between pavement performance and various influencing factors. Mechanistic-empirical models combine mechanistic principles and empirical analysis to study the relationship between response parameters and pavement performance. Empirical models are more commonly used in pavement management than the other two groups [1].

The development and the features of pavement performance models have been identified worldwide as a hot topic in the field of pavement management.

International survey in the field

Several pavement performance measures such as fatigue cracking, thermal (transverse) cracking, and IRI, for flexible and rigid pavements are estimated using mechanistic theories, and guides are presented in the Applied Research Associates Inc. [5]. For example, Saleh et al. [6] proposed a mechanistic longitudinal unevenness (in the USA roughness) model relating this pavement condition parameter with the asphalt layer thickness, number of load repetitions, and axle load. The model is based on the finite element structural analysis and estimates the change of surface roughness for each load repetition. The model is formulated as follows [6]:

$$IRI = -1.415 + 2.923\sqrt{IRI_0} + 0.00129\sqrt{ESAL_S} + 0.000113T - 5.485 \cdot 10^{-10}T\sqrt{ESAL_S} + 5.777 \cdot 10^{-12}P^4\sqrt{ESAL_S}, \quad (2)$$

where IRI_0 — the initial roughness;

P — axle load;

T — asphalt thickness, and $ESAL_S$ number of load repetitions.

The mechanistic-empirical models usually concentrate on the relationship between roughness, cracking, and traffic loading. For example, Queiroz, in a study of flexible pavements [7], developed mechanistic-empirical models based on linear elasticity as an important constitutive relationship for the pavement materials investigated. Their results showed horizontal tensile stress, strain, and strain energy at the bottom of the asphalt layer. George et al. [4] created empirical-mechanistic performance models for the highways in an American state based on pavement condition data. These performance models were evaluated based on the rational formulation, behaviour of the models, and statistical parameters. It was found that the exponential and power functions of both concave and convex shapes happened to be the statistically significant functions.

Linear and non-linear regression models consider the associations between performance parameters such as riding comfort index, and the predictive parameters such as pavement thickness, material properties, and traffic loading [3]. These models have been extensively used earlier to estimate factors influencing pavement condition parameters (PCI, PSI, etc.). AASHO developed a model [8] for estimating the number of

equivalent single axle loads applications; the independent variables in this model were subgrade strength, material properties and thicknesses of pavement structural layer, as well as environmental factors. World Bank experts [9] developed models to estimate roughness and distress (cracking, rutting, etc.) on flexible pavements for The Highway Design and Maintenance Standards as a function of subgrade strength, environmental factors, traffic load and time.

Nonlinear regression models (e.g., power function) have also been used for project design [10, 11]. Chan et al. [12] utilised data collected in an American state and used a regression model for the estimation of a power curve of the PCR; it is based on the age of pavement. Experts of Nevada state [13] created nine flexible pavement performance models, which modelled PSI as a function of material properties, traffic load and environmental factors.

Indiana researchers [14] developed models for the simultaneously prediction of change in performance and maintenance occurrence (i.e., decision to perform maintenance) as a function of traffic size and pavement age. A two-stage modelling scheme was applied.

Prozzi et al. [15] selected multivariate regression to estimate pavement riding quality (as a function of pavement longitudinal unevenness) utilizing mainly field data. Ramaswamy et al. [16] developed a model for Present Serviceability Index and three maintenance parameters, as sand seal maintenance, crack filling and chip sealing; besides, they also considered the issue of endogeneity. Madanat et al. [17] used probit models for the prediction of the deterioration of various bridge decks; at the same time, they accounted for panel data effect using random-effects model. It was shown that taking into consideration the heterogeneity coming from the panel effect results in an improved estimation accuracy. Prozzi and Hong [18] used seemingly unrelated regression estimation (SURE) model to estimate IRI and pavement rut depth while accounting for the correlation between the two parameters.

Other types of regression-based models used in pavement deterioration modelling include time series regression [19] stochastic duration models [20, 21], joint discrete-continuous models [22], and nonlinear mixed effects models [23, 24].

The deterministic approaches applied extensively have some limitations, since these models cannot explain [3]:

- a) randomness of traffic loads and environmental conditions;
- b) the difficulties in quantifying the factors influencing substantially pavement deterioration;
- c) the measurement errors connected with pavement condition, and the bias coming from subjective pavement condition evaluations.

The probability-based pavement performance models (e.g. Markov probabilistic modelling options) can be considered as alternatives to the deterministic models, which do not provide probabilistic distributions of the existing values.

Typically, a stochastic model of pavement performance curve is represented by the Markov transition process, with full information about the “before” state of pavement, the Markov process predicts the “after” state [3 – 4]. This model initially transforms the pavement condition ratings into discrete condition states. Then, it defines a transition-probability matrix (TPM) to determine the probabilities that a pavement remains in the current state or changes to another one in the future. In general, both historical data and engineering judgments can be used to estimate the transition probabilities. For example, Wang et al. [25] developed the Markov transition-probability matrices for the roads of an American state and Gáspár for the Hungarian public highway network [26] by using a comprehensive set of measured pavement performance historical data with various initial pavement condition states.

Markov transition method is extremely useful for highway network level applications where historical databases and reliable regression equations are not available (for example [27, 28]). One of the main advantages of Markov models is that they use different distributions for the expected value of the dependent variable, which indicate the future performance on different sections and changes in performance regardless of time. The most important disadvantage is that no guidance is given to the actual causes for the condition deterioration of the road pavement in question, and that the transitional probabilities are not dependent on the

actual age of the pavement [27]. This approach was applied first in the network-level maintenance, rehabilitation, and reconstruction decision-making process. Some other examples of Markov chains and Bayesian statistics in determining pavement condition measures can be found in Butt et al. [29] and Hong and Prozzi [30].

Other stochastic models use the Bayesian decision model that combine prior knowledge and information from actual historical data when predicting posterior pavement condition deterioration estimates by investigating and evaluating the main statistical characteristic of the parameters considered. The model parameters in this method were taken as random variables [19, 28]. The main advantage of this approach over the traditional regression analysis is that no comprehensive historical database is required for this methodology.

Chinese scientists reviewed a high number of empirical methods used to develop pavement performance models [31]. Their paper classifies the empirical methods into traditional and adaptive modelling methods presenting and evaluating their main characteristics, strengths, and weaknesses. It was clearly shown by them that however traditional, comprehensive modelling methods generally can well incorporate both temporal and spatial characteristics of pavement performance but their interpretation capability based on machine learning techniques needs to be enhanced; the adaptive modelling methods can characterise actual pavement performance deterioration in a more accurate way but it would be still necessary to improve the setting of updating conditions and the evaluation of updating effects.

Justo-Silva et al. [32] showed a framework for the classification of pavement performance models: as a function of their formulation types, pavement performance models can be divided into deterministic models and probabilistic models; depending on the application levels of performance models, they can be project-level and network-level performance models; besides, as a function of dependent variables types, they can be global dependent variable models and parametric dependent variable models; if the types of independent variables are taken into account, absolute independent variable models and relative independent variable models could be distinguished. The bibliometric analysis in the field clearly shows that development of pavement performance models has been identified as a hot topic related to pavement management [33].

A high number of research works have been conducted on establishing empirical pavement performance models [34-36]. It is well-known that the deterioration of pavement performance deterioration is a rather complex process with dynamic changes; hence, the regular updating of pavement performance models is essential to incorporate interim changes. Due to the rapid development of science and technology, several advanced data collection technologies [37-39] and analysis methodologies [39-42] have been developed and introduced in pavement management of various countries. This process obviously enhances pavement condition inspection techniques and provides opportunities for updating the existing performance models. In addition to it, intelligent road management also puts forward requirements of adaptive updating of empirical performance models.

Hungarian case study

In Hungary, some road and system engineers started to develop the first versions of pavement systems in the early 1990's [43 – 44]. However, the first PMSs related to the Hungarian public highway network of some 32,000 km total length were based on Markov transition probability matrices, a concentrated and long-term research initiated in 1990, drew attention to the usefulness of pavement performance models also at the national level.

It is well-known that the pavement structural design is faced with the problem of which methods can be used to predict the future performance of pavement structures with acceptable reliability. In principle, there are five options in this field, as follows:

- standardised pavement structures;
- computer models;
- laboratory tests;
- accelerated loading;
- section monitoring.

Table 1 presents the time required and accuracy (reliability) of each option mentioned before.

Table 1

Some features of pavement design methodologies

Design option	Time required	Accuracy (reliability)
Standardised structure	minutes	minimal
Computer model	days	limited
Laboratory tests	weeks	still acceptable
Accelerated loading	months	high
Road section monitoring	decades	very high

Lifetime engineering is an emerging science originally developed for buildings, bridges, and industrial infrastructures in Finland in the late 1980's [45]. Since its principles proved to be useful for the project types mentioned before, an attempt was made in several countries to use (adapt) these principles to highways, actually to road asset management. In Hungary, the adaptation of lifetime engineering principles to road network started already in the 1990's [46]. The lifetime engineering takes for granted the reliability of the future performance forecast of the facilities concerned (e.g., road pavements). For this purpose, it was obvious for the road experts that scientifically based pavement performance models must be developed. That is why, the yearly monitoring of 60 trial sections of 500 m length chosen of the national highway network started already in 1991 [47]. The major goal of trial section monitoring is the development of pavement performance models, the average (typical) deterioration curves in a road category ("road section class") of specified "pavement structure type – traffic volume – subgrade strength" combination. The performance models of the road categories can be attained by putting regression curves on the points representing condition parameter levels as a function of time. (Similar curves are determined as a function of the traffic passed).

To evaluate the reliability of the performance models an alternative method was also initiated. The pavement structure of a representative — altogether 3000 km long — part of the Hungarian national highway network was identified using geo-radar technique by more than 1,600 sections. Since then, condition parameters (including unevenness, rut depth, load bearing capacity and surface defects) of these pavement sections (representing 10 % of the total network length) have been yearly evaluated. The map (**Figure 1**) shows the location of the 1,600 representative sections as well as the 60 trial road sections on the national road network [48].

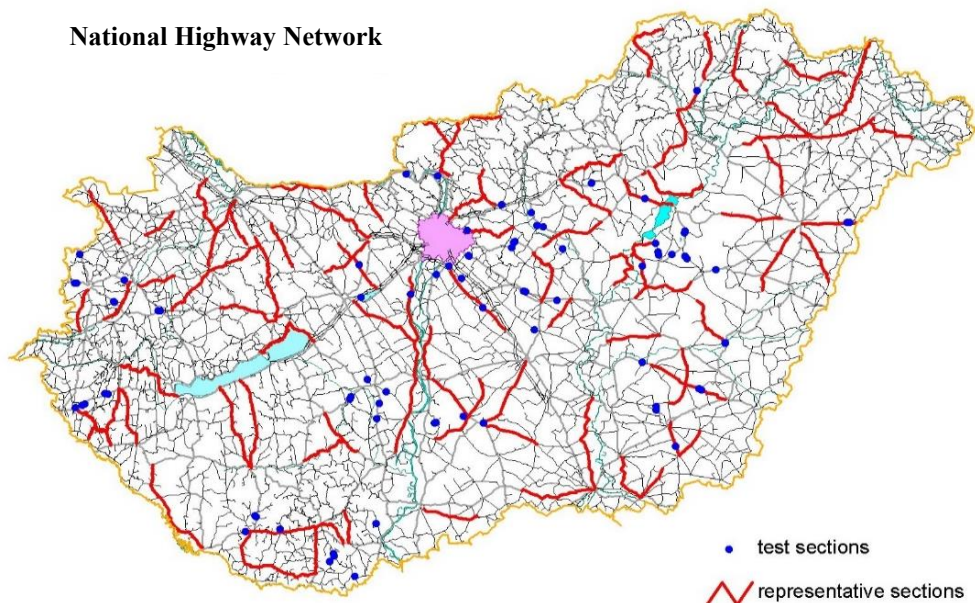


Figure 1 — The location of the Hungarian representative and trial sections

Based on the information coming from Hungarian National Road Data Bank, 14 road section classes were identified, which are typical for a considerable share of the 32,000 km-long Hungarian national highway network for its pavement structure, traffic size and subgrade soil strength [43]. Semi rigid, flexible and super-flexible (unbound base) pavement structure categories, three traffic categories (max 1500 pcu/day, 1501-3000 pcu/day, min 3001 pcu/day) and three environmental (subgrade soil strength) classes were considered. The realistic variants (combinations) of the parameters mentioned were represented by 3-5 trial sections to identify and to exclude the eventual outliers that cannot be considered at all as a representative of its road section class. (Box and Whiskers Plot [49] was applied to select and to exclude the outliers of the data series analysed). A point of a pavement performance model was calculated as the mean value of the 3-5 trial sections. A model point relates to a selected pavement condition parameter (e.g., rut depth) of a given road section class at a pavement age or traffic volume passed.

The more than two decades long data time series of the following condition parameters serve as the basis of the pavement performance models of 14 road section classes:

- unevenness (laser Road Survey Tester, RST);
- rut depth (laser RST);
- bearing capacity (KUAB Falling Weight Deflectometer);
- macro texture (laser RST);
- micro texture (laser RST);
- surface defects (Roadmaster, visually aided by a keyboard-type device).

The pavement performance models for each condition parameter have been developed as a function of traffic passed (in vehicle units) and pavement age (in years).

As an example, **Table 2** presents the performance models of a road section class. The function types applied in the development of the HDM-III model organised by the World Bank [46] were selected here for the condition parameters. (Exponential functions were chosen for unevenness and rut depth, while linear functions for the other condition parameters monitored). Age means the time passed after construction or past major maintenance and expressed in years. “Age” means in **Table 2** the time passed after construction or past major maintenance and expressed in years.

Table 2

Performance models of a road section class (certain pavement type, traffic volume and sub-grade strength) [45]

Condition parameter	Performance model as a function of	
	time	traffic
Bearing capacity	$E = 529 - 10 \text{ AGE}$	$E = 481 - 8 \text{ TRA}$
Unevenness	$\text{IRI} = \exp (1.76 + 0.16 \text{ AGE})$	$\text{IRI} = \exp (1.88 + 0.15 \text{ TRA})$
Rut depth	$\text{RD} = \exp (4.13 + 0.03 \text{ AGE})$	$\text{RD} = \exp (4.25 + 0.06 \text{ TRA})$
Micro texture	$\text{MI} = 0.22 - 0.004 \text{ AGE}$	$\text{MI} = 0.24 - 0.005 \text{ TRA}$
Macro texture	$\text{MA} = 0.39 - 0.02 \text{ AGE}$	$\text{MA} = 0.44 - 0.02 \text{ TRA}$
Surface defects	$\text{SD} = 2.46 + 0.06 \text{ AGE}$	$\text{SD} = 2.42 + 0.05 \text{ TRA}$

As it was already mentioned, these pavement performance models were changed (finetuned) every year during the monitoring period between 1991 and 2018 as a consequence of the inclusion of latest measuring results in the calculation. **Table 3** presents the yearly updating of a pavement performance model of a selected pavement condition parameter (this time, longitudinal unevenness, the American roughness) highlighting the “successive approximation” methodology of the Hungarian pavement performance modelling.

Table 3

Yearly pavement performance model updating of a condition parameter (example)

Condition parameter	Year	Model (age)	Model (traffic)
Longitudinal unevenness (roughness)	1996	IRI = 0,52.exp (0,002 KOR)	IRI = 0,47.exp (0,008 FORG)
	1997	IRI = 1,55.exp (0,01 KOR)	IRI = 1,56.exp (0,01 FORG)
	1998	IRI = 1,54.exp (0,01 KOR)	IRI = 1,55.exp (0,015 FORG)
	1999	IRI = 1,53.exp (0,01 KOR)	IRI = 1,58.exp (0,017 FORG)
	2000	IRI = 1,48.exp (0,015 KOR)	IRI = 1,51.exp (0,018 FORG)
	2001	IRI = 1,53.exp (0,016 KOR)	IRI = 1,52.exp (0,021 FORG)
	2002	IRI = 1,89.exp (0,025 KOR)	IRI = 1,56.exp (0,039 FORG)
	2003	IRI = 1,94.exp (0,023 KOR)	IRI = 1,55.exp (0,036 FORG)
Longitudinal unevenness (roughness)	2004	IRI = 1,97.exp (0,024 KOR)	IRI = 1,68.exp (0,031 FORG)
	2005	IRI = 1,98.exp (0,026 KOR)	IRI = 1,69.exp (0,030 FORG)
	2006	IRI = 1,78.exp (0,028 KOR)	IRI = 1,97.exp (0,034 FORG)
	2007	IRI = 1,89.exp (0,028 KOR)	IRI = 1,93.exp (0,032 FORG)
	2008	IRI = 1,97.exp (0,029 KOR)	IRI = 1,81.exp (0,035 FORG)

The trial section monitoring in Hungary has been performed since 1991. During this rather long monitoring period, a considerable share of the sections deteriorated to such an extent that surface dressing, resurfacing by thin asphalt layer or pavement strengthening was needed. Then, the question arose, whether their pavement condition monitoring should be discontinued or not. It was decided to go on with the regular condition evaluation since the additional survey could provide other kinds of useful information. The condition parameter levels in the years before and after the intervention can be utilised for identifying of various pavement condition parameter levels, which could be considered as the “realistic” intervention level in Hungary. In addition to it, the determination of the actual condition improving effect of various major maintenance techniques in the present Hungarian road practice can also provide helpful information to road managers. Furthermore, the continuation of trial section monitoring for several more years can provide information about the deterioration trends after the intervention which can be compared to the tendencies during the former life cycle.

The deterioration curves of the trial sections before and after strengthening were also determined for IRI and rut depth. Based on the analysis of a high number of curves, the following generalised remarks could be made [51]:

- the unevenness during the period investigated generally changed only somewhat proving that this condition parameter is not critical among present Hungarian conditions (it means that usually level of another pavement condition parameter – for example, surface defects – worsens to its intervention level);
- in the case of overlaying of a section with rather uneven pavement surface is overlayed, the improving effect in longitudinal unevenness is much more pronounced, however, in most cases, a quick deterioration is to be expected;
- the trends of rutting process can be very different for various pavement sections depending on the different features of pavement structures;
- the typical rut depth values before condition improving intervention is in the range of 6 – 10 mm, 2 – 4 mm rut depth values can be expected most probably after pavement strengthening;
- the unevenness (roughness in the USA) and the rut depth data series (deterioration tendencies) obtained during the condition monitoring period do not show yet any sign of basically different life cycle trend from preceding one.

As another example, the influence of building a new thin asphalt layer resurfacing (thickness ≤ 40 mm) is presented on **Table 4** using some of their statistical parameters.

Table 4

Effect of thin asphalt layer resurfacing to visual pavement condition state note [46]

Statistical parameter	Visual condition state note		
	before	after	changing
Mean value	4.05	1.61	– 2.44
Maximum	5	2	– 3
Minimum	1	1	0
Standard deviation	1.10	1.45	+ 0.35

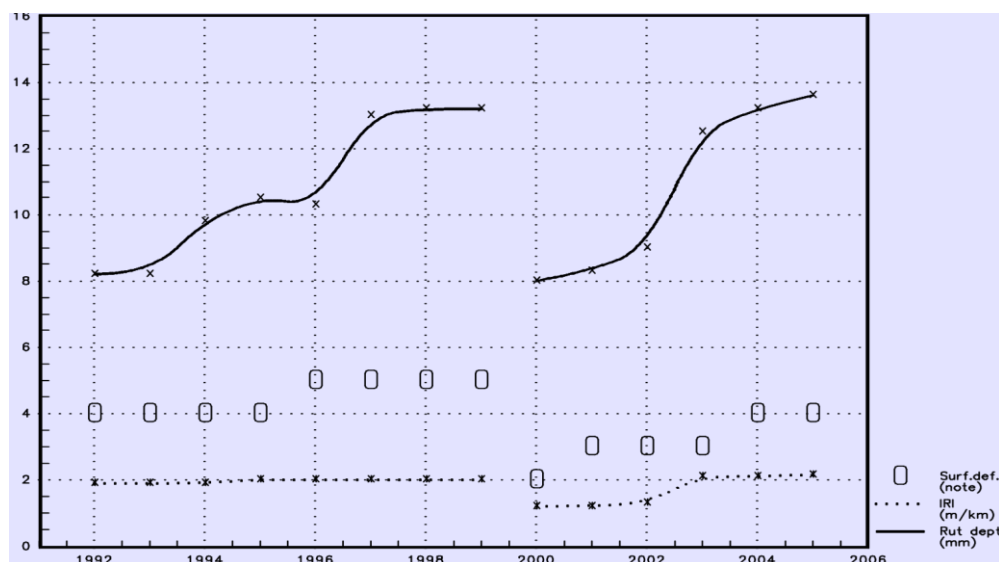


Figure 2 — Pavement performance models with thin layer resurfacing in 1999

Fig. 2 shows an example of the pavement performance model of a road section class on longitudinal unevenness (IRI, m/km), rut depth (mm) and surface defect (5-grade notes). The effect of the thin layer resurfacing in 1999 to the actual level of the condition parameters investigated can be clearly seen. **Fig. 3** introduces the pavement performance models of another road section class on the same 3 condition parameters; this case, the influence of pavement resurfacing on the actual pavement condition parameter levels can be highlighted.

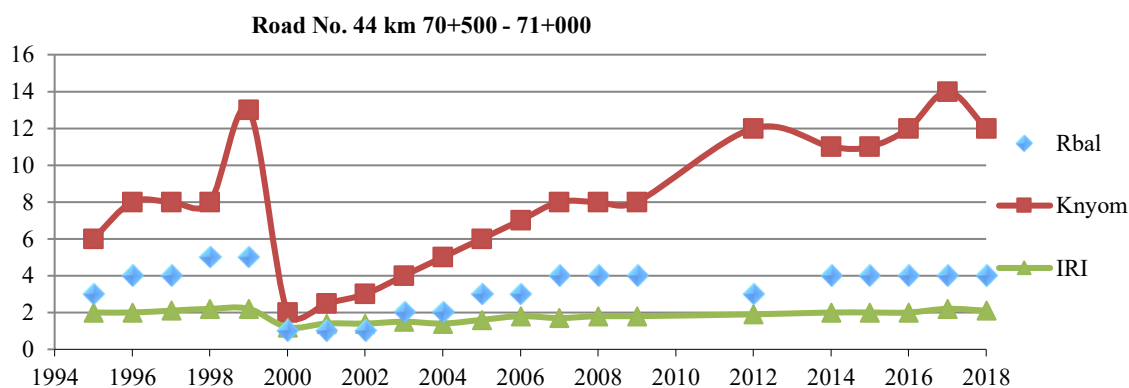


Figure 3 — Pavement performance models with strengthening in 1999

Besides, the traffic parameters of, and the eventual major maintenance actions on every trial section have been collected during the whole pavement condition monitoring period between 1991 and 2018 [50, 51].

The pavement bearing capacity basically differs from the other three condition parameters tested (longitudinal unevenness, rut depth and surface defects) by its eventual improvement as a consequence of environmental parameters, and it is true not only for the well-known seasonal changes (e.g. lower spring bearing capacity for most subgrade soil types due to the high moisture content compared to the bearing capacity in other seasons).

An earlier Hungarian research work [52] revealed that the bearing capacity of a pavement structure can considerably fluctuate during the consecutive years because of the basically different weathers during winter. In a country of continental climate like Hungary, the winter can be rather mild with few precipitations when the bearing capacity of roads with cohesive or intermediate subgrade soil can be considerably higher than in the preceding or penultimate spring after severe winters with rather low temperature and a lot of snow). The authors of the research mentioned [52] suggested the use of a so-called “yearly bearing capacity modifying factor” in addition to the traditional and widely applied “seasonal bearing capacity modifying factor”.

Considering the forementioned considerations, it was investigated in which years took place the unexpected bearing capacity improvements looking for the eventual more frequent occurrence in one or more years. The numbers and shares of unexpected improvements in various years were investigated. The trial section with non-granular subgrade soil were investigated separately. It has been revealed that the improvements in bearing capacity between year 2 and 3 represented 70-80 % share proving that the improvements then can be (actually are) explained by environmental reasons.

Albanian case study

The project based on Performance-based Maintenance and Safety Improvements to high volume roads within the national network were taken place in Albania in 2014 to 2019. The Project Roads comprise the share of the national road network, classified as primary (P) and Primary-Secondary (PS) roads. The project will maintain 1,053 km of P roads, and 282 km of PS roads. The roads to be maintained are summarized in **Tables 5** below.

Table 5

Contract Costs of various Packages

Contract	Network Length (km)				Pavement Capital Works	
	P	PS	S	Total	(km)	(%)
A	216	73	0	289	139	48 %
B	242	58	0	300	119	40 %
C	282	94	0	376	103	27 %
D	314	57	0	371	193	52 %
Total	1,053	282	0	1,335	554	41 %

Table 6

Mean IRI performances, NPVs and Economic Internal Rate of Returns of Contract Packages

Contract	Roughness (IRI)		NPV (M EUR)	EIRR (%)
	2014	2019		
A	5.0	5.0	90	85 %
B	4.8	5.7	214	95 %
C	3.6	4.1	135	168 %
D	4.2	3.5	401	177 %
Total	4.3	4.5	840	135 %

Traditionally, the success of a regional road administration is measured by the degree of achievement of the objectives that have been set for them by top authorities, also by the quality of their products and services offered. Nowadays, the satisfaction of customers has been given more emphasis. A satisfied customer whose expectations have been fulfilled indicates efficient and high-quality performance of road service.

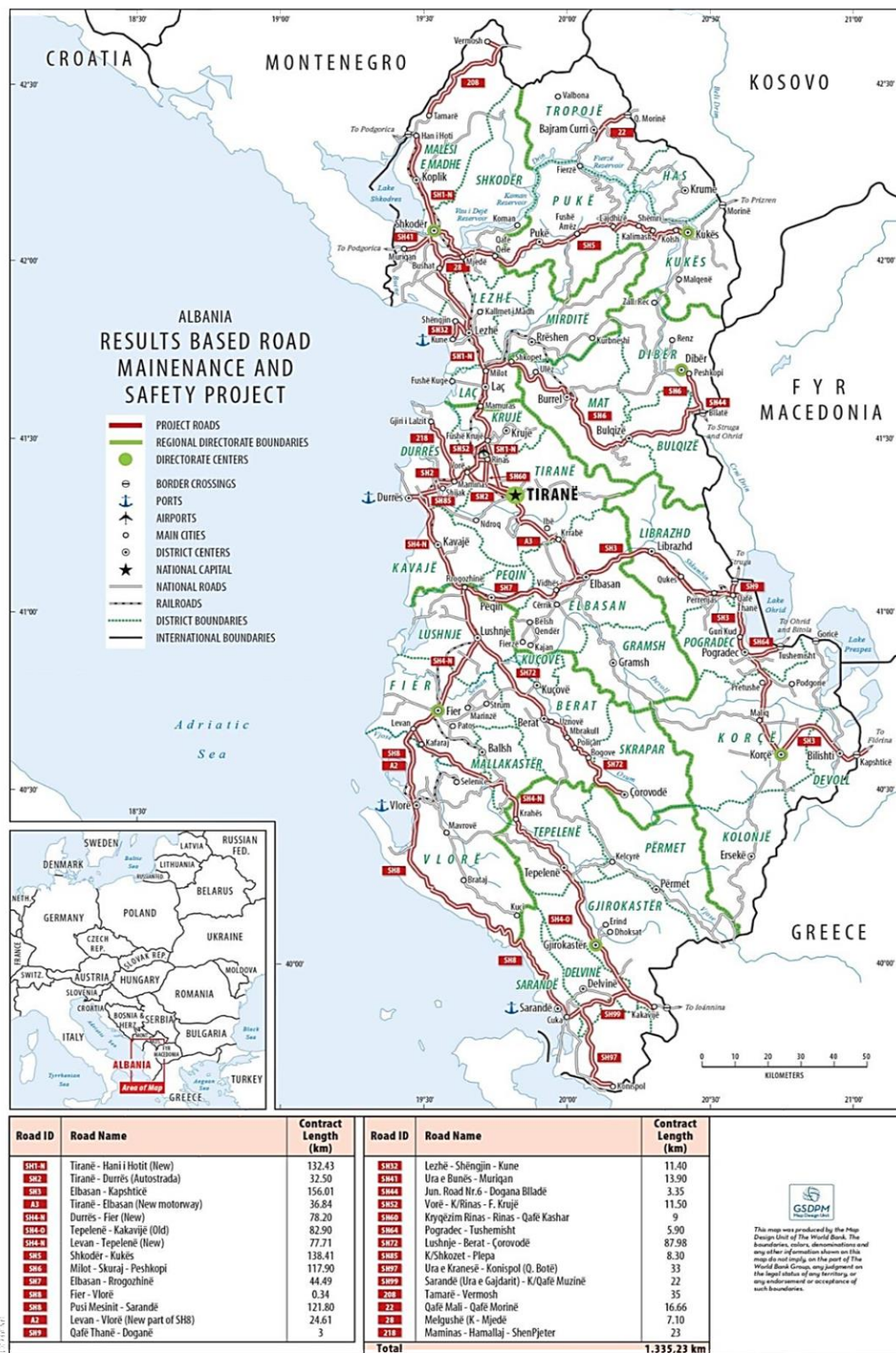


Figure 4 — Project road elements on the Albanian national and secondary road network

Performance Indicators for the road sector at Albanian Road Authority were developed as a descriptive conceptual model for the road transport system and for the road administration's overall performance.

A methodology was worked out to put the model into practice through field testing and to allow comparison of the 15 performance indicators used in different countries. The final results are expressed as conclusions, recommendations and "best practice" methods.

The key issues facing road transport system and road administrations include:

- lower road budgets;
- the need for greater transparency in road administration performance;
- the road production and administration roles should be separated;
- the focus of customer has been changed, so expert should be aware of their best attitude;
- looking for greater efficiency in road performance management;
- demand for better results and quality;
- demand for more co-ordination and co-operation in transport sector;
- demand for acquiring more data and performing more efficient data management.

Table 7 and **Figure 5** show the Net Present Values (NPV) and other economic indicators together with mean IRI values at the end of the contract (5 years) and of the reference period (20 years) on the network of project roads. (Financial costs given here are the sums of the financial costs during the 5 and 20-year periods).

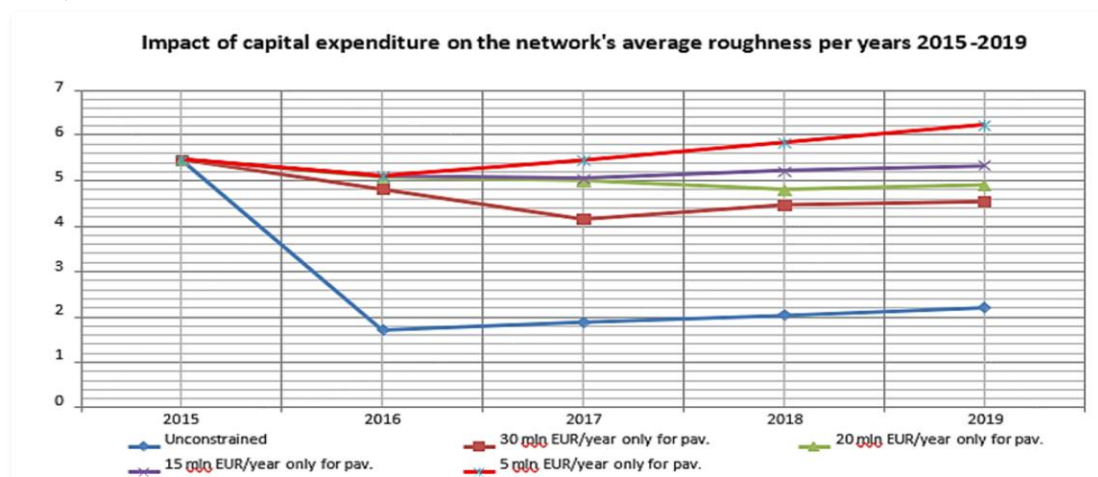


Figure 5 — Evolution of mean IRI on the project roads for different budget scenarios in the contract period 2015-2019 [53]

Table 7

Economic Indicators and IRI values in various budget scenarios [53]

Budget Scenario (pavements only)		Capital Exp. Years 1 to 5 (M€ per year)	Financial Cost (mln €)		Discounted Financial Cost (mln €)		NPV (M€)		NPV / Cost		IRR (%)		IRI (m /km)	
			5 years	20 years	5 years	20 years	5 years	20 years	5 years	20 years	5 years	20 years	5 years	20 years
Scenario 1	Unconstrained Scenario	Average 45	229.6	544.3	219.55	385.85	252.6	4,452.6	34,85	34,850	62.3	82.1	2.22	2.73
Scenario 2	30 mln €/year	30	141.8	504.8	179.15	373.49	131.7	4,200.9	34,85	2,967	63.3	89.5	4.54	3.52
Scenario 3	20 mln €/year	20	97.8	394.1	88.11	255.02	130.3	4,124.4	34,85	43,720	64.8	90.7	4.91	3.49
Scenario 4	15 mln €/year	15	71.5	294.4	64.42	184.59	115.7	4,073.0	14,75	2,9670	62.0	89.7	5.34	3.49
Scenario 5	5 mln €/year	5	21.2	290.8	19.12	164.10	93.3	3,692.3	43,15	43,150	58.40	85.5	6.23	3.53

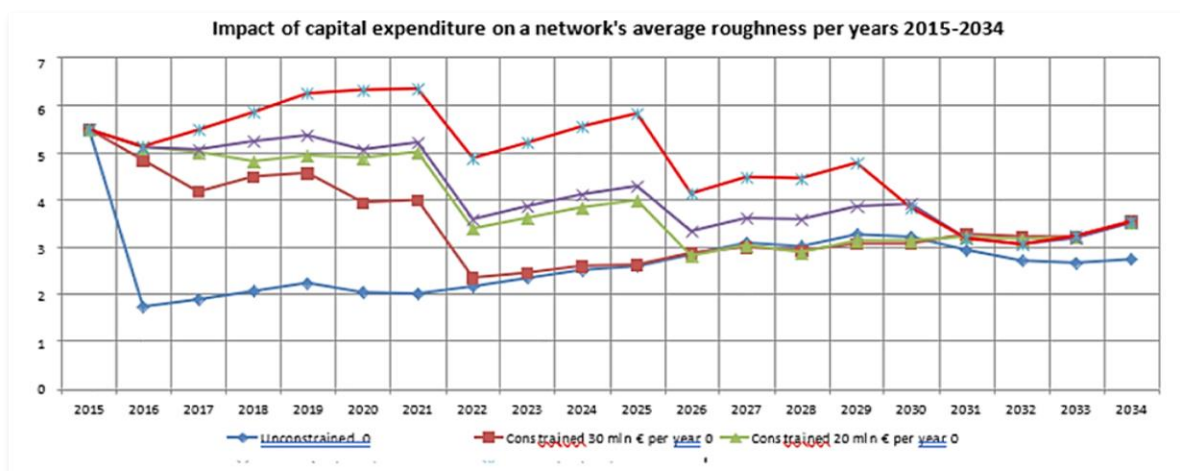


Figure 6 — The average value of IRI under different budget scenarios in short and long term [53]

On **Figure 6**, the short- and long-term longitudinal unevenness (roughness) data time series — expressed in IRI — are shown in the case of various budget scenarios.

Based on the outputs of data collection, a statistical analysis on the entire national road network was performed to characterise the network's current pavement condition, traffic volumes, geometrical features (rise & fall and curvature). As a first step, a suitable classification system (**Table 8**).

Table 8

Rutting and IRI classification [54]

Scale of evaluation	Rutting		IRI (m/km)
	frequency (%)	depth (mm)	
Very Good	$F \leq 5$	$D \leq 10$	$IRI < 2,5$
Good	$F \leq 10$	$D \leq 25$	$2.5 \leq IRI < 4,5$
Fair	$F > 10$	$10 < D \leq 25$	$4.5 \leq IRI < 7,0$
Poor	$F \leq 10$	$D > 25$	$7,0 \leq IRI < 10,0$
Very Poor	$F > 10$	$D > 25$	$IRI \geq 10,0$

At the end of this stage, it was possible to set up a reliable picture of the current statistics of the road network in terms of road condition, geometrical features and traffic sizes. The current pavement condition of the network is summarized below. Pavement condition is characterised by the values of IRI (International Roughness Index). It was also shown that the initial HDM-4 evaluation covering the entire network identifies that in case of an unconstrained budget scenario, the capital preservation expenditures and the fully elimination of the periodic maintenance backlog during the 2015-2019 period amounts to 230 million EUR, of which 54 percent is allocated to the P and PS networks. Under this scenario, the average network roughness decreases from the initial 5.5 IRI to 2.2 IRI in 2019, yielding a NPV of 4,453 million EUR. The evaluation also considered budget constraint scenarios of 30, 20, 15 and 5 million EUR per year for 2015-2019. **Figure 7** presents the overall network NPV and the average network roughness (IRI) in 2019 as a function of the budget constraint scenarios investigated.

Based on the analyses the results obtained, conducted that there is a significant improvement in service life when strict enforcement of legal axle limits is done. The various benefits arising from strict enforcement of legal limits are as given below:

- reduction in maintenance and rehabilitation cost of roads;
- more funds would be available for upkeep of pavements;
- the road pavements can be maintained at desired serviceability levels.

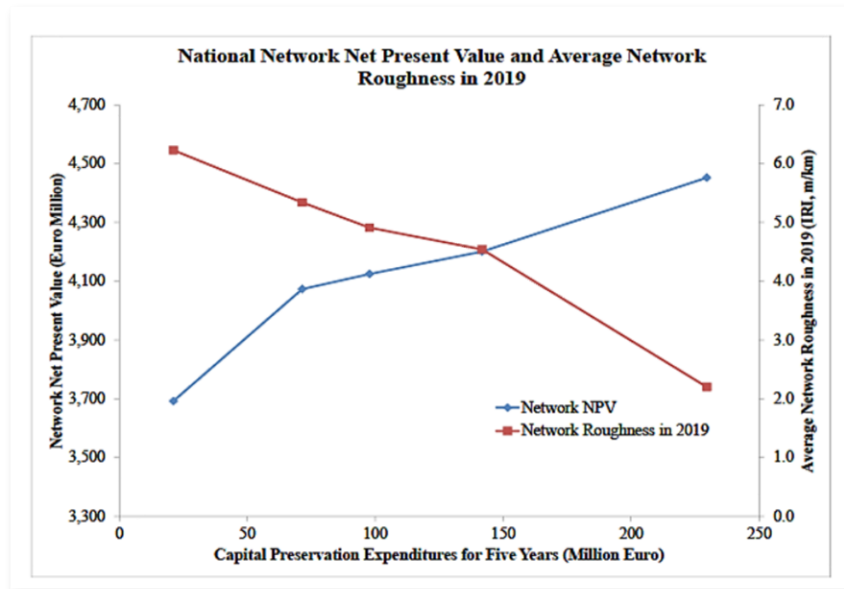


Figure 7 — National Network Net Present Value and Average Network Roughness in 2019 after 25, 75, 100, 150 and 235 million (unconstrained) EUR expenditures in the preceding 5 years

Based on the limited work results available, it would be still premature to quantify the savings in road pavement maintenance coming from load restrictions. However, the savings in maintenance costs could be roughly estimated at least in the order of 20 – 25 % of the present expenditures if legal road vehicle axle limits are enforced and no vehicle is allowed to carry loads beyond the permissible one. Savings of such magnitude would certainly help road organisations in providing better roads to the users.

Concluding remarks

After having presented some general facts and some country specific experiences on road pavement management the following main conclusions can be drawn:

- The successful road asset management has high significance on national economy level.
- The scientifically based PMS, as an essential element of road asset management, has a prominent role in increasing the economy of road transport.
- Development of pavement performance models are an essential component of a PMS and have a direct impact on future pavement condition, as a major influencing factor of road traffic efficiency.
- These statements are supported by the Hungarian and Albanian, pavement management related experiences presented before.
- The long-term monitoring of carefully selected trial section as a source of sophisticated pavement performance models can be highlighted.
- The project based on Performance-based Maintenance and Safety Improvements to high volume roads performed in Albania can significantly support the medium-term road management decisions.

References

1. L. Gáspár: Road management. Academy Press, 2003, 361 p. [In Hungarian].
2. R. Shabanpour: Pavement Performance Modeling: Literature Review and Research Agenda University of Illinois at Chicago, Illinois Asphalt Pavement Association, 2017, 8 p. [in English].
3. N. Li, W.-C. Xie, R. Haas: Reliability-based processing of Markov chains for modeling pavement network deterioration. Transportation Research Record, 1524, 1996. P. 203–213 [in English].
4. K. P. George, A. S. Rajagopal, L. K. Lim: Models for predicting pavement deterioration. Transportation Research Record 1215, 1989. P. 1–7 [in English].

5. Applied Research Associates Inc.: Guide for Mechanistic-Empirical Design for New and Rehabilitated Pavement Structures: NCHRP 1-37A Final Report. Prepared for NCHRP, Transportation Research Board, 2004, 424 p. [in English].
6. M. F. Saleh, M. S. Mamlouk, E. B. Owusu-Antwi: Mechanistic roughness model based on vehicle-pavement interaction. *Transportation Research Record* 1699, 2000. P. 114–120 [in English].
7. C. Queiroz: A Mechanistic Analysis of Asphalt Pavement Performance in Brazil. *Journal of Association of Asphalt Paving Technologists*, 52, 1983. P. 474–488 [in English].
8. AASHTO: The AASHTO Road Test Report 5: Pavement Research, Special Report 61 E. Highway Research Board, National Research Council, Washington, DC., 1962, 371 p. [in English].
9. Watanatada, T., Harra, C.G., Paterson, W.D.O., Dreshwar, A.M., Bhandari, A., Tsunokawa, K.: The highway design and maintenance standards model (Vol. 2): User's manual for the HDM-III model (English). URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/615821468142166343/User-s-manual-for-the-HDM-III-model>, 1987, 403 p. [in English].
10. A. Ferreira, L. Picado-Santos, A. Antunes, P. Pereira: A Deterministic Optimization Model Proposed for the Lisbon's PMS. *Proceedings, MAIREPAV – Third International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavements*, 2003, P. 555–564 [in English].
11. R. V. LeClerc, T. L. Nelson, T. L.: Washington State's Pavement Management System. *Proceeding of the 5th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements*, 1982, P. 533–552 [in English].
12. P. K. Chan, M. C. Oppermann, S. Wu: North Carolina's experience in development of pavement performance prediction and modeling. *Transportation Research Record*, 1592, 1997, P. 80–88 [in English].
13. P. E. Sebaaly, A. Hand, J. Epps, C. Bosch: Nevada's Approach to Pavement Management. *Transportation Research Record*, 1524, 1996, P. 109–117 [in English].
14. D. P. Mohammed, K. C. Sinha, P. S. McCarthy: Relationship between Pavement Performance and Routine Maintenance: Mixed Logit Approach. *Transportation Research Record*, 1597, 1997. P. 16–21 [in English].
15. J. A. Prozzi, S. M. Madanat: Development of pavement performance models by combining experimental and field data. *Journal of Infrastructure Systems*, 10(1), 2004. P. 9–22 [in English].
16. R. Ramaswamy, M. Ben-Akiva: Estimation of highway pavement deterioration from in-service pavement data. *Transportation Research Record*, 1272, 1991. P. 96–106 [in English].
17. S. M. Madanat, S. Bulusu, A. Mahmoud: Estimation of infrastructure distress initiation and progression models, *Journal of Infrastructure Systems*, 1(3), 1995. P. 146–150 [in English].
18. J. A. Prozzi, F. Hong: Transportation infrastructure performance modeling through seemingly unrelated regression systems. *Journal of Infrastructure Systems*, 14(2), 2008. P. 129–137 [in English].
19. K. L. Smith, K. D. Smith, L. D. Evans, T. E. Hoerner, M. I. Darter, J. H. Woodstrom: Final report: Smoothness specifications for pavements. NCHRP Web Document 1, National Cooperative Highway Research Program, Washington, DC, 1997 [in English].
20. W. D. O. Paterson, A. D. Chesher: On predicting pavement surface distress with empirical models of failure times., *Transportation Research Record*, 1095, 1986. P. 45–56 [in English].
21. Z. S. Nakat, S. M. Madanat: Stochastic duration modeling of pavement overlay crack initiation, *Journal of Infrastructure Systems*, 14(3), 2008. P. 185–192 [in English].
22. S. M. Madanat, M. G. Karlaftis, P. S. McCarthy: Probabilistic infrastructure deterioration models with panel data, *Journal of Infrastructure Systems*, 3(1), 1997. P. 4–9 [in English].
23. A. R. Archilla: Repeated measurement data analysis in pavement deterioration modeling. *Journal of Infrastructure Systems*, 12(3), 2006, P. 163–173 [in English].
24. A. R. Archilla, S. M. Madanat: Estimation of rutting models by combining data from different sources, *Journal of Transportation Engineering*, 127(5), 2001. P. 379–389 [in English].
25. K. C. P. Wang, J. Zaniewski, G. Way: Probabilistic behavior of pavements. *Journal of Transportation Engineering*, 120(3), 1994. P. 358–375 [in English].

26. L. Gáspár: Highway performance modelling. Proceedings of International Conference on Developments in Road Engineering. National Institute of Technology, Rourkela, India, 2010, P. 24-36 [in English].
27. Finn, F.N., Kulkarni, R., Nair, K., 1974. Pavement Management System Feasibility Study, Final Report. Prepared for Washington Highway Commission, Department of Highways, Olympia, Washington. [in English].
28. Haas, R., Hudson, W., R., Zaniewski, J., P., 1994. Modern Pavement Management. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida. [in English].
29. A. Butt, M. Y. Shahin, K. J. Feighan, S. H. Carpenter: 1987. Pavement Performance Prediction Model using the Markov Process. Transportation Research Record, 1123, 1987. P. 12–19 [in English].
30. F. Hong, J.A. Prozzi: Estimation of pavement performance deterioration using Bayesian approach. *Journal of Infrastructure System*, 12(2), 2006. P. 77–86 [in English].
31. A. Hu, Q. Bai, L. Chen, S. Meng, Q. Li, Z. Xu: A review on empirical methods of pavement performance modelling. *Construction and Building Materials*, 342, Part B, 2022, 127968. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127968> [in English].
32. R. Justo-Silva, A. Ferreira, G. Flintsch: Review on machine learning techniques for developing pavement performance prediction models, *Sustainability*, 13(9), 2021, 5248. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13095248> [in English].
33. H. Pérez-Acebo, A. Linares-Unamunzaga, R. Abejón, E. Rojí: Research Trends in Pavement Management during the First Years of the 21st Century: A Bibliometric Analysis during the 2000–2013 Period. *Applied Sciences*, 8(7), 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/app8071041> [in English].
34. N.E. Abdelaziz, R.A. El-, S. El-Badawy: International Roughness Index prediction model for flexible pavements, *International Journal of Pavement Engineering*, 21(6), 2018, P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1441414> [in English].
35. M.R. Kaloop, S.M. El-Badawy, J. Ahn, H.-B. Sim, J.W. Hu, R.T.A. El Jakim: A hybrid wavelet-optimally-pruned extreme learning machine model for the estimation of international roughness index of rigid pavements, *International Journal of Pavement Engineering*, 23(3), 2022. P. 862–876. DOI: <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1776281> [in English].
36. H. Pérez-Acebo, N. Mindra, A. Railean: Rigid pavement performance models by means of Markov Chains with half-year step time. *International Journal of Pavement Engineering*, 20(1), 2017. P. 1–14 [in English].
37. Y. Du, C. Liu, D. Wu, S. Li: Application of vehicle mounted accelerometers to measure pavement roughness, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12, 2016, 8413146, 8 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/8413146> [in English].
38. W. Aleadelat, K. Ksaibati: Estimation of pavement serviceability index through android-based smartphone application for local roads, *Transportation Research Record*, 2639(1), 2017. P. 129–135 DOI: <https://doi.org/10.3141/2639-16> [in English].
39. M. M. Aydın, M. S. Yildirim, L. Farslöf: The use of smart phones to estimate road roughness: a case study in Turkey. *Engineering Sciences*, 13(3), 2018. P. 247–257 [in English].
40. K. Gopalakrishnan, S. K. Khaitan, A. Choudhary, A. Agrawal: Deep Convolutional Neural Networks with transfer learning for computer vision-based data-driven pavement distress detection, *Construction and Building Materials*, 157, 2017. P. 322–330 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.110> [in English].
41. H. Maeda, Y. Sekimoto, T. Seto et al.: Road damage detection and classification using deep neural networks with smartphone images: road damage detection and classification, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 33(2), 2018, P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1111/mice.12387> [in English].
42. H. Zakeri, F.M. Nejad, A. Fahimifar: Image based techniques for crack detection, classification and quantification in asphalt pavement: a review. *Archives of Computational Methods in Engineering* 24(4), 2016. P. 935–977. DOI: <https://doi.org/10.100/s11831-016-9194-z> [in English].
43. L. Gáspár: Compilation of First Hungarian Network-Level Pavement Management System. Transportation Research Record 1455 Pavement Management Systems. National Academy Press, Washington, D.C., 1994, P. 22–30 [in English].

44. A. Bakó, M. Csicsely-Tarpay, T. Szántai, L. Gáspár: Multi-time Period Network-level PMS in Hungary Based on Markov Chains. Second International Conference on Road and Airfield Pavement Technology, Singapore, Vol 1, 1995, P. 384–392 [in English].
 45. A. Sarja: A process towards lifetime engineering in the 5th and 6th Framework Program of EU. Proceedings of 2nd International Symposium ILCDES, Kuopio, Finland, 2003, P. 7–12 [in English].
 46. L. Gáspár: Lifetime engineering in road asset management. Proceedings of 3rd European Pavement and Asset Management Conference, Coimbra (Portugal), Session B3, 2008, 10 p. [in English].
 47. L. Gáspár: The utilisation of pavement performance data in the Hungarian road management. Proceedings of International Conference on Advanced Characterization of Pavement and Soil Engineering Materials, Athens, Vol. II, 2007, P. 1699–1707 [in English].
 48. W.D.D. Paterson: Road Deterioration and Maintenance Effects: Models for Planning and Management. World Bank, Washington, D.C. 1987, 454 p. [in English].
 49. URL: https://datavizcatalogue.com/methods/box_plot.html [in English].
 50. L. Gáspár: Pavement condition before and after rehabilitation. The International Journal of Pavement Engineering & Asphalt Technology 5(1), 2004. P. 15–25 [in English].
 51. L. Gáspár: Actual condition improving effect of major pavement maintenance treatments. Proceedings of 2nd European Pavement and Asset Management Conference, Berlin, 2004, 8 p. [in English].
 52. E. Nemesdy, T. Boromisza, E. Zsiga Kiss: Evaluation of bearing capacity measuring methods. Transport Scientific Association, report № 87/89. Budapest, 1989. (In Hungarian) [in English].
 53. D. Bardhi: Road Asset Management Assessment. *European Journal of Engineering and Formal Sciences*. 5(1), 2021, P. 25–36. DOI: <https://doi.org/10.26417/646qpv23t> [in English].
 54. A. Golgota, D. Bardhi: Asset Management Public Assessment of Road Infrastructure. *European Journal of Multidisciplinary Studies*, 2016, 1, P. 172–179. DOI: <https://doi.org/10.26417/ejms.v1i3>. P. 172–179 [in English].
 55. D. Bardhi: Aspects of Management and Road Maintenance in Albania. *European Journal of Multidisciplinary Studies*, 1(2), 2016, P. 266–279. DOI: <https://doi.org/10.26417/ejms.v1i2> [in English].
 56. A. Golgota, D. Bardhi: Road Investment and Regional Development Some Evidencies from Albania. *European Journal of Multidisciplinary Studies*, 1(1), 2016, P. 333–340. ISSN 2414-8377 [in English].
-

Діана Барді¹, д-р філос., <https://orcid.org/0009-0002-6958-7770>

Алтин Серанадж², д-р філос., <https://orcid.org/0009-0003-5511-1445>

Ласло Гаспар³, д-р техн. наук, проф., <https://orcid.org/0000-0002-0574-4100>

Жолт Бенче⁴, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0003-2130-7864>

¹Департамент будівництва та архітектури, Університет Метрополітен Тирана, Тирана, Албанія

²Департамент будівельних конструкцій і транспортної інфраструктури, Політехнічний університет Тирані, Тирана, Албанія

³Університет Іштвана Сечені, будівельний факультет, Дьйор, Угорщина, та КТІ Угорський інститут транспортних наук і логістики Non-Profit Ltd., Будапешт, Угорщина,

⁴КТІ Hungarian Institute for Transport Sciences and Logistics Non-Profit Ltd., Будапешт, Угорщина

ОГЛЯД ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ В РІЗНИХ КРАЇНАХ

Анотація

Вступ. Високоякісні та довговічні дорожні покриття є однією з передумов ефективного дорожнього руху в кожній країні.

Постановка проблеми. Науковий проєкт високого рівня, будівництво, технічне обслуговування та відновлення конструкцій дорожнього покриття — управління тротуарами — можна розглядати як важливе завдання власників доріг, а у випадку доріг державної власності це є прямим обов'язком.

Важлива підсистема управління дорожнім майном складається з кількох технічних засобів, таких як системи управління дорожнім покриттям (PMS). Моделі характеристик дорожнього покриття є важливим компонентом PMS і мають прямий вплив на майбутній стан тротуару. Проектування конструкції дорожнього покриття завжди є досить відповідальним і важким завданням, оскільки очевидно, що проектувальник повинен спрогнозувати (передбачити) — використовуючи бажано науково обґрунтовані методології — характеристики конструкцій тротуарів, які будуть побудовані в майбутньому. Надійність цього прогнозу, звичайно, головним чином залежить від точності застосованих проектних вхідних даних. Складність проблеми вже можна охарактеризувати тим фактом, що, принаймні, транспортні, екологічні, сировинні, будівельні, технічно-відновлювальні, експлуатаційні та фінансові параметри слід враховувати при прогнозуванні ефективності дорожнього покриття (очікуваний термін служби) під час проектування (вибору) оптимального конструктивного варіанту покриття. Взаємозв'язок цих параметрів, що впливають, тільки робить ситуацію ще більш складною.

Мета. Основною метою статті є представлення різних аспектів ефективності дорожнього покриття в Угорщині та Албанії.

Матеріали та методи. У статті описано роль (значущість) моделей ефективності дорожнього покриття в управлінні дорожнім майном, особливо в науково обґрунтованому структурному проектуванні дорожнього покриття, вказуючи на пов'язані з цим проблеми. Після короткого всесвітнього огляду теми, презентація спеціального теоретичного та практичного досвіду щодо моделей ефективності тротуарів у двох європейських країнах (Угорщина та Албанія) підсумовується як тематичні дослідження.

Результати. Наприкінці статті зроблено деякі висновки та надано кілька пропозицій щодо створення та використання моделей ефективності дорожнього покриття, включаючи високу важливість успішного управління дорожнім майном на рівні національної економіки; значення науково обґрунтованої PMS у підвищенні економічності автомобільного транспорту; прямий вплив моделей характеристик дорожнього покриття на майбутній стан дорожнього покриття, як основного фактора впливу на ефективність дорожнього руху; допоміжна роль технічного обслуговування на основі ефективності та покращення безпеки доріг великого обсягу, які виконуються в Албанії, може значно підтримати рішення щодо управління дорогами в середньостроковій перспективі.

Ключові слова: дорожнє покриття, модель ефективності покриття, система управління дорожнім покриттям, управління дорогами Албанії, управління дорогами Угорщини.

УДК 691.16

Копинець І. В., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-0908-4795>**Желтобрюх А. Д.**, д-р. філос. з будівництва та цивільної інженерії, <https://orcid.org/0000-0003-0764-8793>**Соколов О. В.**, д-р. філос. з будівництва та цивільної інженерії, <https://orcid.org/0000-0002-4694-9647>**Соколова О. Б.**, <https://orcid.org/0000-0003-4202-8661>**Юнак А. Л.**, <https://orcid.org/0000-0002-5294-5554>

Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна

ЛАБОРАТОРНЕ УЩІЛЬНЕННЯ КРУПНОЗЕРНИСТИХ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІРАТОРНОГО УЩІЛЬНЮВАЧА

Анотація

Вступ. В Україні процедурою проєктування складу асфальтобетонних сумішей передбачено підбирання співвідношення між мінеральними матеріалами, підбирання оптимального вмісту бітуму, випробування асфальтобетону з підібраним вмістом бітуму та, за потреби, уточнення складу асфальтобетонної суміші. Відповідну процедуру застосовують в Сполучених Штатах Америки, країнах Європейського Союзу, Австралії тощо. Однак відмінність полягає у обладнанні, яке використовують для виготовлення зразків асфальтобетону.

Проблематика. В останні роки використовуваний в Україні метод виготовлення зразків асфальтобетону за ущільнення асфальтобетонної суміші стисненням піддають ґрунтовній критиці, оскільки наразі чітко не визначено швидкість навантажування, під час виготовлення зразків можливим є подрібнення зерен мінерального матеріалу, а також у ряді випадків ущільнення асфальтобетонних сумішей в шарі дорожнього одягу є більшим за їх ущільнення в лабораторних умовах. Ці чинники можуть стати причиною неоптимальності підбраного складу асфальтобетонних сумішей та передчасного утворення дефектів під час експлуатування. Вищенаведене вимагає проведення досліджень з оптимізування лабораторного ущільнення асфальтобетонних сумішей, зокрема з використанням гіраторного ущільнювача.

Мета. Впровадити гіраторний ущільнювач для лабораторного ущільнення крупнозернистих асфальтобетонних сумішей.

Матеріали і методи. Аналізування літературних джерел та проведення лабораторних досліджень.

Результати. Об'ємні властивості асфальтобетонів залежать від вмісту бітуму в асфальтобетонній суміші. Збільшення вмісту бітуму призводить до зменшення найбільшої густини асфальтобетонної суміші, зменшення вмісту повітряних пор та обсягу пор в мінеральному заповнювачі, а також збільшення об'ємної густини асфальтобетону та вмісту пор, заповнених в'язучим. Об'ємні властивості асфальтобетонів суттєво залежать від ущільнювального зусилля. Із збільшенням кількості обертів має місце збільшення об'ємної густини асфальтобетону та вмісту пор, заповнених в'язучим, а також зменшення вмісту повітряних пор та обсягу пор в мінеральному заповнювачі. Зміна показників об'ємних властивостей асфальтобетонів має згасаючий характер із збільшенням кількості обертів. Потрібний уміст повітряних пор може бути досягнуто в широкому діапазоні вмісту бітуму та ущільнювального зусилля. Використання принципу «точки блокування» дозволило визначити оптимальну кількість обертів на рівні 80. Порівняльні дослідження асфальтобетонів, виготовлених ущільненням за 80 обертів та стисненням за тиску 30 МПа, показали що отримувані асфальтобетони типу А-Б мають близькі показники об'ємних та механічних властивостей, при цьому гіраторне ущільнення є дещо ефективнішим. У випадку асфальтобетонів типу А1 має місце суттєвіша відмінність в показниках об'ємних властивостей, при цьому гіраторне ущільнення також є ефективнішим. Метод ущільнення практично не впливає на показники механічних властивостей асфальтобетонів.

Висновки. Для виготовлення зразків асфальтобетону під час підбирання складу крупнозернистих асфальтобетонних сумішей та контролювання їх вироблення доцільно використовувати ущільнювальне зусилля у 80 обертів, яке є ефективнішим за ущільнення пресуванням під тиском 30 МПа, сприятиме отримуванню більш «жорстких» асфальтобетонних сумішей та належному ущільненню асфальтобетонних сумішей у виробничих умовах, яке не буде ефективнішим за лабораторне ущільнення та не буде призводити до отримання асфальтобетону з низьким умістом повітряних пор. Ураховуючи загальні тенденції щодо зменшення ущільнювального зусилля із зменшення кількості прикладань розрахункової навантаги, для підбирання складу крупнозернистих асфальтобетонних сумішей для влаштування шарів дорожнього одягу автомобільних доріг з незначною кількістю прикладань розрахункової навантаги може бути використано ущільнювальне зусилля у 60 обертів.

Ключові слова: асфальтобетон, асфальтобетонна суміш, бітум, гіраторне ущільнення, заповнювач, механічні властивості, об'ємні властивості, оптимальний вміст бітуму, ущільнення стисненням.

Вступ

В Україні процедурою проектування складу асфальтобетонних сумішей передбачено:

- підбирання співвідношення між мінеральними матеріалами, за якого б зерновий склад їх суміші відповідав певним вимогам залежно від виду асфальтобетонної суміші за найбільшим номінальним розміром зерен заповнювача, типу асфальтобетонної суміші за вмістом крупного заповнювача, різновиду асфальтобетонної суміші за зерновим складом та групи асфальтобетону за показником умісту повітряних пор;

- підбирання оптимального вмісту бітуму;

- випробування асфальтобетону з підібраним вмістом бітуму та, за потреби, уточнення складу асфальтобетонної суміші.

Відповідні процедури застосовують у Сполучених Штатах Америки, країнах Європейського Союзу, Австралії тощо [1 – 5]. Основна відмінність у проектуванні складу асфальтобетонних сумішей полягає в обладнанні, яке використовують для виготовлення зразків асфальтобетону. В Україні з цією метою використовують ущільнювальні установки, які працюють на стиснення [1], у Сполучених Штатах Америки переважно використовують гіраторний ущільнювач Superpave [4], у країнах Європейського Союзу — ударний ущільнювач Маршала, в Австралії — гіраторний ущільнювач Servopac [5].

В останні роки використовуваний в Україні метод виготовлення зразків асфальтобетону за ущільнення асфальтобетонної суміші стисненням піддають ґрунтовній критиці, оскільки наразі чітко не визначено швидкість навантажування, під час виготовлення зразків можливим є подрібнення зерен мінерального матеріалу, а також у ряді випадків ущільнення асфальтобетонних сумішей в шарі дорожнього одягу є більшим за їх ущільнення в лабораторних умовах. Ці чинники можуть стати причиною неоптимальності підбраного складу асфальтобетонних сумішей та передчасного утворення дефектів у процесі експлуатування.

Виконані порівняльні дослідження зразків асфальтобетону [6], виготовлених з різних асфальтобетонних сумішей, показали, що вітчизняний метод ущільнення пресуванням відповідає ударному методу ущільнення з використанням ущільнювача Маршала, що використовують для проектування складу асфальтобетонних сумішей для влаштування шарів дорожнього одягу автомобільних доріг з великою транспортною навантагою. Однак ці порівняльні дослідження не охопили крупнозернисті асфальтобетонні суміші та асфальтобетони у зв'язку з неможливістю виготовлення зразків з крупнозернистих асфальтобетонних сумішей з використанням ударного ущільнювача Маршала. Тому виникла потреба у виконанні відповідних порівняльних досліджень зразків асфальтобетону, виготовлених (стисненням) пресуванням та з використанням гіраторного ущільнювача Superpave.

Гіраторний ущільнювач Superpave є результатом виконання дослідницької програми стратегічного дослідження автомобільних доріг [7]. Відповідно до розробленого методу проєктне ущільнювальне зусилля для виготовлення зразків асфальтобетону залежало від середньої

найбільшої розрахункової температури повітря та кількості прикладань розрахункової навантаги і могло становити від 68 обертів до 172 обертів. У подальшому було проведено ряд досліджень та уточнено ущільнювальне зусилля і наразі ущільнювальне зусилля визначено в [4]. За проєктного ущільнювального зусилля (кількості обертів) вміст повітряних пор у зразках асфальтобетону повинен становити 4,0 % за об'ємом. Також в [4] визначено найбільшу кількість обертів за якої вміст повітряних пор у зразках асфальтобетону повинен бути не менше ніж 2,0 % за об'ємом включно. Установлене в [4] проєктне ущільнювальне зусилля та найбільше ущільнювальне зусилля показано в **табл. 1**.

Таблиця 1

Параметри ущільнювального зусилля

Ч. ч.	Кількість прикладань розрахункової навантаги, млн	Проєктна кількість обертів	Найбільша кількість обертів
1	менше ніж 0,3	50 / 30	75 / 40
2	від 0,3 до 3,0	75 / 30	115 / 40
3	від 3,0 до 30,0	100 / 50	160 / 75
4	більше ніж 30,0 включно	125 / 50	205 / 75
Примітка. Перед скісною ризикою надано основні положення [4] щодо ущільнювального зусилля, після скісної ризи – додаткову інформацію щодо ущільнювального зусилля згідно з системою Superpave5.			

Виконаний в [5] аналіз показав, що положень [4] щодо проєктного ущільнювального зусилля та вмісту повітряних пор дотримують тільки в 30 % штатів. У 50 % штатів використовують меншу кількість обертів, у 2 % штатів — менший рівень умісту повітряних пор, а у 12 % штатів — меншу кількість обертів та менший рівень умісту повітряних пор. Цікавим є те, що досі у 6 % штатів використовують ударне ущільнення за методом Маршала. Такі дані можуть свідчити про те, що дослідження з уточнення ущільнювального зусилля тривають, а також те, що у кожному зі штатів ущільнювальне зусилля та проєктний уміст повітряних пор уточнюють залежно від кліматичних умов та транспортної навантаги. Варто зазначити й те, що в [4] додатково надано інформацію щодо використання принципів системи Superpave5, відповідно до якої проєктний уміст повітряних пор становить 5,0 % за об'ємом, а проєктна кількість обертів — не більше ніж 50 (див. **табл. 1**).

Отже з вищенаведеного випливає, що з моменту розроблення системи SUPERPAVE параметри проєктного ущільнювального зусилля зазнали суттєвих змін, при цьому уточнені параметри ущільнювального зусилля використовують тільки в 30 % штатів, а фактично використовуване ущільнювальне зусилля у більше ніж 60 % штатів є меншим за встановлене. Це обумовлює потребу у встановленні вимог до параметрів лабораторного ущільнення крупнозернистих асфальтобетонних сумішей з використанням гіраторного ущільнювача Superpave з урахуванням існуючих проблем лабораторного ущільнення крупнозернистих асфальтобетонних сумішей пресуванням.

Основна частина

Складники

Для проведення дослідження використовували пісок із відсівів подрібнення фракції понад 0 мм до 2,5 мм включно та фракції понад 2,5 мм до 5 мм включно, щебінь фракції понад 5 мм до 10 мм включно, понад 10 мм до 20 мм включно та понад 20 мм до 40 мм включно, а також наповнювач. Показники властивостей щебеню наведено в **табл. 2**.

Таблиця 2

Результати визначення показників властивостей щебеню

Ч. ч.	Назва властивості	Фактичні значення показників властивостей
1	Марка щебеню за міцністю	1 200
2	Марка щебеню за стиратністю	Ст-I
3	Марка щебеню за морозостійкістю	F150
4	Група за формою зерен	окатана

У якості бітумного в'язучого було прийнято бітум марки БНД 70/100, показники властивостей якого наведено в **табл. 3**.

Таблиця 3

Результати визначення показників властивостей бітуму

Ч. ч.	Назва властивості, одиниця вимірювання	Фактичні значення показників властивостей
1	Пенетрація за температури 25 °С, 0,1 мм	78
2	Температура розм'якшеності за кільцем і кулею, °С	47
3	Температура крихкості, °С	мінус 23
4	Інтервал пластичності, °С	70
5	Зміна маси після прогрівання, % за масою	0,12
6	Залишкова пенетрація, %	65
7	Зміна температури розм'якшеності, °С	3,5
8	Індекс пенетрації	мінус 0,91

Склад асфальтобетонних сумішей

Для проведення досліджень було прийнято асфальтобетонні суміші з найбільшим номінальним розміром зерен заповнювача 40 мм типу А1 (далі — асфальтобетонна суміш типу А1) та А-Б (далі асфальтобетонна суміш типу А-Б). Обидві суміші мали непереривчастий зерновий склад. Підібраний зерновий склад асфальтобетонних сумішей наведено в **табл. 4**.

Таблиця 4

Зерновий склад асфальтобетонних сумішей

Тип асфальтобетонної суміші	Уміст зерен мінерального матеріалу, % за масою, менших заданого розміру, мм											
	40	25	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
А1	100,0	80,0	71,1	63,1	56,1	45,2	30,2	21,4	14,0	9,8	6,1	5,2
А-Б	100,0	—	73,1	67,1	61,1	50,2	32,2	23,0	15,4	11,0	6,7	6,1

Вироблення асфальтобетонних сумішей

Для отримання якісних асфальтобетонних сумішей бітум треба перевести в такий стан, за якого він легко та рівномірно обволікає мінеральний матеріал. Для цього бітум та інші складники асфальтобетонної суміші нагрівають до певної температури, що залежить від марки використовуваного бітуму.

У ДСТУ EN 12697-35 [8] зазначено, що найвища лабораторна температура змішування (температура вироблення асфальтобетонних сумішей у лабораторних умовах) повинна бути не більше ніж на 20 °С вищою за опорну температуру ущільнення. Значення заданої лабораторної температури змішування потрібно обирати так, щоб на момент початку процесу ущільнення суміш охолола до опорної температури ущільнення з допуском до ± 5 °С, та не перевищувала найвищу лабораторну температуру змішування. При цьому зазначено, що задана лабораторна температура змішування є температурою за якої в'язуче має динамічну в'язкість $(0,17 \pm 0,02)$ Па·с, а опорну температуру ущільнення може бути визначено як температуру, за якої в'язуче має динамічну в'язкість $(0,28 \pm 0,03)$ Па·с.

У цьому дослідженні температуру нагрівання бітуму під час змішування з мінеральним матеріалом та температуру асфальтобетонної суміші на початку ущільнення було встановлено на основі температурно-в'язкісної залежності (**рис. 1**).

Для встановлення температури вироблення та ущільнення застосовано критерії відповідно до ДСТУ EN 12697-35 [8]. Результати визначення відповідних температур наведено в **табл. 5**.

Таблиця 5

Результати визначення температури вироблення та ущільнення асфальтобетонної суміші

Марка бітуму	Опорна температура ущільнення асфальтобетонної суміші, °C	Визначена температура ущільнення асфальтобетонної суміші, °C	Задана температура змішування бітуму з мінеральним матеріалом, °C	Визначена температура змішування бітуму з мінеральним матеріалом, °C
БНД 70/100	145 ± 5	від 143,5 до 148,5	не вище ніж 165	від 154,5 до 160

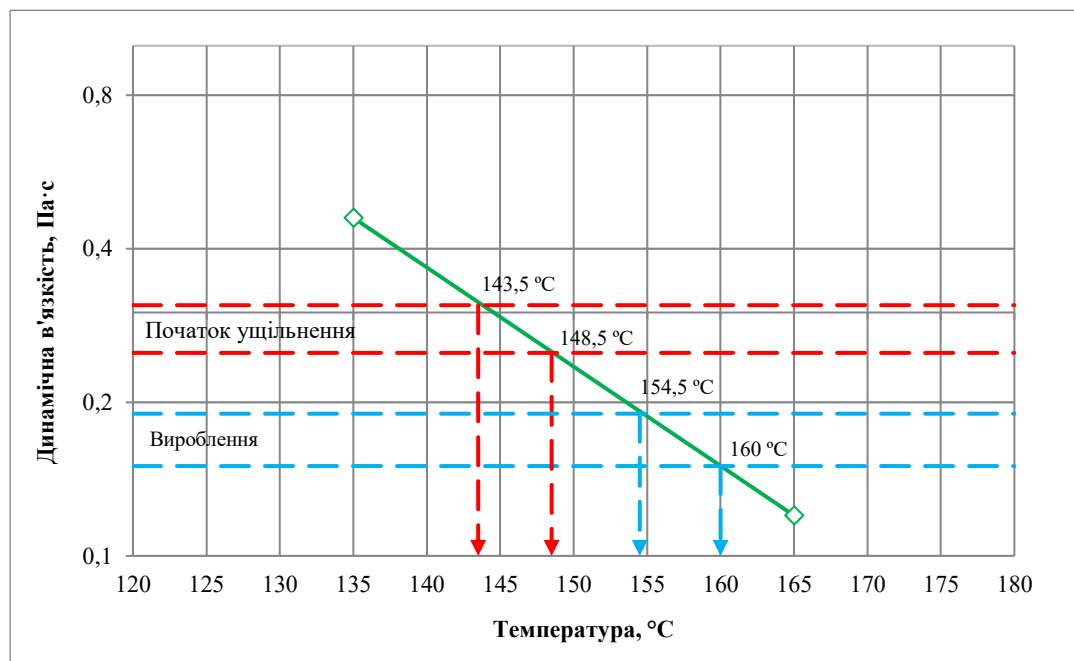


Рисунок 1 — Залежність в'язкості бітуму марки БНД 70/100 від температури

Визначені температури вироблення та ущільнення асфальтобетонної суміші добре узгоджені з установленими в ДСТУ EN 12697-35 [8] опорними температурами.

Ущільнення асфальтобетонних сумішей

Ущільнення асфальтобетонних сумішей з метою отримання досліджуваних зразків асфальтобетону виконували відповідно до ДСТУ EN 12697-31 [9] з використанням гіраторного ущільнювача. Відповідно до цього методу для виготовлення зразків брали термостабілізовану асфальтобетонну суміш вироблену в лабораторії згідно з ДСТУ EN 12697-35 [8] та розміщували її у спеціальній сталевій формі для ущільнення. Асфальтобетонну суміш ущільнювали за різної кількості обертів. Після чого виймали зразок асфальтобетону з форми.

З метою встановлення впливу методу ущільнення на об'ємні властивості асфальтобетонів також виконували ущільнення асфальтобетонних сумішей методом пресування за тиску $(30,0 \pm 0,3)$ МПа згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [11].

Методи випробування

Об'ємна густина асфальтобетону

Об'ємну густину асфальтобетону визначали за його масою та об'ємом відповідно до методу В ДСТУ EN 12697-6 [10] (водонасичений стан із осушеною поверхнею). Масу зразка визначали зважуванням сухого зразка в повітряному середовищі (у повітрі). Об'єм зразка встановлювали за його масою в повітряному середовищі та воді.

Визначення об'ємної густини асфальтобетону виконували в такій послідовності:

а) визначали масу сухого зразка (m_1);

б) визначали густину води (ρ_w) за температури випробування з точністю до 0,0001 Мг/м³ відповідно до формули (1):

$$\rho_w = 1,00025205 + \left(\frac{7,59 \cdot t - 5,32 \cdot t^2}{10^6} \right), \quad (1)$$

де t — температура води, в градусах Цельсія (°C);

ρ_w — густина води за температури випробування, в мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);

в) зразок занурювали у водяну баню, у якій підтримували температуру випробування та витримували впродовж не менше ніж 30 хв;

г) визначали масу насиченого зразка у воді (m_2), стежачи за тим, щоб під час зважування бульбашки повітря не прилипали до поверхні зразка чи не виходили із нього;

д) виймали зразок з води та осушували його поверхню від залишків води, протираючи його вологою тканиною;

е) одразу після осушування поверхні зразка визначали масу насиченого зразка з осушеною поверхнею у повітряному середовищі (m_3);

є) розраховували об'ємну густину зразка (ρ_{bssd}) з точністю до 0,001 Мг/м³ відповідно до формули (2):

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \cdot \rho_w, \quad (2)$$

де ρ_{bssd} — об'ємна густина, в мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);

m_1 — маса сухого зразка, у грамах (г);

m_2 — маса насиченого зразка у воді, у грамах (г);

m_3 — маса насиченого зразка з осушеною поверхнею, у грамах (г);

ρ_w — густина води за температури випробування, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³).

Уміст повітряних пор

Повітряні пори є пустотами між зернами заповнювача, які вкриті бітумом, в ущільненому зразку асфальтобетону.

Уміст повітряних пор є об'ємом повітряних пор у зразку асфальтобетону, визначений у відсотках від загального об'єму цього зразка.

Уміст повітряних пор в зразку асфальтобетону обчислювали з використанням найбільшої густини асфальтобетонної суміші та об'ємної густини асфальтобетону з точністю до 0,1 % за формулою (3):

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \cdot 100, \quad (3)$$

де V_m — уміст повітряних пор, % за об'ємом;

ρ_m — найбільша густина асфальтобетонної суміші, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);

ρ_b — об'ємна густина зразка асфальтобетону, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³).

Пори, заповнені в'язучим

Пори, заповнені в'язучим, є відсотком пор у мінеральному заповнювачі, що заповнені в'язучим.

Відсоток пор у мінеральному заповнювачі, заповнених в'язучим, обчислювали за вмістом в'язучого та пор у мінеральному заповнювачі, а також об'ємної густини асфальтобетону та густини в'язучого з точністю до 0,1 % за формулою (4):

$$VFB = \left(\left(B \cdot \frac{\rho_b}{\rho_B} \right) \cdot VMA \right) \cdot 100 \%, \quad (4)$$

де VFB — відсоток пор в мінеральному заповнювачі, заповнених в'язучим, % за об'ємом;

B — відсоток в'язучого в зразку асфальтобетону (в 100 % суміші), % за об'ємом;

ρ_b — об'ємна густина зразка асфальтобетону, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);

ρ_B — густина в'язучого, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);

VMA — уміст пор в мінеральному заповнювачі, % за об'ємом.

Уміст пор у мінеральному заповнювачі

Уміст пор в мінеральному заповнювачі є об'ємом міжзернових пустот між зернами заповнювача ущільненої асфальтобетонної суміші, що складається з об'єму повітряних пор та об'єму бітумного в'язучого у зразку асфальтобетону, визначений у відсотках від загального об'єму зразка. Уміст пор в мінеральному заповнювачі з точністю до 0,1 % розраховували за формулою (5):

$$VMA = V_m + B \cdot \rho_b / \rho_B, \quad (5)$$

- де VMA — уміст пор в мінеральному заповнювачі, % за об'ємом;
 V_m — уміст повітряних пор в зразку, % за об'ємом;
 B — уміст в'язучого в зразку асфальтобетону (у 100 % суміші), % за масою;
 ρ_b — об'ємна густина зразка асфальтобетону, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);
 ρ_B — густина в'язучого, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³).

Найбільша густина

Найбільшою густиною є маса асфальтобетонної суміші на одиницю об'єму без повітряних пустот за заданої температури випробування. Найбільшу густину у поєднанні з об'ємною густиною використовують для обчислення вмісту повітряних пор в ущільненому зразку та інших об'ємних властивостей ущільненої асфальтобетонної суміші.

Найбільшу густину обчислювали з точністю до 0,001 Мг/м³ за формулою (6):

$$\rho_{mc} = \frac{100}{(p_{a1} / \rho_{a1}) + (p_{a2} / \rho_{a2}) + \dots + (p_b / \rho_{b1})}, \quad (6)$$

- де ρ_{mc} — найбільша густина, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);
 p_{a1} — уміст у суміші мінерального заповнювача 1, % за масою;
 ρ_{a1} — об'ємна густина мінерального заповнювача 1, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);
 p_{a2} — уміст у суміші мінерального заповнювача 2, % за масою;
 ρ_{a2} — об'ємна густина мінерального заповнювача 2, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);
 p_b — вміст у суміші в'язучого, % за масою;
 ρ_b — густина бітумного в'язучого, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);
 $p_{a1} + p_{a2} + \dots + p_b = 100,0$ % (за масою).

Водонасичення

Водонасичення визначали згідно з розділом 14 ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [11]. Це випробування полягає у визначенні кількості води, яку поглинає зразок асфальтобетону за заданого режиму насичення.

Міцність на стиск

Міцність на стиск визначали згідно з розділом 16 ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [11]. Це випробування полягає у визначенні граничної напруги, яка призводить до руйнування зразка асфальтобетону за заданих умов випробування.

Дослідження впливу ущільнювального зусилля та вмісту бітуму на властивості асфальтобетонів типу А1

Для цього дослідження було прийнято асфальтобетони, виготовлені з використанням гіраторного ущільнювача за кількості обертів від 40 до 160 та вмісту бітуму від 3,8 % за масою до 5,0 % за масою.

Результати випробування показали, що із збільшенням вмісту бітуму має місце зменшення найбільшої густини асфальтобетонної суміші (**рис. 2**). Залежність зменшення найбільшої густини від вмісту бітуму має лінійний характер.

Зворотну тенденцію має залежність об'ємної густини асфальтобетону від вмісту бітуму (**рис. 3**). У даному випадку збільшення вмісту бітуму призводить до зростання об'ємної густини асфальтобетону. За 40 обертів збільшення вмісту бітуму з 3,8 % за масою до 5,0 % за масою призводить до зростання об'ємної густини на 0,052 Мг/м³ з 2,293 Мг/м³ до 2,345 Мг/м³. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні ущільнювального зусилля від 40 обертів до 160 обертів. За вмісту бітуму 3,8 % за масою збільшення кількості обертів з 40 до 160 призводить до зростання

об'ємної густини на $0,097 \text{ Мг/м}^3$ з $2,293 \text{ Мг/м}^3$ до $2,390 \text{ Мг/м}^3$. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні вмісту бітуму. Уміст бітуму не впливає на залежність зміни об'ємної густини асфальтобетону від кількості обертів.

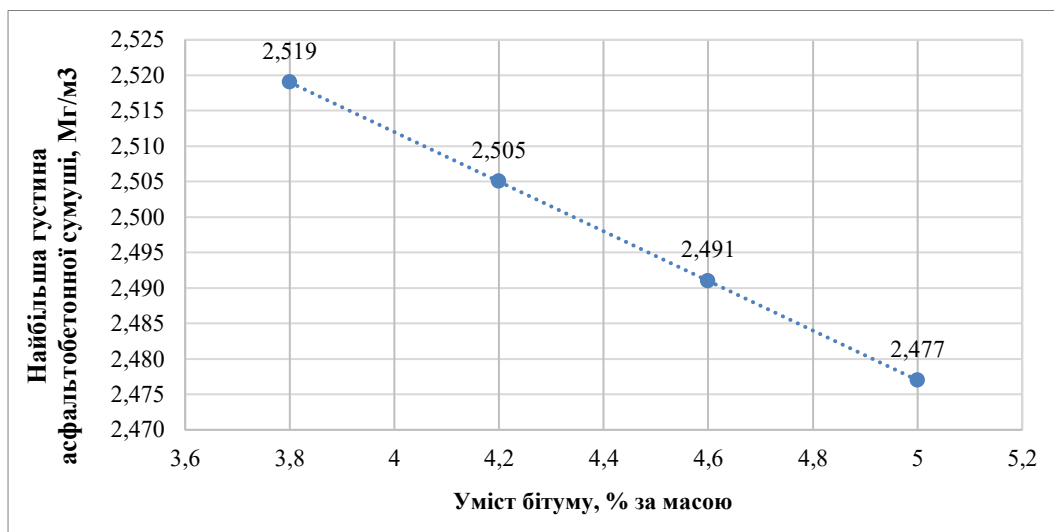


Рисунок 2 — Залежність найбільшої густини асфальтобетонної суміші типу А1 від умісту бітуму

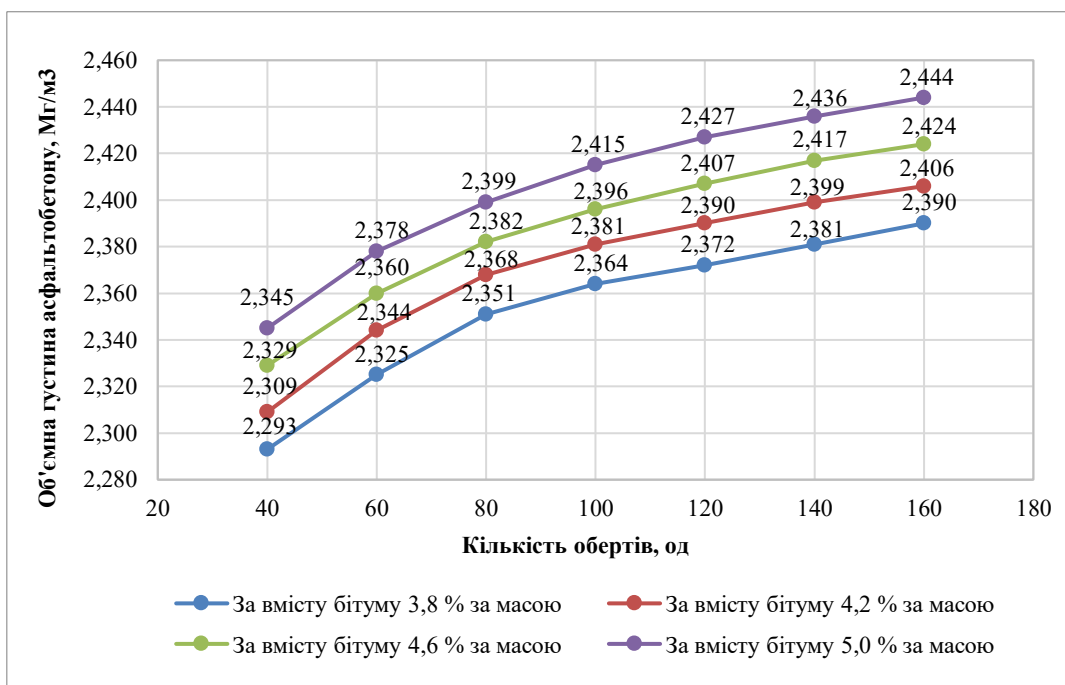


Рисунок 3 — Залежність об'ємної густини асфальтобетону типу А1 від умісту бітуму та ущільнювального зусилля

Збільшення об'ємної густини асфальтобетону пов'язано як із поліпшенням ущільнення асфальтобетонної суміші в результаті збільшення вмісту бітуму, так і з більшим заповненням повітряних пор, про що свідчать значення вмісту пор у мінеральному заповнювачі (рис. 4).

За 40 обертів збільшення вмісту бітуму з 3,8 % за масою до 5,0 % за масою призводить до зменшення вмісту пор у мінеральному заповнювачі на 0,9 % за об'ємом з 17,2 % за об'ємом до 16,3 % за об'ємом. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні ущільнювального зусилля від 40 обертів до 160 обертів. За вмісту бітуму 3,8 % за масою збільшення кількості обертів з 40 до 160 призводить до зменшення вмісту пор у мінеральному заповнювачі на 3,5 % за об'ємом з 17,2 % за об'ємом до 13,7 % за об'ємом. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні вмісту бітуму. Уміст бітуму не впливає на залежність зміни вмісту пор у мінеральному заповнювачі від кількості обертів.

Наразі в ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12] встановлено, що обсяг пор в мінеральному заповнювачі (пористість мінерального кістяка) в асфальтобетоні типу А1 повинен становити від 15 % за об'ємом до 19 % за об'ємом. З **рис. 4** видно, що за 40 обертів всі випробувані асфальтобетони відповідають цим вимогам. Однак із збільшенням кількості обертів всі асфальтобетони вже не відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12]. Для вмісту бітуму 3,8 % за масою така невідповідність настає за більше ніж 80 обертів, для вмісту бітуму 4,2 % за масою та 4,6 % за масою — за більше ніж 70 обертів, а для вмісту бітуму 5,0 % за масою — за більше ніж 60 обертів. Однак у цьому діапазоні ущільнювального зусилля практично всі випробувані асфальтобетони не відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12] за вмістом повітряних пор (залишковою пористістю). Це може свідчити про необґрунтованість встановлених вимог. Аналізування літературних джерел показало, що ні обсяг пор у мінеральному заповнювачі, ні вміст повітряних пор не були предметом досліджень вітчизняних вчених. Усі досліджування були обмежені визначенням об'ємної густини та водонасичення асфальтобетону. Відповідно до таблиці 6.5 [2] обсяг пор у мінеральному заповнювачі залежить від найбільшого номінального розміру зерен заповнювача у складі асфальтобетонної суміші. У випадку асфальтобетонної суміші з найбільшим номінальним розміром зерен заповнювача 37,5 мм обсяг пор у мінеральному заповнювачі повинен становити не менше ніж 11,0 % за об'ємом, а у разі зменшення найбільшого номінального розміру зерен заповнювача до 9,5 мм — не менше ніж 15,0 % за об'ємом. Отже обсяг пор у мінеральному заповнювачі залежить від найбільшого номінального розміру зерен заповнювача та може становити менше ніж 15,0 % за об'ємом.

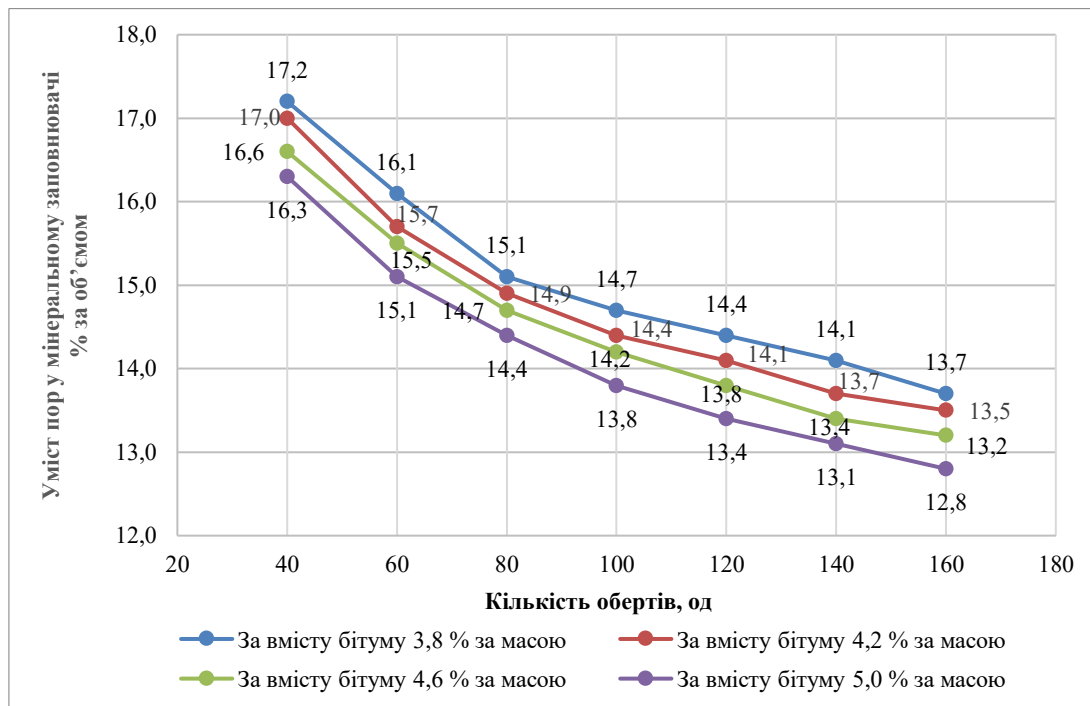


Рисунок 4 — Залежність вмісту пор у мінеральному заповнювачі асфальтобетону типу А1 від вмісту бітуму та ущільнювального зусилля

Схожою є залежність зміни вмісту повітряних пор від вмісту бітуму та кількості обертів (рис. 5), що є логічним, оскільки вміст повітряних пор фактично є різницею між умістом пор у мінеральному заповнювачі та об'ємом бітуму у складі асфальтобетонної суміші. За 40 обертів збільшення вмісту бітуму з 3,8 % за масою до 5,0 % за масою призводить до зменшення вмісту повітряних пор на 3,7 % за об'ємом з 9,0 % за об'ємом до 5,3 % за об'ємом. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні ущільнювального зусилля від 40 обертів до 160 обертів. За вмісту бітуму 3,8 % за масою збільшення кількості обертів з 40 до 160 призводить до зменшення вмісту повітряних пор на 3,9 % за об'ємом з 9,0 % за об'ємом до 5,1 % за об'ємом. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні вмісту бітуму. Уміст бітуму не впливає на залежність зміни вмісту повітряних пор від кількості обертів.

Наразі в ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12] встановлено, що вміст повітряних пор в асфальтобетоні типу А1 повинен становити від 2,0 % за об'ємом до 5,0 % за об'ємом. З рис. 5 видно, що за вмісту бітуму 3,8 % за масою у всьому діапазоні ущільнювального зусилля вміст повітряних пор є більшим за показники, встановлені ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12]. Збільшення вмісту бітуму призводить до зменшення вмісту повітряних пор, тому вже за вмісту бітуму 4,2 % за масою та ущільнювального зусилля близько 100 обертів може бути отримано показники вмісту повітряних пор, які відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12]. У разі збільшення кількості обертів має місце зменшення вмісту повітряних пор, однак навіть після 160 обертів показник умісту повітряних пор відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12] та становить 3,9 % за об'ємом.

За подальшого збільшення вмісту бітуму до 4,6 % за масою та 5,0 % за масою має місце зменшення вмісту повітряних пор. Для випробуваного асфальтобетону найменше можливе значення вмісту повітряних пор 2,0 % за об'ємом досягнуто за вмісту бітуму 5,0 % за масою та ущільнювального зусилля в 120 обертів. Отже, потрібних показників умісту повітряних пор можна досягнути в діапазоні вмісту бітуму від 4,2 % за масою до 5,0 % за масою та ущільнювального зусилля від майже 40 до 160 обертів. Якщо орієнтуватися на середній показник умісту повітряних пор 3,5 % за об'ємом, то за вмісту бітуму 4,2 % за масою його можна досягнути за ущільнювального зусилля більше ніж 160 обертів, за вмісту бітуму 4,6 % за масою — майже в 120 обертів, а за вмісту бітуму 5,0 % за масою — більше ніж 70 обертів.

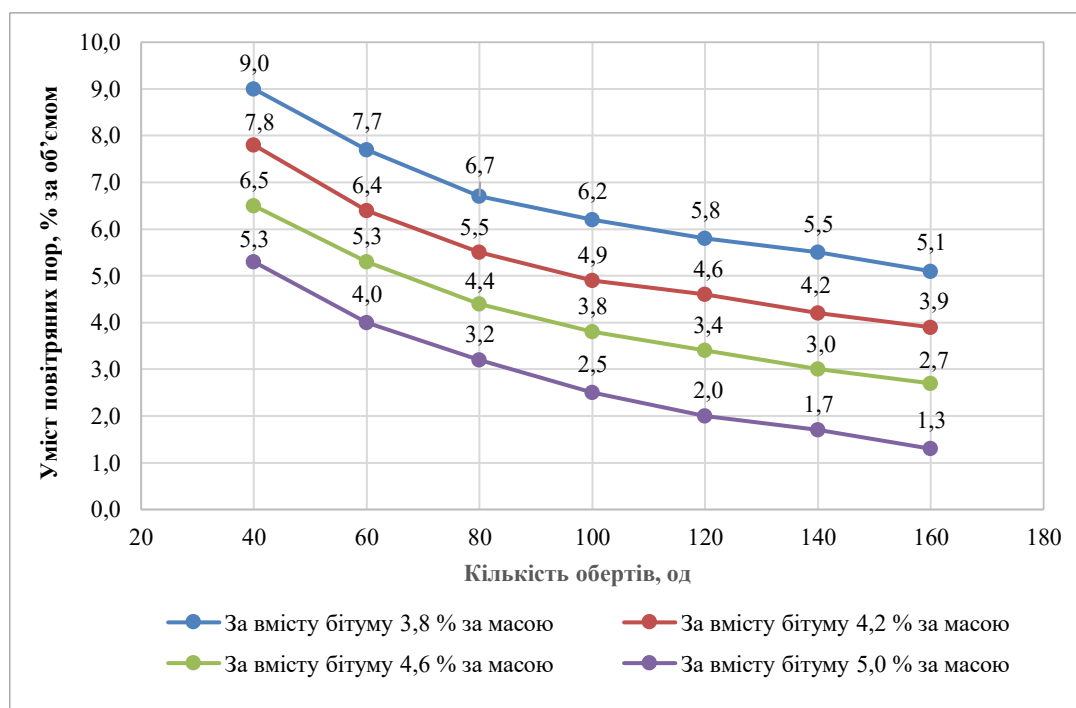


Рисунок 5 — Залежність вмісту повітряних пор асфальтобетону типу А1 від вмісту бітуму та ущільнювального зусилля

Має місце збільшення обсягу пор, заповнених в'язучим, у міру збільшення вмісту бітуму та ущільнювального зусилля (**рис. 6**). За 40 обертів збільшення вмісту бітуму з 3,8 % за масою до 5,0 % за масою призводить до збільшення обсягу пор, заповнених в'язучим, на 3,7 % з 47,9 % до 52,1 %. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні ущільнювального зусилля від 40 обертів до 160 обертів. За вмісту бітуму 3,8 % за масою збільшення кількості обертів з 40 до 160 призводить до збільшення обсягу пор, заповнених в'язучим, на 14,8 % з 47,9 % до 62,7 %. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні вмісту бітуму.

Наразі в Україні не встановлені вимоги до показників обсягу пор, заповнених в'язучим. Відповідно до таблиці 6.5 [2] обсяг пор, заповнених в'язучим, може становити від 65 % до 80 %. За вмісту бітуму 3,8 % за масою потрібного показника обсягу пор, заповнених в'язучим, не було досягнуто. За вмісту бітуму 4,2 % за масою потрібного показника обсягу пор, заповнених в'язучим, досягнуто майже за 100 обертів, за вмісту бітуму 4,6 % за масою — майже за 60 обертів, а за вмісту бітуму 5,0 % за масою – менше ніж за 40 обертів. Показників обсягу пор, заповнених в'язучим, понад 80 % отримано тільки для асфальтобетону з умістом бітуму 5,0 % за масою та ущільнювального зусилля понад 90 обертів. Отже, потрібних показників обсягу пор, заповнених в'язучим, можна досягнути в діапазоні вмісту бітуму від 4,2 % за масою до 5,0 % за масою та ущільнювального зусилля від майже 40 до 160 обертів.

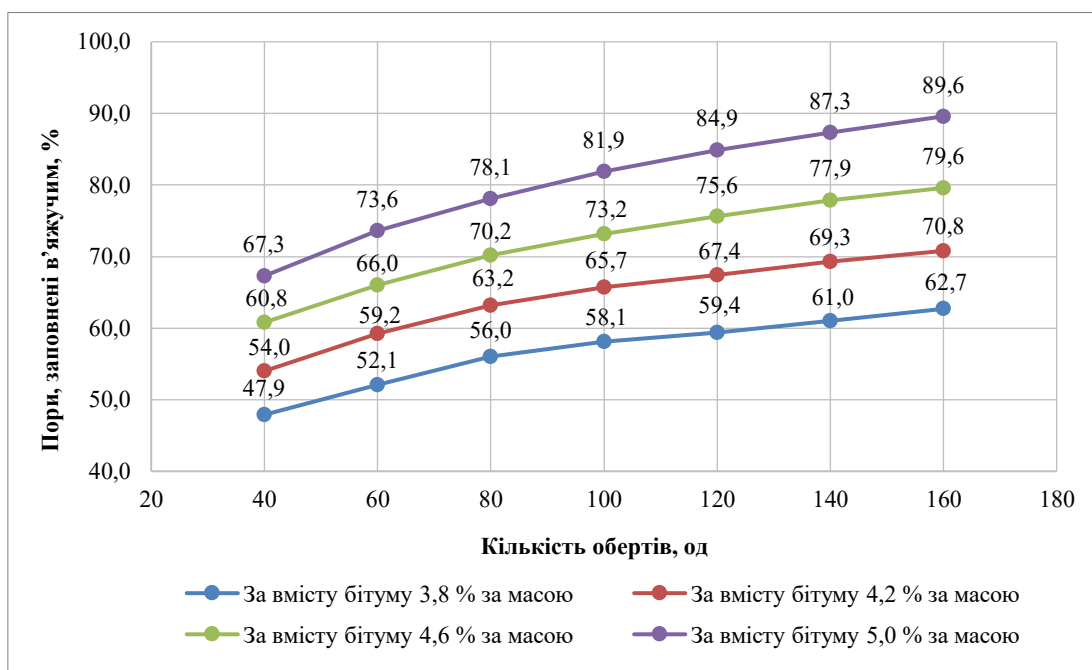


Рисунок 6 — Залежність пор, заповнених в'язучим, асфальтобетону типу А1 від вмісту бітуму та ущільнювального зусилля

Унормованих показників властивостей асфальтобетону типу А1 може бути отримано в широкому діапазоні вмісту бітуму та ущільнювального зусилля. Навіть у разі орієнтування на середні показники вмісту повітряних пор 3,5 % діапазони вмісту бітуму та ущільнювального зусилля є надто широкими. Очевидно ущільнювальне зусилля в 160 обертів та 120 обертів може бути відкинуто у зв'язку з тим, що відповідно до таблиці 6.4 [2] найбільша кількість обертів для досягнення проєктного значення вмісту повітряних пор може становити 125 обертів, хоча в цьому випадку проєктне значення вмісту повітряних пор становить 4,0 % за об'ємом, а не 3,5 % за об'ємом, у разі застосування асфальтобетонної суміші для влаштування шарів дорожнього одягу автомобільних доріг з кількістю прикладання розрахункової навантаги від 30 млн за 20 років. Отже для випробуваного асфальтобетону кількість обертів для досягнення потрібних показників властивостей

буде становити понад 70 обертів. Ураховуючи, що в ДСТУ EN 12697-31 [9] кількість обертів прийнято кратною 20, потрібну кількість обертів потрібно встановити рівною 80. За такої кількості обертів та вмісту бітуму 5,0 % за масою об'ємна густина асфальтобетону становить з 2,399 Мг/м³, обсяг пор в мінеральному заповнювачі — 14,4 % за об'ємом, уміст повітряних пор — 3,2 % за об'ємом, а обсяг пор, заповнених в'язучим, — 78,1 %.

Для уточнення потрібного ущільнювального зусилля було використано принцип «точки блокування», запропонованого в [13]. Відповідно до цього принципу за потрібну кількість обертів приймають перший з трьох послідовних обертів, що призводять до зміни висоти зразка під час його виготовлення менше ніж на 0,1 мм, які йдуть щонайменше після двох серій з двох обертів, які призводять до зміни висоти зразка менше ніж на 0,1 мм (рис. 7). За вмісту бітуму 3,8 % за масою точка блокування відповідає 72 обертам. У разі збільшення вмісту бітуму потрібна кількість обертів до досягнення точки блокування поступово збільшується і за вмісту бітуму 5,0 % за масою становить 77 обертів.

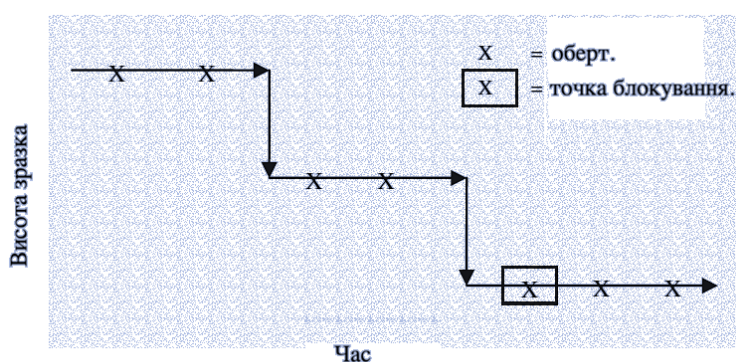


Рисунок 7 — Графічне зображення принципу «точки блокування»

Для порівняння існуючого методу ущільнення та гіраторного ущільнення було виготовлено зразки з асфальтобетонної суміші типу А1 з вмістом бітуму 5,0 % за масою. Отримані результати наведено в табл. 6.

Таблиця 6

Результати випробування асфальтобетонів типу А1

Ч. ч.	Характеристика, одиниця вимірювання	Показники характеристик асфальтобетону, виготовлених	
		за 80 обертів	пресуванням
1	Уміст бітуму (понад 100 %), % за масою	5,000	5,000
2	Ущільнювальне зусилля	80 обертів	30 МПа
3	Найбільша густина асфальтобетонної суміші, Мг/м ³	2,477	2,477
4	Об'ємна густина асфальтобетону, Мг/м ³	2,399	2,363
5	Найбільша густина суміші мінеральних матеріалів, Мг/м ³	2,669	2,669
6	Пори у мінеральному заповнювачі, % за об'ємом	14,400	15,700
7	Уміст повітряних пор, % за об'ємом	3,200	4,600
8	Пори, заповнені в'язучим, %	78,100	70,600
9	Водонасичення, % за об'ємом	2,500	3,800
10	Міцність на стиск за температури 0 °С, МПа	8,200	7,600
11	Міцність на стиск за температури 20 °С, МПа	3,200	3,000
12	Міцність на стиск за температури 50 °С, МПа	1,500	1,400

Об'ємна густина асфальтобетону, виготовленого ущільненням асфальтобетонної суміші пресуванням, є меншою за об'ємну густину асфальтобетону, виготовленого ущільненням асфальтобетонної суміші за 80 обертів. Відношення відповідних об'ємних густин становить 0,985. Такі результати можна вважати позитивними, оскільки зазвичай коефіцієнт ущільнення асфальтобетонної суміші типу А1 у шарі дорожнього одягу становить понад 1,00, що свідчить про недостатнє ущільнення асфальтобетонної суміші за лабораторних умов. У разі застосування 80 обертів для лабораторного ущільнення можна очікувати, що коефіцієнт ущільнення асфальтобетонної суміші типу А1 у шарі дорожнього одягу не буде перевищувати 1,00. Нижчий показник об'ємної густини призводить до збільшення вмісту повітряних пор та обсягу пор у мінеральному заповнювачі, а також до зменшення обсягу пор, заповнених в'язким. Важливим є те, що метод ущільнення не призводить до суттєвих змін міцності асфальтобетону на стиск. За всіх температур випробування різниця між міцністю асфальтобетонів на стиск становить менше ніж 10 % та ймовірно пов'язана з більшим ущільненням асфальтобетонної суміші за гіраторного ущільнення.

Дослідження впливу ущільнювального зусилля та вмісту бітуму на властивості асфальтобетонів типу А-Б

Для цього дослідження було прийнято асфальтобетони, виготовлені з використанням гіраторного ущільнювача за кількості обертів від 40 до 160 та вмісту бітуму від 3,8 % за масою до 4,4 % за масою.

Результати випробування показали, що як і у випадку асфальтобетонної суміші типу А1 із збільшенням вмісту бітуму має місце зменшення найбільшої густини асфальтобетонної суміші (рис. 8). Залежність зменшення найбільшої густини від вмісту бітуму має лінійний характер.

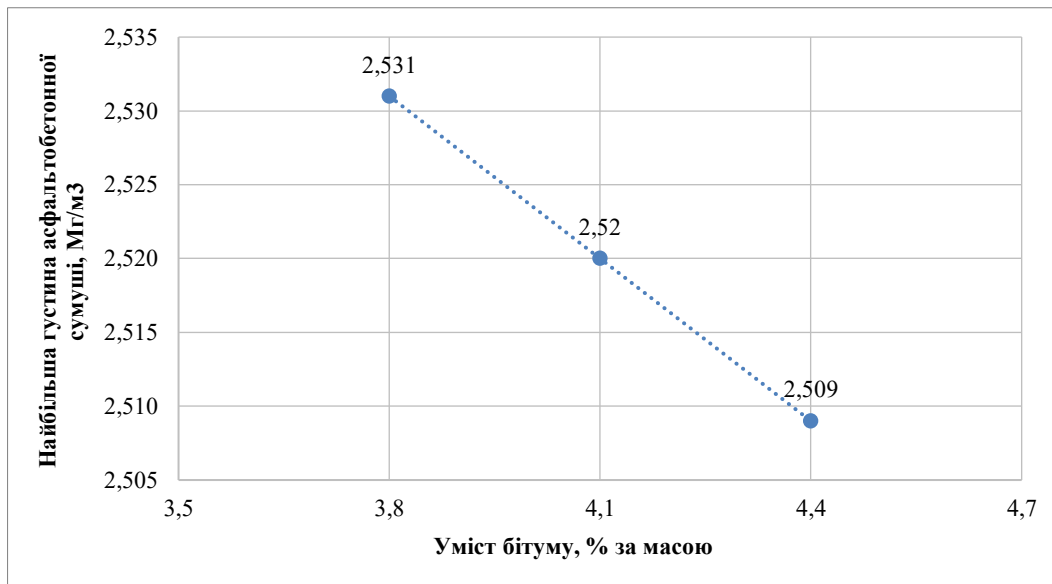


Рисунок 8 — Залежність найбільшої густини асфальтобетонної суміші типу А-Б від вмісту бітуму

Зворотну тенденцію має залежність об'ємної густини асфальтобетону від вмісту бітуму (рис. 9). У цьому випадку збільшення вмісту бітуму призводить до зростання об'ємної густини асфальтобетону. За 40 обертів збільшення вмісту бітуму з 3,8 % за масою до 4,4 % за масою призводить до зростання об'ємної густини на 0,049 Мг/м³ з 2,269 Мг/м³ до 2,318 Мг/м³. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні ущільнювального зусилля від 40 обертів до 160 обертів. За вмісту бітуму 3,8 % за масою збільшення кількості обертів з 40 до 160 призводить до зростання об'ємної густини на 0,104 Мг/м³ з 2,269 Мг/м³ до 2,373 Мг/м³. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні вмісту бітуму. Вміст бітуму не впливає на залежність зміни об'ємної густини асфальтобетону від кількості обертів.

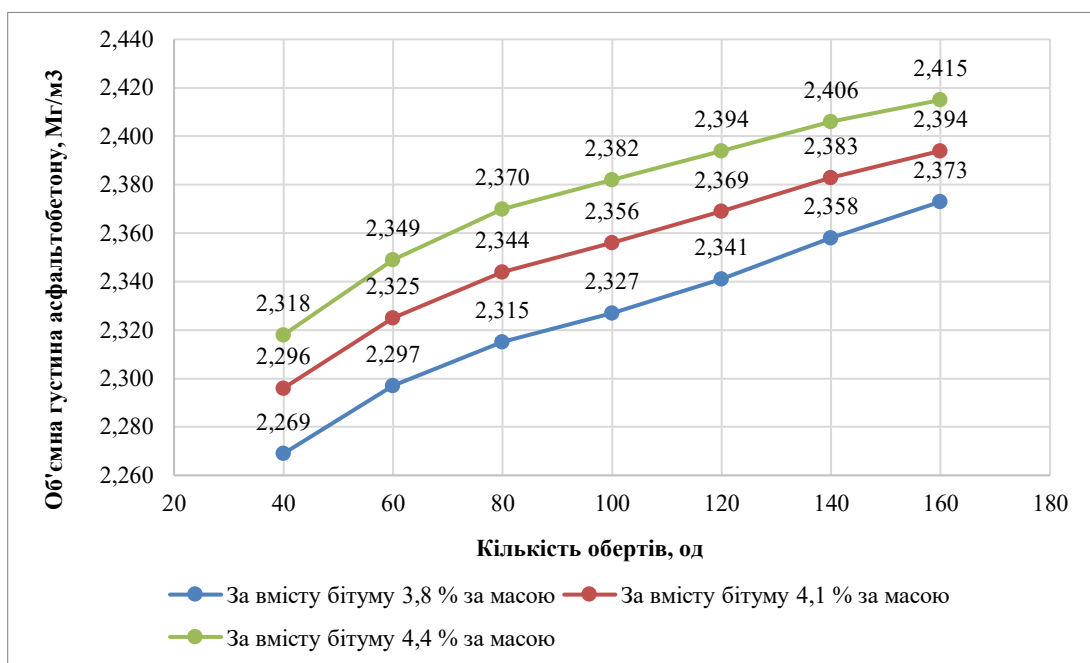


Рисунок 9 — Залежність об'ємної густини асфальтобетону типу А-Б від умісту бітуму та ущільнювального зусилля

Збільшення об'ємної густини асфальтобетону пов'язано як із поліпшенням ущільнення асфальтобетонної суміші в результаті збільшення вмісту бітуму, так і з більшим заповненням повітряних пор, про що свідчать значення вмісту пор у мінеральному заповнювачі (**рис. 10**). За 40 обертів збільшення вмісту бітуму з 3,8 % за масою до 4,4 % за масою призводить до зменшення вмісту пор у мінеральному заповнювачі на 1,3 % за об'ємом з 18,5 % за об'ємом до 17,2 % за об'ємом. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні ущільнювального зусилля від 40 обертів до 160 обертів. За вмісту бітуму 3,8 % за масою збільшення кількості обертів з 40 до 160 призводить до зменшення вмісту пор у мінеральному заповнювачі на 3,7 % за об'ємом з 18,5 % за об'ємом до 14,8 % за об'ємом. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні вмісту бітуму. Уміст бітуму не впливає на залежність зміни вмісту пор у мінеральному заповнювачі від кількості обертів.

Наразі в ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12] встановлено, що обсяг пор в мінеральному заповнювачі в асфальтобетоні типу А-Б повинен становити не більше ніж 23 % за об'ємом. З **рис. 10** видно, що всі випробувані асфальтобетони мали обсяг пор у мінеральному заповнювачі менше ніж 23 % за об'ємом.

Схожою є залежність зміни вмісту повітряних пор від вмісту бітуму та кількості обертів (**рис. 11**). За 40 обертів збільшення вмісту бітуму з 3,8 % за масою до 4,4 % за масою призводить до зменшення вмісту повітряних пор на 2,7 % за об'ємом з 10,3 % за об'ємом до 7,6 % за об'ємом. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні ущільнювального зусилля від 40 обертів до 160 обертів. За вмісту бітуму 3,8 % за масою збільшення кількості обертів з 40 до 160 призводить до зменшення вмісту повітряних пор на 4,1 % за об'ємом з 10,3 % за об'ємом до 6,2 % за об'ємом. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні вмісту бітуму. Уміст бітуму не впливає на залежність зміни вмісту повітряних пор від кількості обертів.

Наразі в ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12] встановлено, що вміст повітряних пор в асфальтобетоні типу А-Б повинен становити не більше ніж 10,0 % за об'ємом. Нижній показник умісту повітряних пор не встановлено, хоча відповідно до класифікації цей асфальтобетон повинен мати вміст повітряних пор не менше ніж 5,0 % за об'ємом. З **рис. 11** видно, що за вмісту бітуму 3,8 % за масою у діапазоні ущільнювального зусилля понад 40 обертів до понад 80 обертів уміст повітряних пор відповідає встановленим показникам.

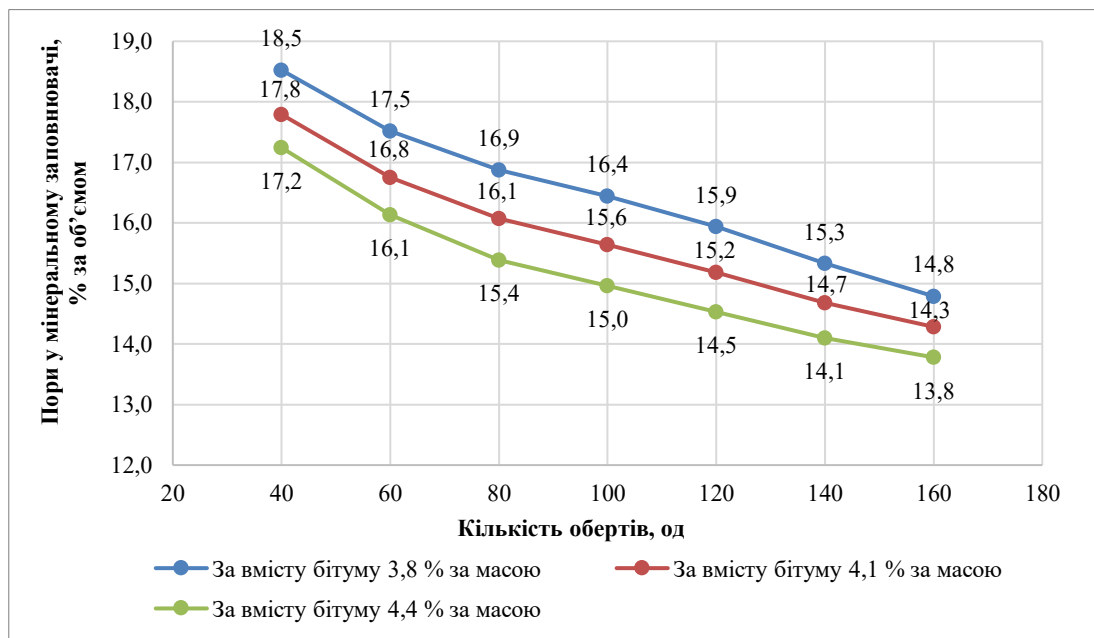


Рисунок 10 — Залежність обсягу пор у мінеральному заповнювачі асфальтобетону типу А-Б від умісту бітуму та ущільнювального зусилля

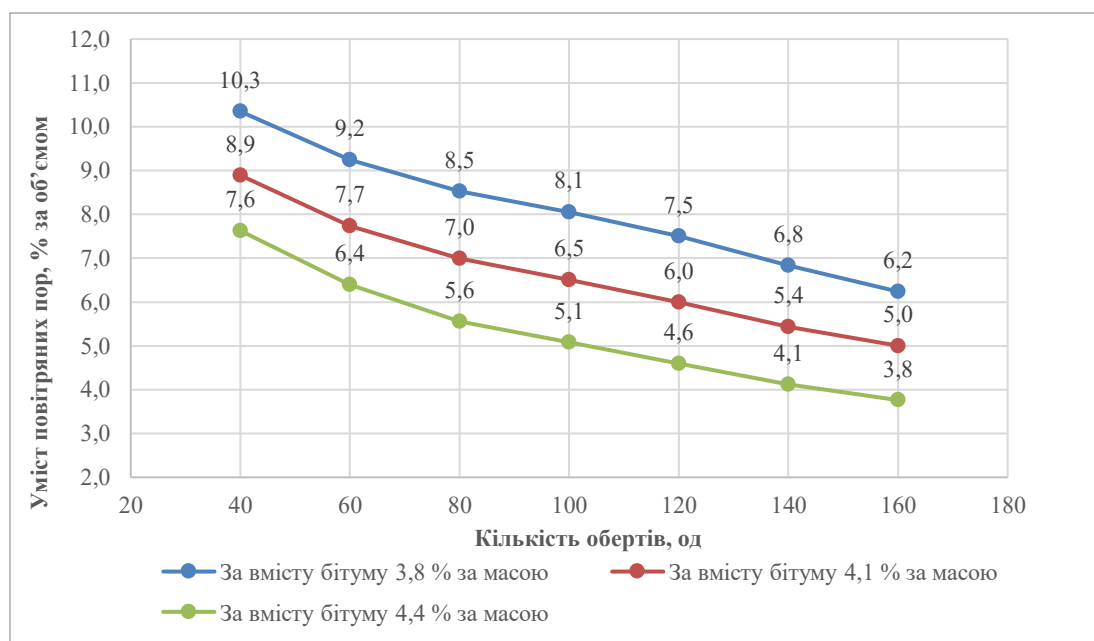


Рисунок 11 — Залежність вмісту повітряних пор асфальтобетону типу А-Б від вмісту бітуму та ущільнювального зусилля

Збільшення вмісту бітуму призводить до зменшення вмісту повітряних пор, за вмісту бітуму 4,1 % за масою, ущільнювального зусилля менше ніж 40 обертів та більше ніж 160 обертів може бути отримано показники вмісту повітряних пор, які відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12], за вмісту бітуму 4,4 % за масою, ущільнювального зусилля менше ніж 40 обертів та близько 100 обертів може бути отримано показники вмісту повітряних пор, які відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12]. Отже, потрібних показників вмісту повітряних

пор можна досягнути в діапазоні вмісту бітуму від 3,8 % за масою до 4,4 % за масою та ущільнювального зусилля від менше ніж 40 обертів до більше ніж 160 обертів. Якщо орієнтуватися на середній показник умісту повітряних пор 7,5 % за об'ємом, то за вмісту бітуму 3,8 % за масою його можна досягнути за ущільнювального зусилля 120 обертів, за вмісту бітуму 4,1 % за масою — майже 60 обертів, а за вмісту бітуму 4,4 % за масою — майже 40 обертів.

Має місце збільшення обсягу пор, заповнених в'язучим, у міру збільшення вмісту бітуму та ущільнювального зусилля (рис. 12). За 40 обертів збільшення вмісту бітуму з 3,8 % за масою до 4,4 % за масою призводить до збільшення обсягу пор, заповнених в'язучим, на 11,7 % з 44,1 % до 55,8 %. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні ущільнювального зусилля від 40 обертів до 160 обертів. За вмісту бітуму 3,8 % за масою збільшення кількості обертів з 40 до 160 призводить до збільшення обсягу пор, заповнених в'язучим, на 13,7 % з 44,1 % до 57,8 %. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні вмісту бітуму.

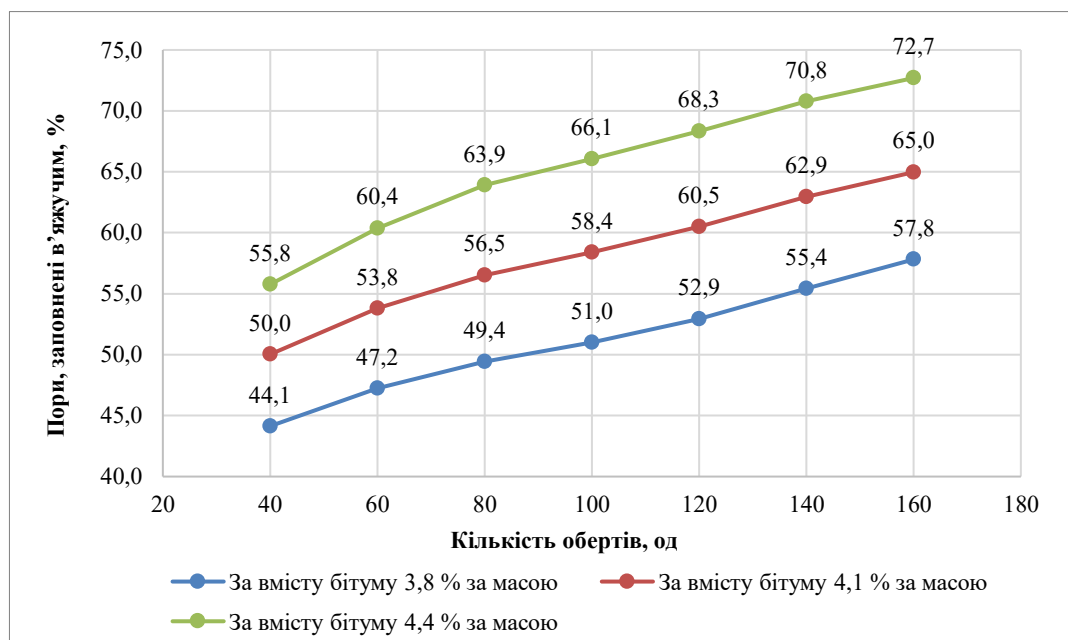


Рисунок 12 — Залежність пор, заповнених в'язучим, асфальтобетону типу А-Б від вмісту бітуму та ущільнювального зусилля

Вимоги [2] щодо обсягу пор, заповнених в'язучим, застосовні до асфальтобетону з проектним значенням умісту повітряних пор 4,0 % за об'ємом або ж до щільного асфальтобетону відповідно до класифікації ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12], тому на них не доцільно орієнтуватися під час оцінювання показника обсягу пор, заповнених в'язучим, пористого асфальтобетону. Можна констатувати, що за ущільнювального зусилля у 80 обертів для випробуваного асфальтобетону показники вмісту повітряних пор становлять від 5,6 % за об'ємом до 8,5 % за об'ємом, а показники пор, заповнених в'язучим, — від 49,4 % до 63,9 %. Ймовірно оптимальний діапазон показників вмісту пор, заповнених в'язучим, для пористого асфальтобетону буде наближеним до вказаного діапазону показників.

Як і в попередньому випадку потрібну кількість обертів доцільно встановити рівною 80. За такої кількості обертів та вмісту бітуму 4,1 % за масою об'ємна густина асфальтобетону становить з 2,344 Мг/м³, обсяг пор в мінеральному заповнювачі — 16,1 % за об'ємом, уміст повітряних пор — 7,0 % за об'ємом, а обсяг пор, заповнених в'язучим — 56,5 %.

Використавши концепцію «точки блокування» встановлено, що за вмісту бітуму 4,1 % за масою «точка блокування» відповідає 67 обертам, тобто отримана асфальтобетонна суміш типу А-Б є більш легкоущільнюваною ніж асфальтобетонна суміш типу А1.

Для порівняння існуючого методу ущільнення та гіраторного ущільнення було виготовлено зразки з асфальтобетонної суміші типу А-Б з вмістом бітуму 4,1 % за масою. Отримані результати наведені в табл. 7.

Таблиця 7

Результати випробування асфальтобетонів типу А-Б

Ч. ч.	Характеристика, одиниця вимірювання	Показники характеристик асфальтобетону, виготовлених	
		за 80 обертів	пресуванням
1	Уміст бітуму (понад 100 %), % за масою	4,1	4,1
2	Ущільнювальне зусилля	80 обертів	30 МПа
3	Найбільша густина асфальтобетонної суміші, Мг/м ³	2,520	2,520
4	Об'ємна густина асфальтобетону, Мг/м ³	2,344	2,331
5	Найбільша густина суміші мінеральних матеріалів, Мг/м ³	2,683	2,683
6	Пори у мінеральному заповнювачі, % за об'ємом	16,1	16,5
7	Уміст повітряних пор, % за об'ємом	7,0	7,5
8	Пори, заповнені в'язким, %	56,5	54,6
9	Міцність на стиск за температури 20 °С, МПа	2,5	2,3
10	Міцність на стиск за температури 50 °С, МПа	1,2	1,1

Об'ємна густина асфальтобетону, виготовленого ущільненням асфальтобетонної суміші пресуванням, є меншою за об'ємну густина асфальтобетону, виготовленого ущільненням асфальтобетонної суміші за 80 обертів. Відношення відповідних об'ємних густин становить 0,994, що свідчить про близькість отриманих значень об'ємної густини. Нижчий показник об'ємної густини призводить до незначного збільшення вмісту повітряних пор та обсягу пор у мінеральному заповнювачі, а також до зменшення обсягу пор, заповнених в'язким. Важливим є те, що метод ущільнення не призводить до суттєвих змін міцності асфальтобетону на стиск.

Висновки

Об'ємні властивості асфальтобетонів залежать від вмісту бітуму в асфальтобетонній суміші. Збільшення вмісту бітуму призводить до зменшення найбільшої густини асфальтобетонної суміші, зменшення вмісту повітряних пор та обсягу пор в мінеральному заповнювачі, а також збільшення об'ємної густини асфальтобетону та вмісту пор, заповнених в'язким.

Об'ємні властивості асфальтобетонів суттєво залежать від ущільнювального зусилля. Із збільшенням кількості обертів має місце збільшення об'ємної густини асфальтобетону та вмісту пор, заповнених в'язким, а також зменшення вмісту повітряних пор та обсягу пор в мінеральному заповнювачі. Зміна показників об'ємних властивостей асфальтобетонів має згасаючий характер із збільшенням кількості обертів.

Потрібний уміст повітряних пор може бути досягнуто в широкому діапазоні вмісту бітуму та ущільнювального зусилля. Використання принципу «точки блокування» дозволило визначити оптимальну кількість обертів на рівні 80.

Порівняльні дослідження асфальтобетонів, виготовлених ущільненням за 80 обертів та пресуванням за тиску 30 МПа, показали що отримувані асфальтобетони типу А-Б мають близькі показники об'ємних та механічних властивостей, при цьому гіраторне ущільнення є дещо ефективнішим. Різниця між показниками вмісту повітряних пор становить 0,5 % за об'ємом, різниця між показниками міцності — менше ніж 10 %, а відношення показників об'ємної густини становить 0,994.

У випадку асфальтобетонів типу А1 має місце суттєвіша відмінність в показниках об'ємних властивостей, при цьому гіраторне ущільнення є ефективнішим. Різниця між показниками вмісту повітряних пор становить 1,4 % за об'ємом, різниця між показниками міцності — менше ніж 10 %, а відношення показників об'ємної густини становить 0,985.

Отримані відмінності можна пов'язати з процедурою наповнення форми за використання пресування. Відповідно до якої виконують пошарове штикування асфальтобетонної суміші, яке призводить до переміщення дрібного заповнювача донизу та, відповідно, концентрування крупного заповнювача у верхній частині проштикованого шару. У разі гіраторного ущільнення таке штикування не виконують. Також отримані відмінності можна пов'язати з умовами нерівномірного навантажування у процесі ущільнювання, яке суттєвого зростає з часом навантажування та може призводити до подрібнення крупного заповнювача на завершальній стадії ущільнення.

Для виготовлення зразків асфальтобетону під час підбирання складу крупнозернистих асфальтобетонних сумішей та контролювання їх вироблення доцільно використовувати ущільнювальне зусилля у 80 обертів, яке є ефективнішим за ущільнення пресуванням під тиском 30 МПа, сприятиме отриманню більш «жорстких» асфальтобетонних сумішей та належному ущільненню асфальтобетонних сумішей у виробничих умовах, яке не буде ефективнішим за лабораторне ущільнення, та не буде призводити до отримання асфальтобетону з низьким вмістом повітряних пор. Ураховуючи загальні тенденції щодо зменшення ущільнювального зусилля із зменшенням кількості прикладань розрахункової навантаги, для підбирання складу асфальтобетонних сумішей для влаштування шарів дорожнього одягу автомобільних доріг з незначною кількістю прикладань розрахункової навантаги може бути використано ущільнювальне зусилля у 60 обертів.

Проведення наступних лабораторних досліджень потрібно спрямувати на встановлення оптимального ущільнювального зусилля для дрібнозернистих та піщаних асфальтобетонних сумішей за використання гіраторного ущільнення, а також на оптимізування лабораторного ущільнення пресуванням.

Список літератури

1. Копинець І. В., Соколов О. В., Желтобрюх А. Д., Головченко В. С. Огляд методів проектування складу асфальтобетонних сумішей. *Дороги і мости*. Київ, 2023. Вип. 27. С. 81–90. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.081>.
2. Asphalt Design Mix Methods. 7th Edition. USA, 2014. 188 p.
3. The Shell Bitumen Handbook, Sixth edition, Dr Robert N. Hunter, Andy Self and Professor John Read, Shell International Petroleum Company Ltd, 2015.
4. AASHTO R 35-22 Standard Practice for Superpave Volumetric Design for Asphalt Mixtures. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2022. (Інформація та документація).
5. AP-T376-24 Validation of Superpave™ Method of Asphalt Compaction for Australasia. ISBN: 978-1-922994-24-0. (Інформація та документація).
6. Копинець І. В., Соколов О. В., Желтобрюх А. Д., Головченко В. С. Залежність об'ємних властивостей асфальтобетону від найбільшого номінального розміру зерен заповнювача та методу ущільнення. *Дороги і мости*. Київ, 2023. Вип. 27. С. 91–110. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.091>.
7. T. W. Kennedy et al., Superior performing asphalt pavements, superpave: the product of the SHRP asphalt research program. Washington, DC, USA: Strategic Highway Research Program, National Research Council, 1994.
8. ДСТУ EN 12697-35:2019 Бітумінеральні суміші. Методи випробування. Частина 35. Лабораторне змішування. Київ, 2019. (Інформація та документація).
9. ДСТУ EN 12697-31:2021 Бітумінеральні суміші. Методи випробування. Частина 31. Підготування зразка гіраторним ущільнювачем. Київ, 2022. 19 с. (Інформація та документація).
10. ДСТУ EN 12697-6:2019 Бітумінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 6. Визначення об'ємної щільності бітумінеральних зразків. Київ, 2019. 13 с. (Інформація та документація).
11. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. Київ, 2016. 87 с. (Інформація та документація).
12. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. Київ, 2012. 49 с. (Інформація та документація).
13. Vavrik, W. R. 2000. Asphalt mixture design concepts to develop aggregate interlock. Champaign, IL: Univ. of Illinois at Urbana-Champaign.

References

1. Ivan Kopynets, Oleksii Sokolov, Anton Zheltobriukh, Vasyl Holovchenko. Review of methods for asphalt mixtures design. *Dorogi i mosti* [Roads and bridges]. Kyiv, 2023. Issue 27. P. 81–90. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.081> [in Ukrainian].
2. Asphalt Design Mix Methods. 7th Edition. USA, 2014. 188 p. [in English].
3. The Shell Bitumen Handbook, Sixth edition, Dr Robert N. Hunter, Andy Self and Professor John Read, Shell International Petroleum Company Ltd, 2015 [in English].
4. AASHTO R 35-22 Standard Practice for Superpave Volumetric Design for Asphalt Mixtures. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2022. (Information and documentation) [in English].
5. AP-T376-24 Validation of Superpave™ Method of Asphalt Compaction for Australasia. ISBN: 978-1-922994-24-0 [in English].
6. Ivan Kopynets, Oleksii Sokolov, Anton Zheltobriukh, Vasyl Holovchenko. Dependence of asphalt concrete volumetric properties on the largest nominal aggregate grain size and compaction method. *Dorogi i mosti* [Roads and bridges]. Kyiv, 2023. Issue 27. P. 91–110. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.091> [in Ukrainian].
7. T. W. Kennedy et al., Superior performing asphalt pavements, superpave: the product of the SHRP asphalt research program. Washington, DC, USA: Strategic Highway Research Program, National Research Council, 1994 [in English].
8. DSTU EN 12697-35:2019 Bitumomineral'ni sumishi. Metody vyprobuвання. Chastyna 35. Laboratorne zmishuvannya. Kyiv, 2019. (Information and documentation) [in Ukrainian].
9. DSTU EN 12697-31:2021 Bitumomineral'ni sumishi. Metody vyprobuвання. Chastyna 31. Pidhotuvannya zrazka hiratornym ushchil'nyuvachem. Kyiv, 2022. 19 p. (Informatsiya ta dokumentatsiya) [in Ukrainian].
10. DSTU EN 12697-6:2019 Bitumomineral'ni sumishi. Metody vyprobuвання haryachykh asfal'tobetonnykh sumishey. Chastyna 6. Vyznachennya ob'yemnoyi shchil'nosti bitumomineral'nykh zrazkiv. Kyiv, 2019. 13 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
11. DSTU B V.2.7-319:2016 Sumishi asfal'tobetonni i asfal'tobeton dorozhniy ta aerodromnyy. Metody vyprobuвання. Kyiv, 2016. 87 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
12. DSTU B V.2.7-119:2011 Sumishi asfal'tobetonni i asfal'tobeton dorozhniy ta aerodromnyy. Tekhnichni umovy. Kyiv, 2011. 49 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
13. Vavrik, W. R. 2000. Asphalt mixture design concepts to develop aggregate interlock. Champaign, IL: Univ. of Illinois at Urbana-Champaign [in English].

Ivan Kopynets, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-0908-4795>

Anton Zheltobriukh, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0003-0764-8793>

Oleksii Sokolov, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-4694-9647>

Oksana Sokolova, <https://orcid.org/0000-0003-4202-8661>

Alina Yunak, <https://orcid.org/0000-0002-5294-5554>

State Enterprise "National Institute for Infrastructure Development" (SE "NIDI"), Kyiv, Ukraine

**LABORATORY COMPACTION OF COARSE-GRAINED
ASPHALT MIXTURES USING A GYRATORY COMPACTOR****Abstract**

Introduction. In Ukraine, the procedure for designing asphalt mixtures includes selecting the ratio of aggregates, determining the optimal bitumen content, testing the asphalt concrete with the selected bitumen content, and refining the mix design if necessary. A similar procedure is used in the United States, the European Union, Australia, and other countries. However, the key difference lies in the equipment used to prepare asphalt concrete samples.

Problem Statement. In recent years, the method of asphalt concrete sample preparation in Ukraine using compression compaction has been subject to criticism. The main concerns include the lack of a clearly defined loading rate, potential crushing of mineral aggregate grains during sample preparation, and the fact that the compaction achieved in laboratory conditions is often lower than that in road pavement layers. These factors may lead to suboptimal asphalt mixture design and premature defect formation during operation. This necessitates research to optimize laboratory compaction of asphalt concrete mixtures, particularly through the use of a gyratory compactor.

Objective. To implement a gyratory compactor for laboratory compaction of coarse-grained asphalt mixtures.

Materials and Methods. Literature analysis and laboratory research.

Results. The volumetric properties of asphalt concrete depend on the bitumen content in the asphalt mixture. An increase in bitumen content leads to a decrease in the maximum density of the asphalt mixture, a reduction in air voids and voids in the mineral aggregate, as well as an increase in the bulk density of asphalt concrete and the volume of voids filled with binder. The volumetric properties of asphalt concrete are significantly influenced by compaction effort. With an increasing number of gyrations, bulk density and the volume of binder-filled voids increase, while air voids and the volume of voids in the mineral aggregate decrease. Changes in volumetric properties follow a diminishing trend with an increasing number of gyrations. The required air void content can be achieved over a wide range of bitumen content and compaction effort. The "locking point" principle helped determine the optimal number of gyrations at 80. Comparative studies of asphalt concrete samples compacted at 80 gyrations and under a compression pressure of 30 MPa showed that type A-B asphalt concretes exhibit similar volumetric and mechanical properties, with gyratory compaction being slightly more effective. In the case of type A1 asphalt concretes, a more significant difference in volumetric properties was observed, with gyratory compaction proving to be more effective. The compaction method had minimal impact on the mechanical properties of asphalt concretes.

Conclusions. For asphalt concrete sample preparation during the design of coarse-grained asphalt mixtures and quality control, it is advisable to use a compaction effort of 80 gyrations. This method is more effective than compression under a pressure of 30 MPa, promotes the production of "stiffer" asphalt mixtures, and ensures adequate field compaction that does not exceed laboratory compaction, thereby preventing the formation of asphalt with excessively low air void content. Considering the general trend of reducing compaction effort with decreasing applied traffic loads, a compaction effort of 60 gyrations may be used for designing coarse-grained asphalt mixtures intended for pavement layers subjected to low traffic loads.

Keywords: asphalt concrete, asphalt mixture, bitumen, gyratory compaction, aggregate, mechanical properties, volumetric properties, optimal bitumen content, compression compaction.

УДК 625.7/8

Зеленовський В. А.¹, <https://orcid.org/0000-0001-5834-5456>

Райковський В. Ф.¹, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-6391-7647>

Рибальченко С. А.¹, <https://orcid.org/0000-0002-4628-9546>

Гамеляк І. П.², д-р техн. наук, проф., <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>

¹Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна

²Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДХОДІВ ДО РОЗРАХУНКУ ВІДСТАНІ МІЖ ДЕФОРМАЦІЙНИМИ ШВАМИ В ДОРОЖНЬОМУ ЦЕМЕНТОБЕТОННОМУ ПОКРИВІ

Анотація

Вступ. Деформаційні шви є невід’ємною складовою конструкції дорожнього цементобетонного покриття, оскільки вони забезпечують компенсацію температурних та усадкових деформацій, запобігаючи неконтрольованому утворенню тріщин. Рациональне проектування відстані між деформаційними швами є одним із ключових факторів, що впливає на довговічність і несну здатність дорожнього покриття. Неправильний розрахунок цих параметрів може призвести до передчасного руйнування конструкції, зниження її експлуатаційної надійності, збільшення витрат на ремонткування і технічне обслуговування [1 – 6].

У цій статті розглядається питання удосконалення підходів до розрахунку відстані між деформаційними швами в цементобетонному покритті на основі проекту ДСТУ «Настанова з проектування жорсткого дорожнього одягу» (далі — проект ДСТУ), що наразі знаходиться на стадії розроблення ДП «НІРІ» за участі Національного транспортного університету. Запропоновані методи розроблені з урахуванням передового вітчизняного та світового досвіду проектування автомобільних доріг із жорстким дорожнім одягом, аналізу чинних нормативно-правових актів, будівельних норм, науково-технічної літератури, а також сучасних дорожньо-будівельних матеріалів і технологій. Особливу увагу приділено особливостям дорожньо-кліматичних районів України, що дозволяє адаптувати методика до реальних умов експлуатування дорожнього покриття.

Проблематика. Проектування жорсткого дорожнього одягу є складним інженерним завданням, що потребує точного урахування всіх експлуатаційних факторів, зокрема визначення оптимальної відстані між деформаційними швами. Невідповідність існуючих методик реальним умовам експлуатування може спричинити передчасне руйнування цементобетонного покриття, появу неконтрольованих тріщин та збільшення витрат на ремонткування і експлуатаційне утримування автомобільних доріг.

Сучасний підхід до проектування повинен уніфікувати та вдосконалити методика розрахунку відстані між деформаційними швами, урахуовуючи фізико-механічні властивості цементобетону, температурно-вологісний режим, тип і інтенсивність транспортного навантаження, особливості дорожньо-кліматичних районів України. Визначення відповідних параметрів має здійснюватись на основі достовірних вихідних даних, що дозволить підвищити довговічність дорожнього покриття та забезпечити ефективне використання матеріально-технічних ресурсів.

Отже, нагальною є потреба в розробленні удосконаленої методики, яка б відповідала сучасним вимогам дорожнього будівництва, сприяла підвищенню експлуатаційної надійності дорожнього цементобетонного покриття та забезпечувала економічно доцільне використання ресурсів.

Мета роботи. Сучасний розвиток дорожнього будівництва вимагає постійного вдосконалення підходів до проектування жорсткого дорожнього одягу, зокрема визначення оптимальних відстаней між деформаційними швами. Урахування новітніх наукових досліджень, сучасних матеріалів та

інноваційних технологій дозволяє підвищити довговічність і надійність цементобетонного покриття, зменшити ризик утворення тріщин та оптимізувати витрати на ремонтування і експлуатаційне утримування автомобільних доріг.

Метою роботи є інформування фахівців дорожнього господарства про новітні тенденції, методики та розробки у сфері проектування жорсткого дорожнього одягу, зокрема щодо удосконалення підходів до визначення раціональної відстані між деформаційними швами дорожнього цементобетонного покриття. Запропоновані рішення спрямовані на підвищення ефективності проєктних рішень, адаптацію існуючих методик до сучасних умов експлуатування та забезпечення економічно обґрунтованого використання матеріально-технічних ресурсів.

Матеріали і методи. Під час дослідження використано комплексний підхід, що базується на аналізі науково-технічних напрацювань у сфері проектування жорсткого дорожнього одягу, а також практичного досвіду його улаштування. Зокрема, ураховано результати досліджень, проведених ДП «НІРІ» та Національним транспортним університетом, які ґрунтуються на багаторічному досвіді надання послуг у галузі дорожнього будівництва.

Методологічною основою роботи є аналіз чинних будівельних норм і національних стандартів України, а також порівняння їх із відповідними закордонними нормативними документами та технічною літературою. Для забезпечення комплексності дослідження ураховано вітчизняний і світовий досвід, здобутий під час виконання робіт із проектування та улаштування жорсткого дорожнього одягу.

Застосовано методи математичного моделювання для визначення оптимальних відстаней між деформаційними швами, оцінки напружено-деформованого стану цементобетонних плит та прогнозування їхньої поведінки за різних експлуатаційних умов. Аналіз результатів дозволяє обґрунтувати удосконалені підходи до проектування та впровадження ефективних рішень у дорожньому будівництві.

Результати. У межах дослідження, спрямованого на впровадження сучасних методів проектування автомобільних доріг із жорстким дорожнім одягом, було розроблено проєкт ДСТУ, який містить оновлені рекомендації щодо визначення відстані між деформаційними швами в цементобетонному покритті.

Запропонована методика ураховує різні конструктивні типи дорожнього цементобетонного покриття, зокрема:

- із штировим з'єднанням плит (ЦП-Ш);
- із армуванням і штировим з'єднанням плит (ЦП-АШ);
- із безперервним армуванням (ЦП-БА) за потреби такого розрахунку;
- із використанням укочуваних цементобетонних сумішей (ЦП-У) за потреби такого розрахунку.

Оновлені підходи до розрахунку відстані між деформаційними швами базуються на сучасних наукових дослідженнях, міжнародному досвіді та практичних даних, що дозволяє підвищити довговічність цементобетонного покриття, зменшити ризик утворення неконтрольованих тріщин і покращити експлуатаційні характеристики конструкцій дорожнього одягу.

Висновки. Запропонована методика проектування жорсткого дорожнього одягу на автомобільних дорогах удосконалює існуючі підходи та встановлює науково обґрунтовані вимоги до розрахунку відстані між деформаційними швами. Вона базується на сучасних дослідженнях, ураховує конструктивні особливості дорожнього цементобетонного покриття, експлуатаційні умови та передовий світовий досвід, що дозволяє підвищити ефективність проєктних рішень.

Застосування цієї методики сприятиме покращенню експлуатаційних характеристик конструкцій дорожнього одягу, підвищенню їхньої міцності, стійкості до навантажень та довговічності. Це, у свою чергу, дасть змогу зменшити ризик передчасного утворення тріщин, скоротити витрати на ремонтування та експлуатаційне утримування дорожнього покриття, а також забезпечити більш раціональне використання матеріально-технічних ресурсів у сфері дорожнього будівництва.

Впровадження удосконаленої методики проєктування сприятиме підвищенню якості та надійності цементобетонних доріг в Україні, що відповідає сучасним вимогам розвитку дорожньої інфраструктури та міжнародним стандартам.

Ключові слова: автомобільна дорога, деформаційні шви, жорсткий дорожній одяг, експлуатаційна надійність, коефіцієнт теплового розширення, модуль пружності прокладки, розрахунок відстані між деформаційними швами, тріщиноутворення, цементобетонний покриття.

Вступ

Проектування та будівництво автомобільних доріг із жорстким дорожнім одягом є складним інженерним процесом, що вимагає урахування багатьох чинників, зокрема механічних властивостей матеріалів, кліматичних умов, транспортного навантаження та довговічності конструкції [1 – 6]. Одним із ключових аспектів у цьому процесі є правильне визначення відстані між деформаційними швами, адже вони відіграють важливу роль у запобіганні утворенню неконтрольованих тріщин і забезпеченні рівномірного розподілу напружень у цементобетонних плитах.

На разі у сфері дорожнього будівництва застосовують підходи до розрахунку відстаней між швами, що базуються на нормативних вимогах висунутих на попередніх наукових дослідженнях. Однак розвиток технологій, поява нових дорожньо-будівельних матеріалів, а також зміни умов експлуатування потребують удосконалення існуючої методики. Важливим завданням є її адаптація до сучасних умов будівництва та експлуатування автомобільних доріг, що дозволить підвищити їхню надійність, довговічність і економічну ефективність.

У цій статті розглянуто актуальні питання, пов'язані з удосконаленням методики визначення оптимальної відстані між деформаційними швами, проаналізовано чинні нормативні документи, світовий і вітчизняний досвід проєктування жорсткого дорожнього одягу. Запропонований підхід базується на математичних розрахунках, експериментальних дослідженнях та результатах практичного застосування новітніх технологій у будівництві цементобетонних доріг.

Результати досліджень дозволяють сформулювати рекомендації щодо оптимізації розрахунків і визначення ключових параметрів розміщення деформаційних швів, що сприятиме підвищенню якості дорожнього покриття, зниженню витрат на його експлуатаційне утримування та забезпеченню високої експлуатаційної надійності.

Виклад основного матеріалу

Традиційні методи визначення відстані між деформаційними швами в цементобетонному покритті автомобільних доріг базуються переважно на емпіричних формулах, які були розроблені з урахуванням стандартних умов експлуатування. Проте із розвитком сучасних дорожньо-будівельних матеріалів, удосконаленням технологій будівництва та змінами в інтенсивності руху постала необхідність перегляду та модернізації цих підходів.

Визначення оптимальної відстані між швами є багатофакторним завданням, яке залежить від низки параметрів, що характеризують як фізико-механічні властивості цементобетону, так і зовнішні впливи, зокрема температурні коливання та навантаження від транспортних засобів.

Основні фактори, що впливають на розрахунок відстані між деформаційними швами:

- зміна температури (температурні коливання впливають на розширення та стискання цементобетонних плит, що може спричиняти неконтрольовані тріщини. Основними показниками є амплітуда сезонних і добових температурних змін у цементобетонній плиті на глибині 10 см та коефіцієнт теплового розширення цементобетону, який визначає зміну лінійних розмірів плити під впливом температурних коливань);

- механічні властивості цементобетону (модуль пружності, що визначає деформаційну здатність матеріалу, межа міцності на розрив, яка впливає на здатність плити протидіяти виникненню тріщин, усадочні характеристики, що є критичним параметром, оскільки цементобетон схильний до зменшення об'єму під час тверднення, що може спричиняти розтягувальні напруження);

- товщина цементобетонної плити (під час збільшенні товщини плити жорсткість покриття зростає, що може зменшити потребу в частому розташуванні швів. Однак надмірне збільшення

товщини може підвищити внутрішні напруження, що потребує ретельного аналізу її впливу на загальну напругу в конструкції);

- параметри основи (тип основи (жорстка, напівжорстка або нестійка) визначає розподіл навантаження по площі плити, а також модуль пружності основи / коефіцієнт постелі ґрунтової основи є важливими факторами, що впливають на довговічність цементобетонного покритву);

- інтенсивність руху та навантаження від транспорту (у сучасних умовах значна кількість транспортних засобів, зокрема перевантажених вантажівок, створює підвищене напруження на покритв. Для уникнення надмірної деформації дорожнього цементобетонного покритву в зонах інтенсивного руху доцільно скорочувати крок улаштування деформаційних швів);

- технологічні фактори (температура повітря під час укладання цементобетонної суміші впливає на початкові усадочні процеси та термін схоплювання бетону, а час розрізання швів після укладання цементобетону (зазвичай 6–12 годин) є критичним для запобігання утворенню тріщин до моменту введення дорожнього покритву в експлуатування).

Проблема традиційних підходів до визначення відстані між деформаційними швами

Деформаційні шви в цементобетонному покритві автомобільних доріг виконують важливу роль у запобіганні неконтрольованому утворенню тріщин і передчасному його руйнуванню. Однак традиційні підходи до визначення оптимальної відстані між ними базуються здебільшого на емпіричних формулах та нормативних рекомендаціях, які не ураховують усі чинники, що впливають на довговічність дорожнього одягу.

Згідно з чинними нормативними документами для автомобільних доріг загального користування відстань між поперечними швами стискання приймається в межах (4 – 6) м для покритву аеродромів – (6 – 8) м. Та хоча ці вимоги є загальноприйнятими, вони мають низку таких недоліків:

- універсальність підходу без урахування реальних умов експлуатування (температурні коливання, вологість, тип ґрунтової основи, навантаження від транспортних засобів суттєво впливають на поведінку цементобетонного покритву, але ці фактори часто не ураховуються в розрахунках під час проектування);

- занадто мала відстань між швами (призводить до зростання вартості будівництва через необхідність більшої кількості швів та викликає збільшення обсягів ремонтних робіт у майбутньому;

- занадто велика відстань між швами (спричиняє хаотичне утворення тріщин, що знижує несну здатність дорожнього покритву, призводить до нерівномірного розподілу напружень та прискореного його руйнування).

Запропоноване удосконалення методики

Для подолання зазначених проблем пропонується впровадження більш точного підходу до визначення оптимальної відстані між деформаційними швами. Новий метод базується на:

- використанні сучасних моделей прогнозування поведінки цементобетонного покритву, які ураховують температурні деформації, циклічні навантаження та фізико-механічні характеристики матеріалу;

- застосуванні параметричних досліджень (аналізу взаємозв'язку між ключовими параметрами покритву), що дозволяє визначити найбільш ефективні конструктивні рішення;

- обліку реальних умов експлуатування (включаючи кліматичні фактори, тип конструкції дорожнього одягу та рівень навантаження від транспортних засобів).

Очікувані результати впровадження нового підходу

Запропоноване удосконалення підходу до розрахунку відстані між деформаційними швами в дорожньому цементобетонному покритві дозволить:

- підвищити довговічність дорожнього покритву за рахунок зменшення ризику утворення неконтрольованих тріщин;

- оптимізувати витрати на будівництво та ремонтування шляхом вибору економічно доцільної частоти розміщення деформаційних швів;

- підвищити експлуатаційну надійність автомобільних доріг і зменшити ймовірність передчасних руйнувань дорожнього цементобетонного покритву.

Оптимізація відстані між швами на основі розрахункових параметрів

Для визначення довжини плит цементобетонного покриття (відстані між поперечними швами стискання) застосовують розрахункові методи. При цьому довжина плити не повинна перевищувати $6l$, а співвідношення її довжини до ширини має залишатись в межах 1:1,25.

Під час призначення довжини плити необхідно урахувати швидкість руху бетоноукладального комплексу та відповідно дискретність довжини плити з наступним урахуванням у проєкті виконання робіт, зокрема в технологічних картах.

Розрахунок відстані між швами розширення виконується з урахуванням температурних умов бетонування та максимальної температури дорожнього цементобетонного покриття на глибині 10 см.

Основні обмеження щодо розрахунку відстані між поперечними швами стискання:

- для неармованих плит (ЦП-Ш, ЦП-У) усіх товщин — (4,5 – 6,5) м (за розрахунком);
- для плит із армуванням (ЦП-АШ, ЦП-БА) — 12 м за товщини (170 – 200) мм, 14 м за товщини більше ніж 200 мм.

Відстань між поперечними швами розширення, які улаштовують у вигляді двох дошок з технологічними розривами шириною не більше ніж 30 мм, заповненими податливим матеріалом, і за умов улаштування у найбільш гарячий тиждень у вечірні години або вночі, приймають не більше ніж:

- для неармованих плит (ЦП-Ш, ЦП-У) усіх товщин — 140 м;
- для плит із армуванням (ЦП-АШ, ЦП-БА) — 120,0 м у літній період, 60 м у весняний.

Вплив віражів на розміщення швів:

- на ділянках із радіусами менше 700 м шви можуть влаштовуватись під кутом до осі автомобільної дороги;
- для неармованого покриття (ЦП-Ш, ЦП-У) на віражах рекомендується зменшення відстані між швами до 3,0 м;
- для армованого покриття (ЦП-АШ, ЦП-БА) із радіусами кривої менше ніж 700 м відстань між швами стискання має бути вдвічі меншою за розрахункове значення, а для менших радіусів – утричі;
- поздовжні шви повинні відповідати радіусу кривої в плані для запобігання нерівномірного розподілу напружень.

Таким чином, застосування нових підходів до визначення відстані між деформаційними швами дозволяє досягти оптимального балансу між витратами на будівництво та довговічністю дорожнього цементобетонного покриття, підвищуючи його експлуатаційну стійкість і запобігаючи передчасному утворенню тріщин.

Розрахунок допустимої температурної напруги для збереження міцності у разі улаштування швів розширення

Шви розширення улаштовують за умови збереження міцності, яку визначають за формулою:

$$\sigma_t^{\phi} < \sigma_t^{\text{доп}}. \quad (1)$$

Допустиму температурну напругу в цементобетонній плиті $\sigma_t^{\text{доп}}$ визначають за формулою:

$$\sigma_t^{\text{доп}} = 0,031 \cdot \sqrt{E_{cm} \cdot \gamma \cdot h}. \quad (2)$$

За умови збереження міцності ЦБ величина $\sigma_t^{\text{доп}}$ у зоні швів не повинна перевищувати $2f_r$.

Фактичну температурну напругу σ_t^{ϕ} визначають за формулою:

$$\sigma_t^{\phi} = a \cdot E_{cm} \cdot (T_{\text{макс}} - T_{\text{вих}}), \quad (3)$$

- де a — коефіцієнт лінійної температурної деформації ЦБ, a приймають $1 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ [10];
 $T_{\text{макс}}$ — максимальна річна температура ЦБ на глибині 10 см від поверхні плити, $T_{\text{макс}}$ приймають за даними спостережень;
 $T_{\text{вих}}$ — вихідна температура ЦБ, $T_{\text{вих}}$ визначають, як температуру під час бетонування або приймають за довідковими даними, як середньомісячну, згідно з ДСТУ–Н Б В.1.1–27 [7].

Розрахунок відстані між швами розширення

Відстань між швами розширення L_p визначають за формулою:

$$L_p = \frac{E_{cm} \cdot \Delta b_{пр}}{\sigma_t - \frac{\sigma_{пр} \cdot h_{пр}}{h}}, \quad (4)$$

де $\Delta b_{пр}$ — деформацію стиску прокладки шва розширення, $\Delta b_{пр}$ визначають за формулою:

$$\Delta b_{пр} = \frac{2 \cdot b_{пр} \cdot \sigma_{пр}}{E_{пр}}. \quad (5)$$

Модуль пружності прокладки $E_{пр}$ приймають для прокладок з: деревини м'яких порід — 8 МПа за 25 % лінійної пружної деформації; для полімерних матеріалів — залежно від типу матеріалу та міцності на стискання за 10 % лінійної пружної деформації, МПа.

Значення обтиснення шва розширення (напруги на стиск) $\sigma_{пр}$ приймають для прокладок з: деревини м'яких порід — 2 МПа; полімерних матеріалів — залежно від типу матеріалу та міцності на стискання за 10 % лінійної пружної деформації, МПа.

Висоту прокладки $h_{пр}$ визначають за формулою:

$$h_{пр} = h - 0,04. \quad (6)$$

Мінімальну ширину шва розширення визначають через характеристику спільного переміщення плит ΔL за формулою:

$$\Delta L = 100 \cdot C \cdot L_p \cdot (A \cdot \Delta T + \varepsilon_{yc}), \quad (7)$$

де C — коефіцієнт обмеження тертя плити / основи, C приймають у разі використання:

- матеріалів, укріплених в'язучими, що забезпечує зчеплення між шарами — 0,65;
- прошарку у вигляді полімерної плівки або геотекстильних матеріалів, що дозволять вільне переміщення плит — 0,90.

Коефіцієнт теплового розширення A приймають згідно з пунктом 6.3 [8].

Максимальний температурний діапазон роботи ЦБ ΔT визначають з урахуванням [10] за формулою:

$$\Delta T = (T_{вих} - T_{мін}). \quad (8)$$

Коефіцієнт усадки ЦБ ε_{yc} приймають згідно з пунктом 6.4 [7].

Перевіряння умови улаштування ширини шва стискання здійснюють за формулою:

$$2 \cdot h_{пр} > \Delta L. \quad (9)$$

Розрахунок відстані між швами стискання

Довжину плити (максимальну відстань між поперечними швами стискання) на основі з матеріалів, укріплених в'язучими, та на стабільному земляному полотні визначають за формулою:

$$L_c = 6 \cdot l. \quad (10)$$

Співвідношення довжини та ширини плити не повинно перевищувати 1:1,25 з кроком у 10 см у менший бік.

Розрахунок відстані між поздовжніми швами

Ширина плити (відстань між поздовжніми швами) повинна становити не більше 23 h .

Приклад розрахунку деформаційних швів

Вихідні дані:

- товщина плити — 27 см;
- температура улаштування — 27 °С;
- максимальна температура цементобетону на глибині 10 см — 44 °С;
- мінімальна температура цементобетону на глибині 10 см — мінус 30 °С;
- матеріал прокладки — дошка з м'яких порід / екструдований пінополістирол.

Допустиму температурну напругу в цементобетонній плиті $\sigma_t^{\text{доп}}$ визначають за формулою (2):

$$\sigma_t^{\text{доп}} = 0,031 \cdot \sqrt{E_{cm} \cdot \gamma \cdot h} = 0,031 \cdot \sqrt{33000 \cdot 2,4 \cdot 0,27} = 4,78 \text{ МПа.}$$

За умови збереження міцності цементобетону величина $\sigma_t^{\text{доп}}$ у зоні швів не повинна перевищувати $2f_r = 2 \cdot 3,4 = 6,8 \text{ МПа}$.

Фактичну температурну напругу σ_t^{Φ} визначають за формулою (3):

$$\sigma_t^{\Phi} = a \cdot E_{cm} \cdot (T_{\text{макс}} - T_{\text{вих}}) = 1 \cdot 10^{-5} \cdot 33000 \cdot (44 - 28) = 5,28 \text{ МПа.}$$

Шви розширення влаштовують за умови збереження міцності, яку визначають за формулою (1):

$$\sigma_t^{\Phi} < \sigma_t^{\text{доп}}, \quad 5,28 < 4,78.$$

Умова не виконується — потрібно влаштовувати шви розширення.

Розрахунок відстані між швами розширення.

Відстань між швами розширення $L_{\text{розш}}$ визначають за формулою (4) з урахуванням властивостей матеріалу прокладки:

дошка з м'яких порід

$$L_{\text{розш}} = \frac{E_{cm} \cdot \Delta b_{\text{пр}}}{\sigma_t^{\Phi} - \frac{\sigma_{\text{пр}} \cdot h_{\text{пр}}}{h}} = \frac{33000 \cdot 0,015}{5,28 - \frac{2 \cdot 0,23}{0,27}} = 94,03 \text{ м,}$$

екструдований пінополістирол

$$L_{\text{розш}} = \frac{E_{cm} \cdot \Delta b_{\text{пр}}}{\sigma_t^{\Phi} - \frac{\sigma_{\text{пр}} \cdot h_{\text{пр}}}{h}} = \frac{33000 \cdot 0,006}{5,28 - \frac{2 \cdot 0,23}{0,27}} = 37,61 \text{ м,}$$

де $\Delta b_{\text{пр}}$ — деформація стиску прокладки шва розширення, $\Delta b_{\text{пр}}$ визначають за формулою (5) у розрахунку приймаємо 2 шви шириною по 30 мм:

дошка з м'яких порід

$$\Delta b_{\text{пр}} = \frac{2 \cdot b_{\text{пр}} \cdot \sigma_{\text{пр}}}{E_{\text{пр}}} = \frac{2 \cdot 0,03 \cdot 2}{8} = 0,015 \text{ м,}$$

екструдований пінополістирол

$$\Delta b_{\text{пр}} = \frac{2 \cdot b_{\text{пр}} \cdot \sigma_{\text{пр}}}{E_{\text{пр}}} = \frac{2 \cdot 0,03 \cdot 1,8}{18} = 0,006 \text{ м.}$$

Висоту прокладки $h_{\text{пр}}$ визначають за формулою (6):

$$h_{\text{пр}} = h - 0,04 = 0,27 - 0,04 = 0,23 \text{ м.}$$

Мінімальну ширину шва розширення визначають через характеристику спільного переміщення плит ΔL за формулою (7):

$$\Delta L \cdot 100 \cdot C \cdot L_{\text{розш}} \cdot (A \cdot \Delta T + \varepsilon_{\text{ус}}) = 100 \cdot 0,65 \cdot 68,48 \cdot (0,0000095 \cdot 58 + 0,00031) = 5,27 \text{ см} = 0,053 \text{ м;}$$

$$\Delta T = (T_{\text{вих}} - T_{\text{мін}}) = (28 - (-30)) = 58 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Перевіряння умови влаштування ширини шва стиснення:

$$2 \cdot h_{\text{пр}} > \Delta L, \quad 2 \cdot 0,03 = 0,06 > 0,053 \text{ м.}$$

У разі зниження температури укладання цементобетонної суміші відстань між швами розширення буде становити:

- за 30 °C – $L_{розш} = 107,50$ м;
- за 28 °C – $L_{розш} = 94,03$ м;
- за 24 °C – $L_{розш} = 75,10$ м;
- за 20 °C – $L_{розш} = 62,60$ м.

Дані розрахунків підтверджують обмеження наведені вище.

Умова виконується

Розрахунок відстані між швами стискання.

Довжину плит (максимальна відстань між поперечними швами стискання) на укріпленій основі і на стабільному земляному полотні визначають за формулою (10):

$$L_{стис} = 6 \cdot l = 6 \cdot 1,04 = 6,24 \text{ м.}$$

Співвідношення довжини плити і ширини не повинно перевищувати 1:1,25 — тоді приймаємо $(3,75 + 0,5)1,25 = 5,30$ м.

Висновки

Розроблення та удосконалення методики розрахунку відстані між деформаційними швами є одним із ключових аспектів у забезпеченні довговічності та надійності дорожнього цементобетонного покритву автомобільних доріг. Проведене дослідження дозволило встановити основні чинники, що впливають на визначення оптимальної відстані між деформаційними швами, зокрема:

- температурні чинники (аналіз фактичних даних про температурний режим цементобетонного покритву на глибині 10 см);
- конструктивні параметри (товщина цементобетонної плити, яка впливає на її стійкість до температурних і механічних навантажень);
- фізико-механічні властивості (коефіцієнт теплового розширення цементобетону, який визначає зміну розмірів плити залежно від температури);
- матеріал деформаційного шва (вибір матеріалу прокладок у шві розширення, який забезпечує ефективну компенсацію температурних деформацій).

Інтеграція новітніх методів моделювання, аналізу кліматичних даних, інноваційних матеріалів і систем моніторингу за зміною температури та напружень у цементобетонній плиті дозволить оптимізувати проєктні рішення, знизити витрати на будівництво та підвищити експлуатаційну надійність доріг та аеропортів.

Подальша оптимізація цементобетонного покритву може бути досягнута за рахунок таких інноваційних підходів як використання модифікованих цементобетонів (застосування сучасних добавок до цементобетонних сумішей (мікрволокна, суперпластифікатори) буде сприяти зменшенню усадки цементобетону, підвищенню його міцності та, відповідно, збільшенню допустимої відстані між швами), а також застосування алгоритмів автоматизованого аналізу історичних даних про дорожні роботи, кліматичні умови та властивості цементобетону, що дозволить прогнозувати оптимальну відстань між швами з урахуванням специфіки конкретного проєкту.

Таким чином, впровадження вдосконаленого методу розрахунку, використання новітніх матеріалів і цифрових технологій дозволить не лише підвищити ефективність проєктування, будівництва та експлуатаційного утримування цементобетонного покритву, а й суттєво покращити довговічність автомобільних доріг у складних кліматичних умовах.

Список літератури

1. Про автомобільний транспорт: Закон України від 23.02.2006 № 3492-IV, в редакції від 28.06.20024 № 3778-IX // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14#Text> (дата звернення: 23.09.2024).

2. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015. 48 с. (Інформація та документація).
3. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. Київ, 2015. 68 с. (Інформація та документація).
4. ДБН В.2.3-15:2007 Споруди транспорту. Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів. Київ, 2007. 53 с. (Інформація та документація).
5. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Київ, 2009. 62 с. (Інформація та документація).
6. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Автомобільні дороги. Нежорсткий дорожній одяг. Проектування. Київ, 2019. 43 с. (Інформація та документація).
7. ДСТУ–Н Б В.1.1–27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. (Інформація та документація).
8. Довідник № 1 розрахункових характеристик ґрунтів, матеріалів дорожнього одягу та навантаж від транспортних засобів. Харків. 2017. 45 с. (Інформація та документація).
9. Довідник № 5 Кліматичні характеристики та кліматичне районування території України для розрахунку нежорсткого дорожнього одягу. Харків. 2019. 49 с. (Інформація та документація).
10. ACI 440.1R-15. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. American Concrete Institute, 2006. 40 p.

References

1. Pro avtomobilnyi transport: Zakon Ukrainy (On road transport: Law of Ukraine) vid 23.02.2006 No. 3492-IV, v redaktsii vid 28.06.20024 No. 3778-IKh // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14#Text> (data zvernennia: 23.09.2024) [in Ukrainian].
2. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo (Motor roads. Part I. Design. Part II. Construction). Kyiv, 2015. 48 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
3. DBN V.2.3-5:2018 Vulytsi ta dorohy naselenykh punktiv (Streets and roads of settlements). Kyiv, 2015. 68 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
4. DBN V.2.3-15:2007 Sporudy transportu. Avtostoianky i harazhi dlia lehkovykh avtomobiliv (Transport structures. Parking lots and garages for cars). Kyiv, 2007. 53 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
5. DBN V.2.6-98:2009 Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii (Structures of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions.). Osnovni polozhennia. Kyiv, 2009. 62 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
6. HBN V.2.3-37641918-559:2019 Avtomobilni dorohy. Nezhorstkyi dorozhnii odiah. Proektuvannia (Automobile roads. Soft road clothing. Designing.). Kyiv, 2019. 43 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
7. DSTU–N B V.1.1-27:2010 Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi. Budivelna klimatolohiia. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
8. Dovidnyk No. 1 rozrakhunkovykh kharakterystyk gruntiv, materialiv dorozhnoho odiahu ta navantah vid transportnykh zasobiv (Handbook No. 1 of calculated characteristics of soils, road surface materials and vehicle loads.). Kharkiv. 2017. 45 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
9. Dovidnyk No. 5 Klimatychni kharakterystyky ta klimatychne raionuvannia terytorii Ukrainy dlia rozrakhunku nezhorstkoho dorozhnoho odiahu (Handbook No. 5 Climatic characteristics and climatic zoning of the territory of Ukraine for the calculation of non-rigid road wear.). Kharkiv. 2019. 49 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
10. ASI 440.1R–15. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. American Concrete Institute, 2006. 40 p. [in USA].

Volodymyr Zelenovsky¹, <https://orcid.org/0000-0001-5834-5456>

Vitaliy Raykovskiy¹, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-6391-7647>

Sergii Rybalchenko¹, <https://orcid.org/0000-0002-4628-9546>

Ihor Gamelyak², D.Sc., Prof., <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>

¹State Enterprise «National Institute for Development Infrastructure» (SE «NIDI»), Kyiv, Ukraine

²National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

IMPROVEMENT OF APPROACHES TO CALCULATING THE DISTANCE BETWEEN EXPANSION JOINTS IN ROAD CEMENT CONCRETE PAVEMENT

Abstract

Introduction. Expansion joints are an integral part of the design of a cement-concrete road surface, as they provide compensation for temperature and shrinkage deformations, preventing uncontrolled crack formation. Rational design of the distance between expansion joints is one of the key factors affecting the durability and load-bearing capacity of the road surface. Incorrect calculation of these parameters can lead to premature failure of the structure, a decrease in its operational reliability, and an increase in repair and maintenance costs [1 – 6].

This article considers the issue of improving approaches to calculating the distance between expansion joints in a cement-concrete surface based on the DSTU draft “Guidelines for the design of rigid road surfaces”, which is currently being developed by the SE “NIDI” with the participation of the National Transport University. The proposed methods were developed taking into account the advanced domestic and international experience in designing highways with rigid road surfaces, analysis of current regulatory legal acts, building codes, scientific and technical literature, as well as modern road construction materials and technologies. Special attention is paid to the peculiarities of road and climatic regions of Ukraine, which allows adapting the methodology to real conditions of operation of the road surface.

Problem statement. Designing rigid road surfaces is a complex engineering task that requires accurate consideration of all operational factors, in particular, determining the optimal distance between expansion joints. The inconsistency of existing methods with real operating conditions can lead to premature destruction of the cement concrete surface, the appearance of uncontrolled cracks, and an increase in costs for repair and operational maintenance of highways.

A modern approach to design should unify and improve the methodology for calculating the distance between expansion joints, taking into account the physical and mechanical properties of cement concrete, temperature and humidity conditions, type and intensity of traffic load, and the characteristics of road and climatic regions of Ukraine. The determination of the relevant parameters should be carried out on the basis of reliable initial data, which will increase the durability of the road surface and ensure the efficient use of material and technical resources.

Therefore, there is an urgent need to develop an improved methodology that would meet modern requirements for road construction, contribute to increasing the operational reliability of cement concrete road surfaces, and ensure economically feasible use of resources.

Objective. The modern development of road construction requires constant improvement of approaches to the design of rigid road surfaces, in particular, the determination of optimal distances between expansion joints. Taking into account the latest scientific research, modern materials and innovative technologies allows to increase the durability and reliability of cement concrete pavement, reduce the risk of cracking and optimize the costs of repair and operational maintenance of highways.

The purpose of the work is to inform road specialists about the latest trends, methods and developments in the field of rigid road surface design, in particular, regarding the improvement of approaches to determining the rational distance between expansion joints of cement concrete road surfaces. The proposed solutions are aimed at increasing the efficiency of design solutions, adapting existing methods to modern operating conditions and ensuring economically justified use of material and technical resources.

Materials and methods. The study used a comprehensive approach based on the analysis of scientific and technical developments in the field of designing rigid road surfaces, as well as practical experience in its arrangement. In particular, the results of research conducted by the SE «NIDI» and the National Transport University, which are based on many years of experience in providing services in the field of road construction, were taken into account.

The methodological basis of the work is the analysis of current building codes and national standards of Ukraine, as well as their comparison with relevant foreign regulatory documents and technical literature. To ensure the comprehensiveness of the study, domestic and international experience gained during the design and arrangement of rigid road surfaces was taken into account.

Mathematical modeling methods were used to determine the optimal distances between expansion joints, assess the stress-strain state of cement concrete slabs and predict their behavior under various operating conditions. Analysis of the results allows us to substantiate improved approaches to design and implement effective solutions in road construction.

Results. As part of the study aimed at implementing modern methods for designing highways with rigid road surfaces, a DSTU project was developed, which contains updated recommendations for determining the distance between expansion joints in cement concrete pavement.

The proposed methodology takes into account various structural types of cement concrete road pavement, in particular:

- Jointed Plain Concrete Pavements (JPCP);
- Jointed Reinforced Concrete Pavements (JRCP);
- Continuously Reinforced Concrete Pavements (CRCP) if such a calculation is required;
- Roller Compacted Concrete Pavement (RCCP) if such a calculation is required.

Updated approaches to calculating the distance between expansion joints are based on modern scientific research, international experience and practical data, which allows increasing the durability of cement concrete pavement, reducing the risk of uncontrolled cracking, and improving the performance characteristics of road surface structures.

Conclusions. The proposed methodology for designing rigid road surfaces on highways improves existing approaches and establishes scientifically based requirements for calculating the distance between expansion joints. It is based on modern research, takes into account the design features of cement concrete road pavements, operating conditions and advanced world experience, which allows to increase the effectiveness of design solutions.

The use of this methodology will contribute to improving the operational characteristics of road surface structures, increasing their strength, resistance to loads and durability. This, in turn, will make it possible to reduce the risk of premature cracking, reduce the cost of repairing and maintaining the road surface, as well as ensure more rational use of material and technical resources in the field of road construction.

The implementation of an improved design methodology will contribute to improving the quality and reliability of cement concrete roads in Ukraine, which meets modern requirements for the development of road infrastructure and international standards.

Keywords: highway, rigid pavement, cement concrete pavement, expansion joints, coefficient of thermal expansion, elastic modulus of the lining, calculation of the distance between expansion joints, crack formation, operational reliability.

УДК 625.7/.8

Терещенко Т. А., канд. хім. наук, старш. наук. співроб., <https://orcid.org/0000-0001-7584-9031>

Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна

ВИМОГИ ДО РОЗТАШУВАННЯ АРМАТУРИ В ДЕФОРМАЦІЙНИХ ШВАХ БЕТОННОГО ПОКРИВУ ТИПУ *JPCP* І СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО КОНТРОЛЮВАННЯ ЯКОСТІ РОБІТ З КОРИГУВАННЯМ ОПЛАТИ

Анотація

Вступ. У вступі до статті окреслено переваги й типи покриттів жорсткого дорожнього одягу та актуальні проблеми функціонування шовних бетонних покриттів.

Проблематика. Проблематика статті охоплює питання функціонування деформаційних швів шовного бетонного покриття з неармованими плитами (*JPCP*), роль і розташування штирової і з'єднувальної арматури в таких швах та сучасні підходи до контролювання якості робіт зі встановлення арматури.

Мета. Метою статті є аналіз іноземних першоджерел з виокремленням вимог щодо точності розташування і зцентровання штирової арматури, критерії і можливості контролювання дотримання цих вимог із застосуванням неруйнівного методу випробувань та практик коригування оплати підрядникам.

Результати. Виконано аналіз функцій арматури у поперечних і поздовжніх деформаційних швах *JPCP* і вимог до точності розташування арматури у влаштованих швах з урахуванням її функцій.

Розглянуто, згідно з даними іноземних першоджерел, вимоги *ACPA*, на підставі яких здійснюють приймання робіт з улаштування поперечних деформаційних швів *JPCP*, зокрема вимоги в частині вилучення штирів за неналежної якості робіт.

Проаналізовано практики коригування оплати за результатами контролювання якості робіт зі встановлення штирової арматури.

Висновки. Надано висновки щодо потреби в акцентуванні уваги на розробленні комплексу стандартів щодо проектування та будування жорсткого дорожнього одягу з бетонним покриттям, охоплюючи стандарти, що забезпечують контролювання якості робіт. Запропоновано для опрацювання якісні та кількісні критерії приймання робіт зі встановлення арматури в швах стискання *JPCP* та зазначено доцільність розроблення системи коригування оплати підряднику за результатами контролювання якості робіт.

Ключові слова: бетонний покриття, вимоги до розташування та зцентровання, з'єднувальна арматура, жорсткий дорожній одяг, контролювання методом імпульсної магнітної індукції, коригування оплати, шовний бетонний покриття з неармованими плитами, штирова арматура.

Вступ

Жорсткий дорожній одяг має суттєві переваги над нежорстким дорожнім одягом з точки зору сприйняття сучасних високих транспортних навантажень і забезпечення довговічності конструкції внаслідок більш рівномірного перерозподілу навантажень від коліс транспортних засобів і нездатності до утворення колії.

Покриття жорсткого дорожнього одягу, улаштовані методами бетонування *in situ*, поділяють на безперервно армовані (*CRCP, continuously reinforced concrete pavement*) — проте за принципом безперервного армування може бути влаштовано і шар основи, і шар покриття, — та шовні: шовні з неармованими плитами (*JPCP, jointed plain concrete pavement*) і шовні з армованими плитами (*JRCP, jointed reinforced concrete pavement*). У світовій практиці дорожнього будівництва найбільш поширеними є конструкції типу *JPCP* з армованими поперечними швами та з'єднувальною арматурою у поздовжніх швах.

Ураховуючи, що більшість пошкоджень шовних бетонних покривів виникає в зоні шва (утворення тріщин, відколів в зоні шва, кутових відколів, вертикального зміщення в зоні шва, здимання) та вони асоціюються з неналежним проєктуванням або влаштуванням швів, актуальним є питання контролювання якості робіт зі встановлення арматурних прутків у поздовжніх і поперечних швах покриття.

У статті проаналізовано функції і пов'язані з ними вимоги до розташування арматури у швах улаштованого *JPCP* і розглянуто можливості удосконалення процедур контролювання якості робіт з застосуванням неруйнівних методів контролю для окремих видів швів з упровадженням системи коригування оплати.

Функції арматури в поперечних деформаційних швах *JPCP* і загальні вимоги до її розташування у влаштованому шві

Поперечні шви влаштовують із метою контролювання місця утворення тріщин за рахунок зменшення площі поперечного перетину і зниження міцності в поперечному перетині плити в зоні шва (шви стискання / контрольні шви згідно з [1]), або з метою запобігання руйнуванню плит внаслідок розширення бетону чи рухомості плит (шви розширення). Кількість швів розширення в конструкції має бути обмеженою, щоб запобігти розкриттю, з подальшим руйнуванням, близько розташованих швів стискання.

Важливою функцією поперечних швів є також передавання навантаження з плити на плиту під час проїзду колеса транспортного засобу, критерієм чого є ефективність передавання навантаження (*load transfer efficiency, LTE*). Для забезпечення цієї функції виконують армування шва з застосуванням штирів (*dowel*; також «штирова арматура» — *dowel bar*), які простягаються в обидві суміжні зі швом плити.

Ефективним методом контролювання якості робіт зі встановлення штирової арматури для конструкцій *JPCP* є метод імпульсної магнітної індукції (*magnetic pulse induction, MPI*), оскільки в покритті відсутні сторонні джерела індукованого поля та інтерференції сигналів і є всі можливості для точного визначення просторового розташування, зі зцентруванням, індивідуальних штирів.

Такий метод випробувань стандартизовано в системі міжнародних стандартів *ASTM* [2].¹ Згідно з цим стандартом реалізують обстеження з метою визначення розташування/зцентрування штирів у швах бетонного покриття, яке описують за п'ятьма критеріями: глибиною залягання, горизонтальною неспіввісністю (горизонтальний скіс), горизонтальним зміщенням (у напрямку вздовж поперечного шва), бічним зсувом (у напрямку вздовж штиря) і вертикальною неспіввісністю (вертикальний нахил); окремим критерієм є комбінована неспіввісність, що характеризує загальний просторовий осьовий відхил осі штиря від проєктної орієнтації.

Оскільки штирі, поряд із функцією передавання навантаження, мають забезпечувати роботу з розкриттям та закриттям шва, до розташування і, особливо, зцентрування штирів прийнято установлювати жорсткі вимоги. Згідно зі світовою практикою дорожнього будівництва штирову арматуру виготовляють зі стандартних гладких арматурних прутків і розташовують паралельно до поздовжньої осі та поверхні покриття, щоб звести до мінімуму просторові обмеження під час розкриття / закриття шва, на глибині в половину товщини плити, з певними рівномірними інтервалами між штирями на всю ширину покриття; у окремих схемах проєктування практикують розташування штирів кластерами три – п'ять штирів, зцентрованих із зоною (траєкторією) кочення коліс транспортних засобів.

У випадку неналежного зцентрування (неспіввісності) штирів (горизонтальний скіс, вертикальний нахил) відбувається повне або часткове блокування шва, унаслідок чого в зоні шва спостерігаються напруження розтягу, які не відповідають проєктним значенням міцності бетону на розтяг і є потенційним чинником короблення та вигинання плити і утворення тріщин. Відхили зцентрування штирів двох послідовних швів не обов'язково призводять до утворення тріщини в

¹ 01.05.2025 набуває чинності національний стандарт України зі ступенем відповідності «*IDT*», розробники – колектив ДП «НІРІ» за відповідальності Технічного комітету стандартизації ТК 307 «Автомобільні дороги і транспортні споруди».

плиті, але кожен наступний блокований шов підвищує ризик тріщиноутворення. Поряд з цим в екстремальних випадках, із суттєвим відхилом штирів від осевого положення, у зоні шва утворюються відколи з розкриттям штиря.

У випадку бічного зсуву настільки суттєвого, що штирі фактично розташовані по один бік шва, поперечні шви працюють як неармовані, що знижує *LTE* і призводить до передчасного руйнування в зоні шва. Частіше такий дефект розташування штирової арматури спостерігається за неточного нарізування шва в бетонній плиті, проте бічний зсув навіть окремих штирів, якщо вони розташовані на траєкторії кочення коліс, призводить до швидкого утворення дефектів шва і плит.

Горизонтальне зміщення має суттєві негативні наслідки, якщо віддаленість штиря від проєктного положення, де має відбуватися перерозподіл навантажень, призводить до зниження ефективності роботи шва.

Функції арматури в поздовжніх швах *JPCP* і загальні вимоги до її розташування у влаштованому шві

Не менш важливу роль в ефективному функціонуванні *JPCP* відіграє належне улаштування поздовжніх швів зі з'єднувальною арматурою (*tie bar*). Функції з'єднувальної арматури — з'єднання поздовжньо суміжних плит для запобігання зсуванню плит в різні боки - відрізняються від функцій штирової арматури. Функція передавання навантаження під час проїзду коліс транспортних засобів для поздовжніх швів не є визначальною та реалізується переважно за рахунок зчеплення заповнювачів [1].

З'єднувальну арматуру виготовляють зі сталевих прутків періодичного профілю, щоб забезпечити більш міцне з'єднання поздовжньо суміжних плит. У разі виконання реконструкції шва з'єднувальну арматуру може бути встановлено з кутом 45 градус до нормального положення.

З'єднувальну арматуру прийнято закладати на середині товщини плити, проте допустимими є відхилення від такого положення. У певних випадках відхилення в бік зменшення або збільшення глибини закладання обумовлено особливістю конструкції і технологією виконання робіт. Наприклад, на віражах поперечний похил покриття є більшим, ніж шару основи під покритвом. Встановлення з'єднувальної арматури з застосуванням підставок приводить до закладання арматури вище ніж середина товщини покриття, методом автоматичного занурення — до закладання з'єднувальної арматури нижче ніж середина товщини покриття [1]. Проте автори стверджують, що відхил за глибиною розташування з'єднувальної арматури від середини товщини плити у межах 5 см (2 дюйми) забезпечує ефективну роботу шва, якщо водночас забезпечено належну товщину шару бетону (належний захист від корозії) і арматурний пруток встановлено без критичного нахилу. Допустимим є установлення відхилів у більшому діапазоні — наприклад, для бетонних покриттів більших товщин або в разі влаштування верхнього шару асфальтобетону, проте в даному випадку потрібно дотримуватися обмежень, які гарантують безпечно, з точки зору глибини залягання арматури, нарізання шва. Під час установлення допустимих відхилів розташування з'єднувальної арматури рекомендовано також урахувати показники міцності арматури і міцність на зсув у шарі бетону, яка в місці розташування шва реалізується внаслідок зчеплення заповнювачів.

Зсув у напрямку уздовж прутка з'єднувальної арматури має бути обмежений таким чином, щоб запобігти вириванню арматури з бетону в процесі експлуатування покриття. Допуски у разі горизонтального зміщення (зміщення арматурного прутка вздовж поздовжнього шва) зазвичай не регламентують, проте потрібно забезпечувати норми витрат арматури на влаштування шва [1].

На даний час відсутня інформація щодо діагностики розташування з'єднувальної арматури методом *MPI*, проте вимоги до її розташування є менш жорсткими, на відміну від вимог до розташування, зі зцентруванням, штирової арматури.

Удосконалення вимог щодо позиціонування штирової арматури

Вимоги до позиціонування штирової арматури у влаштованому шві в різних схемах проєктування дещо різняться. Авторами [3] наведено, для порівняння з більш сучасними, консервативні рекомендації, згідно з якими відхил штиря від проєктного осевого положення за

параметром «горизонтальний скіс» або «вертикальний нахил» (описуваний у даному випадку терміном *dowel rotation*) не повинен перевищувати 0,25 дюйма на фут довжини штиря. Якщо порівняти ці вимоги з вимогами нормативного акта [4], числові значення є однаковими у межах першого знака після коми. Це не є співставлення вимог — у галузі дорожнього будівництва США застосовують штирі діаметра переважно більшого та меншої довжини 457 мм (18 дюймів) за приблизно однакових вимог до бетону і проєктних параметрів плит шовного покриття, з розташуванням штирів у швах стискання переважно з інтервалами 300 мм (12 дюймів). Поряд з цим важливо, що стандартні вимоги системи *ASTM* до арматурних прутків (прокат) для виготовлення штирів є чинними в Україні ([5]).

У технічних рекомендаціях [1] зазначено, що більш сучасні вимоги до позиціонування штирової арматури мають відповідати таким критеріям:

- допустимі відхилення зцентровання та розташування штирів мають бути достатньо вузькими і в той же час досяжними з застосуванням наявних передових практик і технологій улаштування швів;
- на підставі оцінки впливу некоректно встановлених штирів на ефективність функціонування бетонного покриття мають бути установлені критерії вилучення таких штирів;
- для штирів, розташування яких, з урахуванням допустимих відхилів, не відповідає проєктному положенню та які проте не підпадають під критерії вилучення, має бути установлено критерій *PWL* (*percent within limits*, допустимий відсоток) у межах обсягу лота (партії), який може бути прийнято як підставу для коригування оплати.

Автори [3] наводять положення Настанови щодо зцентровання та розташування штирової арматури, розроблені *ACPA* (*American Concrete Pavement Association*), у якій, зокрема, установлено допуски за критеріями зцентровання і розташування в цілях прийняття або відхилення (з вилученням штиря) результатів робіт із можливістю додаткового коригування оплати.

У **табл. 1** наведено допуски за кожним з критеріїв для приймання та вилучення штирів згідно з Настановою *ACPA*, адаптовані авторами [3].

Таблиця 1

**Допуски за різними критеріями, установлені для приймання та вилучення штирів
(ACPA, адаптовані авторами [3])**

Критерій	Допуски в разі приймання:		Вилучення
	нижнє граничне значення	верхнє граничне значення	
Комбінована неспіввісність ^{a)}	0	19 мм	> 50 мм
Бічний зсув	– 50 мм	50 мм	± 125 мм
Горизонтальне зміщення	не регламентовано	не регламентовано	не регламентовано
Відхил за глибиною залягання ^{b)}	На середині глибини (за товщиною плити) + 13 мм	На середині глибини (за товщиною плити) – 13 мм	< 6 мм від нижньої границі глибини нарізання шва; товщина шару бетону над арматурою < 50 мм

^{a)} Комбіновану неспіввісність обчислюють як корінь квадратний із суми квадратів горизонтального скосу та вертикального нахилу.

^{b)} Згідно з даними [3] – за товщини плити 305 мм.

Примітка. Авторами [3] розглянуто також критерій «оцінювання шва за балами (*joint score*, *JS*, обчислюють за наведеним у [3, 6] рівнянням)», який передбачає вилучення шва, якщо перевищено максимально допустиму ефективну довжину панелі – тобто секції покриття, яка містить послідовні поперечні шви з критичними значеннями *JS* (залежить від ширини шва, кліматичних умов роботи покриття і матеріалу основи під покритвом). У цій статті вилучення шва за критерієм *JS* не розглядається. Проте доцільно додати, що максимально допустима ефективна довжина панелі становить 18 м, водночас у межах панелі ефективної довжини кількість послідовних швів з критичним *JS* не повинна перевищувати три.

Аналіз наведеної інформації свідчить, що вимоги *ACPA* регламентують допустимі відхилення розташування штиря за іншими, ніж було прийнято раніше, критеріями — на заміну роздільного нормування відхилів для випадків горизонтального скосу і вертикального нахилу регламентовано комбіновану неспіввідповідність. Проте, якщо прийняти значення допустимих раніше відхилів від проектного осевого положення 0,25 дюйма на фут довжини штиря (див. вище) для обчислення комбінованої неспіввідповідності, верхнє значення допуску в разі приймання становило б орієнтовно 13 мм на відміну від 19 мм, зазначених у **табл. 1**.

Автори [6] пропонують критерій вилучення штиря за недопустимим бічним зсувом розраховувати за рівнянням (1), яке розроблене для одиниці вимірювання «дюйм»:

$$|\text{бічний зсув}| - \frac{L - 8}{2}, \quad (1)$$

де L — номінальна довжина штиря (для переведення в одиницю «міліметр» значення L потрібно помножити на 25,4).

Підсумовуючи викладене, у перспективі розширені та удосконалені вимоги до розташування / зцентровання штирової арматури *JPCP* можуть слугувати підґрунтям для розширення функціональних вимог до бетонних покриттів на національному рівні, з урахуванням функціональних вимог, упроваджених у галузі дорожнього будівництва європейськими стандартами.

Теоретичні засади розроблення системи коригування оплати для робіт з улаштування поперечних деформаційних швів *JPCP*

Запорукою побудови ефективної системи управління якістю під час влаштування жорстких дорожніх одягів є установлення функціональних вимог до бетонних покриттів — ці вимоги є основою забезпечування якості (*quality assurance, QA*) і контролювання якості (*quality control, QC*) і впровадження системи коригування оплати.

Упровадження розширених вимог щодо позиціонування штирової арматури конструкцій *JPCP*, для контролювання дотримання яких є застосовним метод імпульсної магнітної індукції, дозволяє удосконалювати систему *QA/QC* і впровадити систему коригування оплати, приклад якої згідно з [6] проаналізовано нижче.²

Коригування оплати *PA* (*payment adjustment*) виконують з урахуванням критеріїв розташування/зцентровання штирів відповідно до отриманих значень *PWL* і вартості робіт згідно з заявкою на підряд³ (*bid unit price*) для кількості прийнятих штирів (*dowel quantity*) за формулами (2) та (3):

$$PA(\text{reduction}) = \text{Dowel quantity} \times \text{Unit price (as bid)} \cdot (PF_{\text{dowels}} - 1,00) \cdot C, \quad (2)$$

$$PF_{\text{dowels}} = PF_{\text{CM}} + PF_{\text{sideshift}} + PF_{\text{depth}} - 2,00, \quad (3)$$

де PF_{CM} — коефіцієнт оплати (*Payment Factor, PF*) відповідно до визначеної комбінованої неспіввідповідності штирів (визначають згідно з **табл. 2**);

$PF_{\text{sideshift}}$ — коефіцієнт оплати відповідно до визначеного бічного зсуву штирів;

PF_{CM} — коефіцієнт оплати відповідно до визначеного відхилення за глибиною залягання штирів;

C — коригувальний коефіцієнт, що урахує строки перевіряння відповідності вимогам щодо позиціонування штирів;

$C = 0,6$ — випробування протягом першого року,

$C = 0,8$ — протягом другого року,

$C = 1,0$ — протягом третього року та пізніше.

² У разі застосування системи *CESMM* (*Civil Engineering Standard Measurement Method*), у прийнятних випадках, засади для відповідного коригування оплати можуть бути закладені у відомість обсягів робіт згідно з 5.11 [7].

³ Вартість, що заявлено на торгах.

Коефіцієнт оплати з урахуванням PWL визначають згідно з **табл. 2**.

Таблиця 2

Порядок розрахунку коефіцієнтів оплати з урахуванням PWL згідно з [6]

PWL	PF
$90 \leq PWL \leq 100$	1,00
$50 \leq PWL < 90$	$PF = 0,55 + 0,005 \cdot PWL$

Коригування оплати здійснюють після виконання підрядником ремонтних робіт у місцях розташування штирів, які підлягають вилученню — якщо таке передбачено договором.

Автори [3] стисло описують досвід канадських колег з улаштування $JPCP$ для автомобільних доріг з високим транспортним навантаженням, де було запроваджено систему коригування оплати. Улаштований бетонний покрив було визначено як лот (партію); PWL обчислювали для кожного лота за кожним із критеріїв розташування штирової арматури (перелік критеріїв — аналогічно до наведених у **табл. 1**, проте канадські колеги приймали інші значення допусків). За кожним лотом зі значенням PWL не менше ніж 90 % здійснювали повну оплату, за значення PWL не менше ніж 50 % до 90 % виконували коригування оплати, у випадку PWL менше ніж 50 % лот, до прийняття, виділяли для виконання коригувальних (ремонтних) робіт з повторенням випробувань з визначення розташування штирів.

Висновки

1. Ураховуючи високі транспортні навантаження, потребу у відновленні транспортної інфраструктури України, а також переваги певних типів і конструкцій дорожнього одягу доцільно акцентувати увагу на розробленні комплексу сучасних нормативних документів стосовно проектування і влаштування жорстких дорожніх одягів, важливу роль у якому мають відігравати стандарти, спрямовані на підвищення якості робіт.

2. У частині влаштування найбільш поширених у світовій практиці дорожнього будівництва шовних бетонних покривів з неармованими плитами ($JPCP$), з армованими поперечними швами, незамінним є метод неруйнівної діагностики розташування штирової арматури зі застосуванням імпульсної магнітної індукції, який дозволяє виявляти потенційні чинники неналежної роботи поперечних деформаційних швів та запобігати зниженню строку служби дорожнього одягу.

3. Ефективність упровадження зазначеного методу випробувань підвищується у разі розроблення та одночасного впровадження розширених вимог до позиціонування штирової арматури з установленням допустимих відхилів розташування штирів, що забезпечують ефективну роботу шва (належне розкриття / закриття шва, належна ефективність передавання навантаження) та водночас можуть бути реалізовані наявними технологіями улаштування бетонних покривів. Поряд з допустимими відхилами розташування / зцентровання штирів мають бути установлені чіткі критерії вилучення штиря.

4. Критичними є допуски на розташування штиря для забезпечення горизонтальної та вертикальної співвісності з проєктним положенням, а також для обмеження бічного зсуву та горизонтального зміщення. Ураховуючи викладений матеріал та чинні в системі національних стандартів України вимоги, доцільно запропонувати для опрацювання, для розташування / зцентровання штирів швів стискання, значення:

— приймання: комбінована неспіввісність у межах від 0 мм до 15 мм, бічний зсув — у межах ± 50 мм; допустимі відхили за глибиною залягання з розрахунку на середину товщини плити нормувати з урахуванням проєктної товщини плити;

— вилучення (зокрема після проведення коригувальних робіт, якщо таке передбачено договором): комбінована неспіввісність 35 мм та більше; бічний зсув — 70 мм та більше, у будь-який бік; відхил за глибиною залягання — якщо не забезпечено належну товщину шару бетону над штирем

та / або відстань від нижньої границі глибини нарізання шва є меншою ніж 1 см; відхил за горизонтальним зміщенням — у разі відсутності штиря вздовж траєкторії кочення коліс та недотримання норм витрат штирової арматури на влаштування шва вилучати весь шов.

5. За результатами впровадження діагностики розташування штирової арматури у процесі влаштування *JPSP* доцільно створити систему коригування оплати, ґрунтовану на допустимому загальному відсотку відхилів за кожним з критеріїв розташування/зцентровання штиря, з обов'язковим установленням критеріїв приймання робіт або вилучення партії продукції, якою призначати секції шовного бетонного покриття або об'єкт загалом, залежно від розмірів проекту.

Список літератури

1. Concrete Pavement Joints. Technical Advisory. FHWA Publication T 5040.30. US Department of Transportation, FHWA (Federal Highway Administration) 2019, 48 p. URL: <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/ta504030.pdf> (Дата звернення 08.07.2021).
2. ASTM E3013/E3013M-17(2022) Standard Test Method for Evaluating Concrete Pavement Dowel Bar Alignment Using Magnetic Pulse Induction. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. 6 p.
3. A. K. Kiwi. Dowel Bar Alignment in Concrete Pavements: 21st Century Standards and Methods Transportation Association of Canada (TAC) Conference & Exhibition, 2020, session “Innovations in Pavement Management, Engineering and Technologies”, 18 p. URL: https://www.tac-atc.ca/wp-content/uploads/kivia_dowel_bar_alignment.pdf (Дата звернення 13.07.2021).
4. ГБН В.2.3-37641918-557:2016 Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування. Київ, Міністерство інфраструктури України, 2016. 74 с. (Інформація та документація)
5. ДСТУ ASTM A615/A615M:2022 Прокат гладкого та періодичного профілю з вуглецевої сталі для армування бетону. Технічні вимоги (ASTM A615/A615M-20, IDT) Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2023. 14 с. (Інформація та документація).
6. Dowel Bar Alignment and Location, ACPA Guide Specification,. American Concrete Pavement Association, Skokie, IL, 2018, 18 p. URL: <http://www.acpa.org/wp-content/uploads/2020/07/18-11-15-ACPA-Dowel-Alignment-Guide-Spec.pdf> (Дата звернення 07.07.2021).
7. CESMM4 Стандартний метод вимірювання в цивільному будівництві. Видання четверте, переглянуте. London, ICE Publishing. 2019. 99 с. URL: https://www.icevirtuallibrary.com/doi/suppl/10.1680/cessmfr.64409/suppl_file/CESMM4_Revised_4ed_9780727764409_Ukrainian.pdf (Дата звернення 02.07.2024).

References

1. Concrete Pavement Joints. Technical Advisory. FHWA Publication T 5040.30. US Department of Transportation, FHWA (Federal Highway Administration) 2019, 48 p. URL: <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/ta504030.pdf> (Last accessed 08.07.2021) [in English].
2. ASTM E3013/E3013M-17(2022) Standard Test Method for Evaluating Concrete Pavement Dowel Bar Alignment Using Magnetic Pulse Induction. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. 6 p. [in English].
3. A. K. Kiwi. Dowel Bar Alignment in Concrete Pavements: 21st Century Standards and Methods Transportation Association of Canada (TAC) Conference & Exhibition, 2020, session “Innovations in Pavement Management, Engineering and Technologies”, 18 p. URL: https://www.tac-atc.ca/wp-content/uploads/kivia_dowel_bar_alignment.pdf (Last accessed 13.07.2021) [in English].
4. HBN V.2.3-37641918-557:2016 Avtomobilni dorohy. Dorozhnii odiah zhorstkyi. Proektuvannia. (Industry building norms. Motor roads. Rigid road pavement. Design). Kyiv, 2016. 74 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
5. DSTU ASTM A615/A615M:2022 Prokat hladkoho ta periodychnoho profilu z vuhletsevoi stali dlia armuvannia betonu. Tekhnichni vymohy (ASTM A615/A615M-20, IDT) (Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement). Kyiv, 2023. 14 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

6. Dowel Bar Alignment and Location, ACPA Guide Specification. American Concrete Pavement Association, Skokie, IL, 2018, 18 p. URL: <http://www.acpa.org/wp-content/uploads/2020/07/18-11-15-ACPA-Dowel-Alignment-Guide-Spec.pdf> (Last accessed 07.07.2021) [in English].

7. CESMM4: Civil Engineering Standard of Method and Measurement [4th edition]. London, Thomas Telford, 2019. 99 p. URL: https://www.icevirtuallibrary.com/doi/suppl/10.1680/cessmfr.64409/suppl_file/CESMM4_Revised_4ed_9780727764409_Ukrainian.pdf (Last accessed 02.07.2024) [in Ukrainian].

Tatyana Tereshchenko, Ph.D., Sen. Research, <https://orcid.org/0000-0001-7584-9031>

State Enterprise “National Institute for Development Infrastructure” (SE “NIDI”), Kyiv, Ukraine

REQUIREMENTS FOR POSITION OF REINFORCEMENT IN DEFORMATION JOINTS OF CONCRETE PAVEMENT OF A JPCP TYPE AND CONTEMPORARY APPROACH TO WORKS QUALITY CONTROL WITH PAYMENT ADJUSTMENT

Abstract

Introduction. The introduction to the paper outlines the advantages and types of rigid road pavement and current problems of functioning of jointed concrete pavements.

Problem statement. The issues of the paper concern the functioning of deformation joints of jointed plain concrete pavement (JPCP), the role and position of dowels and tie bar in such joints, and modern approaches to quality control of reinforcement installation works.

Purpose. The purpose of the paper is to analyze foreign primary sources concerning requirements for the accuracy of location and alignment of dowel bars, criteria and possibilities of monitoring compliance with these requirements using a non-destructive testing method, and practices for adjusting payments to contractors.

Results. An analysis of the functions of reinforcement in transverse and longitudinal deformation joints of JPCP and the requirements for the accuracy of the positioning of reinforcement in the constructed joints, taking into account reinforcement functions, was performed.

According to foreign primary sources, the requirements of the ACPA, on the basis of which work on the construction of transverse deformation joints of the JPCP is accepted, were considered, in particular the requirements regarding dowels rejection in case of inadequate quality of work.

The practices of adjusting payment based on the results of quality control of work on the installation of dowel bar were analyzed.

Conclusions. Conclusions are provided on the need to focus attention on the development of a set of standards for the design and construction of rigid concrete road pavement, covering standards that ensure quality control of work. Qualitative and quantitative criteria for accepting work on the installation of reinforcement in transverse contraction joints of JPCP were proposed for processing and the feasibility of developing a system for adjusting payment to the contractor based on the results of quality control of work was indicated.

Keywords: rigid road pavement, concrete pavement, jointed plain concrete pavement, dowel bar, tie bar, requirements for location and alignment, control by the impulse magnetic induction method, payment adjustment.

ПОРІВНЯННЯ *RCC* ТА *HBM* І ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАНДАРТИЗАЦІЇ Й ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИХ МАТЕРІАЛІВ

Анотація

Вступ. У вступі до статті висвітлено переваги застосування й актуальність робіт зі стандартизації двох матеріалів на основі гідралічних в'язучих: бетону, отриманого ущільненням цементобетонної суміші котком (*RCC*), і сумішей, укріплених гідралічним в'язучим (*HBM*s).

Проблематика. Тематика статті охоплює зіставлення *RCC* та *HBM*, технологія застосування яких під час будівництва доріг і об'єктів транспортної інфраструктури передбачає укладання асфальтоукладачами й ущільнення котками і забезпечує економічний ефект порівняно із застосуванням звичайних бетонів.

Мета. Метою статті є виконання порівняльного аналізу *RCC* та *HBM*, зокрема впроваджених у світовій практиці будівництва стандартних методів випробувань цих матеріалів, для підкреслення принципових розбіжностей *RCC* та *HBM* як об'єктів стандартизації, а також складання загальних пропозицій щодо напрямку подальших робіт для забезпечення більш широкого впровадження *RCC* та *HBM* у будівництво об'єктів транспортної інфраструктури і логістики.

Результати. Проаналізовано принципові питання стандартизації *RCC* та *HBM*, охоплюючи значущі розбіжності складу і технічних вимог до матеріалів у їхньому проектному віці. Зазначено, що віднесення *RCC* до стандартних бетонів дозволяє вирішувати задачі контролювання якості з підтвердженням забезпеченості проектного класу матеріалу, а також уможливорює застосування масштабних коефіцієнтів для зразків у стандартних процедурах визначення міцності і виконання перерахунків для показників міцності, визначених різними методами.

Проведено диференціацію стандартних методів випробувань сумішей і виокремлено принципові розбіжності складу, відповідно до яких *RCC* класифікують за прийнятим для звичайних бетонів показником консистенції, тоді як *HBM* у пластичному стані загалом характеризують за показниками, прийнятими для ґрунтів.

Виконано порівняльний аналіз стандартних методів виготовлення зразків *RCC* та *HBM* і поставлено загальні питання впровадження цих матеріалів у рамках системи національних стандартів України.

Висновки. Розбіжності складу *RCC* та *HBM* є визначальними для впровадження різних стандартних методів випробувань *RCC* та *HBM* у пластичному стані — таких, як прийнято для двох різних видів будівельних матеріалів: бетонних сумішей та ґрунтів.

Ураховуючи високу жорсткість *RCC*-сумішей, які не проявляють осідання конуса, метод випробувань з визначення консистенції *RCC*-сумішей стандартизовано окремо від відповідних методів випробувань бетонних сумішей, які ущільнюють глибинним вібруванням.

Стандартні методи випробувань *RCC*-сумішей є репрезентативними з точки зору відповідних технологій дорожнього будівництва; поряд з цим застосування для *RCC* стандартних методів ущільнення з визначенням оптимальної вологості, аналогічно до *HBM*, є ефективним для будівництва споруд з масивного бетону, таких як гідротехнічні споруди.

Впровадження методів випробувань *RCC*-сумішей і виготовлення зразків *RCC*, ідентичних міжнародним стандартам, у системі національних стандартів України є безальтернативним. Стандартизація *RCC* потребуватиме проведення робіт з перевіряння/підтвердження забезпеченості нормованих значень коефіцієнта варіації міцності на стиск.

Ключові слова: бетон, виготовлення зразків, консистенція, оптимальний уміст води; суміші, укріплені гідралічним в'язучим, ущільнений котком.

Вступ

До матеріалів на основі гідралічних в'язучих, технології застосування яких у дорожньому будівництві мають безумовні економічні переваги, належать бетон, отриманий ущільненням цементобетонної суміші котком (*roller-compacted concrete, RCC*), а також суміші, укріплені гідралічним в'язучим (*hydraulically bound mixtures, HBM*).

RCC та *HBM* різняться за напрямками застосування в дорожньому будівництві. У випадку *RCC* сфера застосування поширюється на покриття дорожніх одягів (переважно на об'єктах з обмеженою швидкістю руху), стоянки великогазових транспортних засобів, об'єкти транспортної логістики з каналізованим маневровим рухом великогазових транспортних засобів і техніки: термінали, контейнерні майданчики, доки та інше [1]¹⁾. *HBM* застосовують у шарах основи, у додаткових шарах основи, ґрунтовій основі, а також у перекриваючих шарах; застосування для влаштування покриття не практикують.²⁾

Застосування стандартних методів у процесі добирання складу цих матеріалів, а також дотримання стандартних технологій застосування дозволяють з мінімальними витратами ресурсів, у окремих випадках — також з раннім відкриттям руху транспорту, виконувати роботи з улаштування шарів дорожнього одягу або інших об'єктів транспортної інфраструктури з матеріалів, які за показниками міцності наближаються до звичайних бетонів (*conventional concrete*) — таких, що ущільнені глибинним вібруванням, і здатні забезпечувати високі строки служби конструкцій.

На відміну від бетонних сумішей, що у разі бетонування *in situ* укладають та ущільнюють із застосуванням бетоноукладачів, суміші *RCC* та *HBM* укладають асфальтоукладачами та ущільнюють котками. Проте, попри схожі технології застосування, *RCC* та *HBM* різняться за складом, методами випробувань сумішей і виготовлення зразків, та у частині технічних вимог.

В Україні тривають роботи з напрямку стандартизації цих матеріалів, методів їх випробувань і технологій застосування у будівництві об'єктів інфраструктури; основний фронт робіт зосереджено в ДП «НІРІ».

У цій статті виокремлено принципові розбіжності між *RCC* та *HBM*, відповідно до яких у світовій практиці будівництва стандартизовано різні методи випробувань сумішей і виготовлення зразків; також окреслено питання, які може бути доцільним поставити, у межах системи національних стандартів, для більш широкого впровадження цих матеріалів у будівництво об'єктів інфраструктури. У назві, а також в тексті статті термін «суміші», якщо не зазначено інше, вжито для позначення матеріалів — *RCC* чи *HBM* — у їхньому пластичному стані.

Принципові питання стандартизації *RCC* та *HBM*

У сучасних системах регіональних європейських або міжнародних стандартів технічні вимоги до *RCC* не виділено. *RCC* — це є бетон із заповнювачами нормальної густини, з фізико-механічними властивостями, аналогічними до звичайних бетонів, до якого переважно застосовують стандартні методи випробувань звичайних бетонів та показники міцності якого охоплено межами значень, установлені для звичайних бетонів. Проте особливості *RCC* ураховано кількома стандартними методами виготовлення зразків і випробувань сумішей, розробленими ASTM International, Технічний

¹⁾ Процеси стандартизації *RCC* в Україні не є завершеними; для позначення цих матеріалів застосовують термін «укочений бетон», прийнятий раніше згідно з Рекомендаціями з приготування пісних цементобетонних сумішей та влаштування основ дорожніх одягів із пісного укочуваного цементобетону, проте відповідником англomовного терміна *roller-compacted concrete*, прийнятого в стандартах ASTM і регіональних європейських документах, є «бетон, ущільнений котком». *RCC* широко застосовують також у спорудах з масивного бетону, зокрема гідротехнічних спорудах (у цій статті не розглянуто).

²⁾ Абревіатура *HBM* є прийнятою в європейських стандартах і національних стандартах України з ідентичним ступенем відповідності. У стандартах системи ASTM, а також у технічних звітах, публікаціях стосовно досліджень, що ґрунтуються на стандартах системи ASTM, такі матеріали описують термінами «*cement-treated aggregates*» та «*soil-cement mixtures*». У цій статті розглянуто положення стандартів стосовно *HBM*, для яких нормована міцність на стиск найбільш високої марки становить не менше ніж 48 МПа (у разі випробувань зразків-кубів та циліндрів з коефіцієнтом гнучкості, що дорівнює 1 (описано далі у статті)). Термін «перекриваючий шар» ужито в стандартах серії ДСТУ EN 13282; з запропонованим визначенням відповідного поняття можна ознайомитися в публікації [2].

комітет С09 «Бетон і заповнювачі для бетону», підкомітет С09.45 «Бетон, ущільнений котком» згідно з міжнародно визнаними принципами стандартизації, установленими в Рішенні щодо принципів розроблення міжнародних стандартів, настанов та рекомендацій, затверджені Комітетом з технічних бар'єрів у торгівлі СОТ. Стандарти, сфера застосування яких поширюється на *RCC*, мають код ICS 91.100.30 «Бетон і вироби з бетону».

Суміші, оброблені гідравлічними в'язучими, у разі застосування стандартів системи ASTM випробовують згідно зі стандартами стосовно ґрунтів.

У системі регіональних європейських стандартів (і національних стандартів України з ідентичним ступенем відповідності) установлено технічні вимоги до *HBM*, а також методи виготовлення і випробування зразків, де розробником відповідних EN є Технічний комітет CEN/TC 227 «Дорожньо-будівельні матеріали» (CEN/TC 227 «*Road materials*»), з наданням стандартам коду ICS 93.080.20 «Дорожньо-будівельні матеріали».

Попри те, що переліки характеристик міцності бетонів на заповнювачах нормальної густини та *HBM* у їхньому проєктному віці є практично однаковими, є й суттєва розбіжність. Віднесення *RCC* до бетонів відповідно до системи національних стандартів України потребує застосування вимоги щодо коефіцієнта варіації міцності на стиск — для дорожніх бетонів установлено граничне значення 13,5 % [3]; за такого нормованого значення коефіцієнта варіації міцності на стиск бетону установлено коефіцієнти надійності для граничних станів першої та другої груп; аналогічні вимоги за коефіцієнтом варіації міцності установлені для бетону будівель та споруд у відповідному нормативному акті. Для *HBM* коефіцієнти варіації міцності не нормують.

Коефіцієнт варіації міцності є складовою контролювання якості і дозволяє підтверджувати (забезпечувати) відповідність бетону потрібного класу проєктним вимогам щодо міцності на стиск, як установлено у відповідних нормативних актах щодо проєктування; також забезпеченість коефіцієнтів варіації міцності бетону є підтвердженням належної роботи технологічної лінії виробника бетону [4]. Так, згідно з [5] у процесі випробувань на виробництві з певною періодичністю визначають розкид міцності бетону одного класу (марки), одного віку, а також середню міцність за всіма серіями. Статистичними методами визначають коефіцієнт варіації міцності партій бетону за аналізований період за потрібних обсягів вибірки [6]. Згідно з вимогами національної системи стандартизації України приймання бетону порівнянням його фактичної міцності з нормованою без урахування характеристик однорідності міцності заборонено.

Поряд з підтвердженням відповідності класу бетону проєктним вимогам у системі національних стандартів України установлено процедури визначання масштабних коефіцієнтів у разі випробувань з визначання міцності бетону, а також коефіцієнтів перерахунку між значеннями міцності, отриманими різними методами; підкреслимо, що всі ці процедури установлені для бетонів з підтвердженням коефіцієнтом варіації міцності на стиск.

Відсутність вимог до коефіцієнта варіації міцності стандартних *HBM* певною мірою (у частині контролювання якості) компенсується нормуванням відхилів показника масової густини ущільненого матеріалу на об'єкті — у системі національних стандартів України цей показник повинен становити не менше ніж 98 % від проєктного значення, з дотриманням вимог щодо вибірки і допустимих відхилів [7].

Стосовно можливості застосування масштабних коефіцієнтів під час визначання міцності стандартних *HBM* потрібно зазначити наступне. Клас за міцністю на стиск *HBM* — незалежно від виду в'язучого матеріалу і заповнювача — установлюють за результатами випробувань зразків-кубів або зразків-циліндрів стандартного розміру, що залежить від максимального розміру заповнювача; для зразків-циліндрів додатково нормують коефіцієнт гнучкості (відношення довжини до діаметра зразка) — він повинен становити 1 або 2. У разі випробовування зразків (охоплюючи зразки, виготовлені з кернів), для яких коефіцієнт гнучкості відрізняється від нормованого, потрібно попередньо експериментальним шляхом установити кореляцію з коефіцієнтами гнучкості 1 або 2 (більш детально з цим питанням можна ознайомитись у стандартах серії ДСТУ EN 14227).

Щодо можливості перерахунку показників міцності *HBM*, визначених різними методами: європейські колеги вказують на потребу в уточненні перерахунку показників міцності, отриманих різними методами (система *EN*), для оцінювання міцності стандартних *HBM*. У роботі [8] за результатами ґрунтовних досліджень із застосуванням різних видів гідравлічних в'язучих та сумішей з різним складом заповнювачів автори дійшли висновку, що потенційно можна виділити сталі залежності міцності на розтяг від міцності на стиск для двох умовних груп *HBM*, які характеризуються міцністю на стиск R_c в двох інтервалах значень: (0 – 5) МПа і (5 – 20) МПа, проте потрібні додаткові дослідження для надання остаточних висновків.

Таким чином можливість віднесення *RCC* до стандартних бетонів у свою чергу надає можливість підтвердити забезпеченість проєктного класу *RCC* за показниками міцності — у системі національних стандартів і нормативних актів України відповідні вимоги є обов'язковими, а також застосовувати масштабні коефіцієнти для зразків різного розміру / форми для визначення міцності *RCC* і виконувати перерахунок показників міцності *RCC*, визначених різними методами.

Диференціація методів випробувань *RCC* та *HBM* у пластичному стані

Передумовою впровадження принципово різних методів випробувань і виготовлення зразків *RCC* та *HBM* є різний кількісний склад цих матеріалів: якщо для бетонів відношення «вода / цемент» становить переважно від 0,40 до 0,60 (проте для *RCC* рекомендовано брати це значення $< 0,40$), для *HBM* розкид значень відношення «вода / гідравлічне в'язуче», залежно від виду гідравлічного в'язучого і характеристик заповнювача, становить орієнтовно від 0,3 до 3,0 — більш детально з різними даними можна ознайомитися в першоджерелах [8, 9].

Важливим є визначення консистенції бетонних сумішей, яка значною мірою залежить від відношення «вода / цемент» і може бути встановлена за кількома показниками — так, згідно зі стандартом [10] у разі класифікації за консистенцією бетонних сумішей можуть бути застосовані показники осідання конуса, ущільнюваність, рухомість, а також комбінована класифікація за осіданням конуса / рухомістю. Вказано, що відповідні стандартні методи класифікації за консистенцією не поширюються на бетонні суміші з низьким умістом води, призначені для ущільнення за окремими технологіями (апріорі це стосується *RCC*).

RCC-суміші у зв'язку з високою жорсткістю характеризують як «*zero-slump concrete*», або «*no-slump concrete*» – бетонні суміші, що не проявляють осідання конуса. У системі міжнародних стандартів *ASTM* консистенцію *RCC*-сумішей визначають із застосуванням стола Вебе й характеризують як час, потрібний для утворення кільця цементного тіста на поверхні зразка, що ущільнюють у циліндричній формі — таке кільце має утворитися по периметру між внутрішньою стінкою форми і зовнішньою крайкою пластикової пластини на поверхні зразка, на яку встановлено привантагу. Залежно від маси привантаги і визначеного часу ущільнення, або «часу Вебе», *RCC*-суміші класифікують таким чином:

- суміші жорсткої консистенції – «час Вебе» від 5 с до 20 с за маси привантаги 12,5 кг;
- суміші дуже жорсткої консистенції – «час Вебе» від 20 с до 30 с за маси привантаги 22,7 кг або 12,5 кг;
- суміші надзвичайно сухої консистенції – «час Вебе» понад 30 с за маси привантаги 22,7 кг.

Відповідний стандартний метод у цілому є застосовним для випробувань *RCC*-сумішей з консистенцією за часом Вебе від 10 с до 60 с.

Добирання складу *HBM* здійснюють на принципово інших засадах — як було зазначено вище, для *HBM* у межах орієнтовного інтервалу значень відношення «вода / гідравлічне в'язуче» максимальне та мінімальне значення можуть різнитися на порядок. Під час добирання складу *HBM* виконують випробування з визначення залежності масової густини суміші від умісту води. Для більшості *HBM* така залежність у графічному вигляді має форму опуклої кривої, екстремум якої відповідає максимальній масовій густині і певному вмісту води, який приймають як оптимальний (для масової густини прийнято виконувати подальші розрахунки з метою виведення значення для суміші в сухому стані). Стандартні випробування з визначення цієї залежності виконують за

методом Проктора — ущільненням матеріалу в циліндричній формі трамбівкою, яку пускають із заданої висоти падіння, щоб забезпечити, з урахуванням маси трамбівки та висоти її падіння, потрібну роботу ущільнення; за більших значень роботи ущільнення цей метод випробувань у рамках системи стандартів *EN* характеризують як модифікований метод Проктора.

Таким чином підкреслимо, що *RCC*-суміші характеризують за показником консистенції, як це усталено для звичайних бетонних сумішей, *HBM* — за оптимальним умістом води, аналогічно до випробувань ґрунтів; відповідні стандартні методи випробувань є складовою процедур добирання складу цих матеріалів.

Результати випробувань *RCC*-сумішей з визначенням консистенції за методом Вебе дозволяють виконувати коригування складу *RCC* на об'єкті після пробного ущільнення шляхом співвіднесення з тривалістю вібраційного впливу на столі Вебе. Випробування зразків за методом Проктора такої можливості не дає, тобто є недостатньо репрезентативним з точки зору технології ущільнення матеріалу на об'єкті дорожнього будівництва.

Поряд з цим ущільнення, наприклад, за модифікованим методом Проктора згідно з [12] дає можливість визначати максимальну густину ущільненого матеріалу в сухому стані відповідно до енергії ущільнення і застосовувати отримані результати для контролювання ущільнення на об'єкті згідно з принципами влаштування земляних насипів [11].

Диференціація методів виготовлення зразків *RCC* і *HBM*

Стандартизовані на даний час методи виготовлення, а також форма зразків *HBM* є більш різноманітними, ніж для *RCC* (табл. 1).

Таблиця 1

Методи виготовлення, форма та розміри зразків *RCC* і *HBM*

Метод ущільнення	Форма зразків	Розмір зразків, мм	Максимальний розмір заповнювача, мм*
HBM			
Метод Проктора Вібраційний стіл	Циліндричні	$d = 100; h = 120$	16,0
		$d = 150; h = 120$	31,5
Вібростискання	Зразки-«вісімки» круглого перерізу	$d = 100; h = 100$ або 200	22,4
		$d = 160; h = 160$ або 320	31,5
Вібраційний молоток	Циліндричні	$d = 100; h = 100$	22,4
		$d = 150; h = 150$	31,5
	Кубічні	100	22,4
		150	31,5
Осьове стискання	Циліндричні	$d = 50; h = 50$ або 100	11,2
		$d = 100; h = 100$ або 200	22,4
RCC			
Стіл Вебе Вібраційний молоток	Циліндричні	$d = 150; h = 300$	50,0**
* В окремих випадках нормовано номінальний максимальний розмір заповнювача, <i>NMSA</i> (<i>nominal maximum size of aggregate</i>).			
** <i>NMSA</i> становить 50,0 мм або менше.			
Примітка. « <i>d</i> » є діаметр зразків, « <i>h</i> » – висота зразків.			

Під час виготовлення зразків *HBM* існує можливість вибору стандартного методу залежно від максимального розміру заповнювача, відносного вмісту дрібнозернистих фракцій, призначення зразків для певного методу випробувань, а також, окремо — у разі потреби у виготовленні зразків на місці виконання робіт, ущільненням вібраційним молотком.

Потрібно зазначити, що зразки *HBM*, застосовні для визначання класу за міцністю на стиск без перерахунку з урахуванням коефіцієнта гнучкості, можуть бути виготовлені лише двома методами: з застосуванням вібраційного молотка або осьового стискання. Поряд з цим, застосування вібраційного молотка передбачає пошарове ущільнення невизначеної кількості *HBM* у формі певного об'єму, доки подальше ущільнення стає неможливим (до відмови) — внаслідок цього забезпечення проєктних значень масової густини зразків *HBM* для випробувань може бути проблемним. Якщо розглядати визначання показників міцності *HBM* з застосуванням зразків-«вісімок» (випробування на прямий розтяг), потрібно зазначити, що у даному випадку для класифікації *HBM* потрібно виконувати послідовність випробувань і розрахунків з визначення граничних значень комплексного показника $R_t E$ — класифікацію за цим показником здійснюють відповідно до результатів випробувань з визначання міцності на розтяг R_t та модуля пружності E , обчисленого за результатами випробувань на розтяг [13]. Класифікація *HBM* за показником $R_t E$ є більш складною.

Стандартні зразки *RCC* виготовляють одного розміру, циліндричної форми, одним із двох методів: ущільненням на столі Вебе з привантагою, опущеною на поверхню зразка — процедурно метод ущільнення наближається до випробування з визначення консистенції *RCC*-суміші (проте комплект привантаги повинен мати масу $(9,0 \pm 0,25)$ кг), або ущільненням вібраційним молотком; дозволено застосовувати вібраційний стіл, інший ніж стіл Вебе, якщо він за результатами перевіряння задовольнятиме певні вимоги до параметрів синусоїдальної вібрації. Зазначимо, що критерій завершення ущільнення *RCC* — виступання цементного тіста на поверхні — є аналогічним до такого під час виготовлення на вібраційному столі стандартних зразків звичайних бетонів і дотично вказує на заповнення цементним тістом порожнин між зернами заповнювача у тілі зразка, тобто на забезпечення певної структурної однорідності матеріалу.

Доцільно додати, що раніше в системі *ASTM* розглядалась можливість стандартизації методів виготовлення зразків *RCC* у вигляді балочок прямокутного перерізу [14]; на даний час процес стандартизації зупинено.

Окремі питання впровадження *RCC* та *HBM* з урахуванням вимог нормативних актів і національних стандартів України

У частині впровадження в Україні *HBM* відповідно до вимог регіонального європейського рівня, поряд з питанням технічної та економічної забезпеченості виробництв, доцільно підкреслити необхідність накопичення бази даних, яка уможливить виконання перерахунків за результатами випробування на стиск зразків-кернів з коефіцієнтами гнучкості, що відрізняються від стандартних. Поряд з цим потребуватиме розширення та узагальнення досвід проєктування конструкцій на засадах класифікації *HBM* відповідно до комплексного показника $R_t E$. Класифікацію за показником $R_t E$ застосовують переважно для проєктування т. зв. *long life pavements* — конструкцій дорожнього одягу з шарами асфальтобетону, влаштованими на шарі основи з *HBM* високої марки за міцністю; стандартні вимоги до *HBM* надають можливість вибору типу суміші з забезпеченням відкриття руху транспорту безпосередньо після ущільнення – жоден інший стандартний дорожньо-будівельний матеріал на основі гідравлічного в'язучого відповідними характеристиками не забезпечено.

У частині *RCC* доцільно зазначити наступне. На даний час розглянуті вище стандартні методи визначення консистенції *RCC*-сумішей і виготовлення зразків є безальтернативними — система міжнародних стандартів *ISO*, регіональних європейських стандартів *EN* і система національних стандартів України аналогів не мають.

Поряд з цим у рамках сучасної системи національних стандартів і нормативних актів України, в цілях забезпечення стандартних вимог до *RCC* як до різновиду бетонів на заповнювачах нормальної густини, потрібно провести роботи з підтвердження забезпеченості нормованих значень коефіцієнта варіації міцності з застосуванням відповідних стандартних методів випробувань *RCC*-сумішей і виготовлення зразків, на певному стандартному обладнанні, з залученням виробничих лабораторій підприємств-виробників бетону. Після виконання роботи з підтвердження забезпеченості коефіцієнта варіації міцності на стиск буде потребуватися робота з підтвердження відповідності показників

міцності *RCC* різних класів міцності на стиск критично важливим залежностям, наприклад, прийнятим для розрахунків середнього рівня міцності бетону на виробництві.

Ураховуючи викладене, у разі установлення на національному рівні стандартних технічних умов щодо *RCC* відповідному стандарту доцільно надати статус «пробний».

Висновки

Бетон, ущільнений котком (*roller-compacted concrete, RCC*) і суміші, укріплені гідравлічним в'язучим (*hydraulically bound mixtures, HBM*), попри ідентичні технології укладання й ущільнення і практично однакові переліки характеристик міцності у проєктному віці, різняться за відносним умістом води. Для *RCC* це є відношення «вода / цемент», яке тяжіє до нижньої границі інтервалу, прийнятого для звичайних бетонів, із мінімізацією до $< 0,40$. Для *HBM* це є уміст води, що забезпечує максимальну масову густину ущільненого матеріалу і характеризується як оптимальний та відповідає відношенню «вода/гідравлічне в'язуче» в орієнтовному інтервалі від 0,3 до 3,0, залежно від типу гідравлічного в'язучого і характеристик заповнювача.

Відповідно до цього *RCC* та *HBM* у їхньому пластичному стані випробовують різними стандартними методами та класифікують за різними параметрами. *RCC*-суміші класифікують за прийнятим для бетонів на заповнювачах нормальної густини параметром консистенції, проте відповідний метод випробувань стандартизовано окремо від методів випробувань звичайних бетонів у зв'язку з високою жорсткістю *RCC*-сумішей. Для *HBM* у пластичному стані показники консистенції не визначають — методи випробувань є ідентичними до випробувань ґрунтів.

Стандартні методи виготовлення зразків *RCC* та *HBM* також різняться і можуть бути охарактеризовані як ідентичні до прийнятих для бетонів і ґрунтів, оброблених гідравлічним в'язучим відповідно.

Стандартні методи випробувань *RCC*-сумішей є репрезентативними з точки зору виконання робіт на об'єктах дорожнього будівництва, проте, згідно зі світовим досвідом будівництва, застосування для *RCC* стандартних методів ущільнення з визначенням оптимальної вологості, які практикуються для *HBM*, дозволяє застосовувати отримані результати для контролювання ущільнення на об'єкті згідно з принципами влаштування земляних насипів, що є ефективним для будування споруд з масивного бетону, гідротехнічних споруд тощо.

Впровадження методів випробувань *RCC*-сумішей і виготовлення зразків *RCC*, ідентичних міжнародним стандартам, у системі національних стандартів України є безальтернативним.

Стандартизація *RCC* у рамках системи національних стандартів України потребуватиме проведення робіт з перевіряння / підтвердження забезпеченості нормованих значень коефіцієнта варіації міцності на стиск із застосуванням стандартних методів випробувань *RCC*-сумішей і виготовлення зразків і подальшої робота з підтвердження відповідності показників міцності *RCC* стандартним залежностям розрахунку середнього рівня міцності бетону на виробництві, незалежно від очікуваної сфери застосування *RCC*, що дозволить повною мірою реалізувати економічний ефект застосування *RCC* у будівництві.

Список літератури

1. Harrington, D., Abdo, F., Adaska, W., Hazaree, C. Guide for roller-compacted concrete pavements. Portland Cement Association, Skokie, IL. 2010. 115 p. URL: https://www.cement.org/docs/default-source/cement-concrete-applications/sn298.pdf?sfvrsn=7e76fdbf_2 (Дата звернення 28.07.2023 р.).
2. Терещенко Т. А., Ілляш С. І. Досвід про'єктування та будівництва конструкцій дорожнього одягу з застосуванням положень європейських стандартів щодо матеріалів, укріплених гідравлічним в'язучим. *Автошляховик України*. 2019, № 3. С. 42–50.
3. ДСТУ 8858:2019 Суміші цементобетонні дорожні та цементобетон дорожній. Технічні умови. Київ, 2020. 19 с. (Інформація та документація).
4. Шейніч Л. О., Пушкарьова К. К., Приймаченко А. С., Чайковський В. В. Оцінка відповідності міцності бетону на стиск за українськими і європейськими стандартами.

Наука та будівництво. 2024, № 3. С. 51–59. URL: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/1976323> DOI: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2024-6> (Дата звернення 08.11.2024 р.).

5. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. Київ, 2010. 40 с. (Інформація та документація).

6. ДСТУ Б В.2.7-224:2009 Бетони. Правила контролю міцності. Київ, 2010. (Інформація та документація).

7. ДСТУ 9178:2022 Настанова з улаштування шарів дорожнього одягу з щебених, гравійних та укріплених матеріалів. Київ, 2022. 31 с. (Інформація та документація).

8. Kraszewsky, C. (Charakterystyka wytrzymałościowa mieszanek kruszyw związanych hydraulicznie do stosowania w podbudowach drogowych) Strength characteristics of hydraulically bound aggregate mixtures in road construction. *Drogi i Mosty* (Poland), 2009, Vol. 3, P. 31–54. URL: <https://www.rabdim.pl/index.php/rb/article/view/v8n3p31/325> (Дата звернення 18.09.2024 р.).

9. ДСТУ EN 14227-4:2020 (EN 14227-4:2013, IDT) Суміші, укріплені гідравлічним в'язучим. Технічні умови. Частина 4. Зола-винесення для сумішей, укріплених гідравлічним в'язучим. Київ, 2020. 9 с. (Інформація та документація).

10. ДСТУ EN 206:2022 (EN 206:2013+A2:2021, IDT) Бетон. Специфікація, продуктивність, виробництво та відповідність. Київ, 2022. 103 с. (Інформація та документація).

11. Avallone, F., Jahn, M., Marazzini, O. Sika RCC Dams Handbook. 2019. 51 p. URL: <https://www.sika.com/dam/dms/corporate/l/glo-sika-roller-compacted-concrete-dams-handbook.pdf> (Дата звернення 23.09.2024 р.).

12. ASTM D1557-12(2021) Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³)). ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. 13 p.

13. Терещенко Т. А., Ілляш С. І. Методи випробування сумішей, укріплених гідравлічним в'язучим, відповідно до вимог європейських стандартів. *Автошляховик України*. 2022, № 3. С. 36–42.

14. Терещенко Т. А., Ілляш С. І. Диференціація методів виготовлення зразків сумішей на основі гідравлічних в'язучих. *Дороги і мости*. 2021. Вип. 23. С. 129–138. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.23.129>.

References

1. Harrington, D., Abdo, F., Adaska, W., Hazaree, C. Guide for roller-compacted concrete pavements. Portland Cement Association, Skokie, IL. 2010. 115 p. URL: https://www.cement.org/docs/default-source/cement-concrete-applications/sn298.pdf?sfvrsn=7e67fdbf_2 (Accessed 28.07.2023 p.) [in English].

2. Tereshchenko, T., Illiash, S. Experience on design and construction of road pavements using the clauses of European standards on hydraulically bound materials. *A Scientific and Industrial Journal the Avtoshliakhovik Ukrayiny*. 2019, No. 3. P. 42–50 [in Ukrainian].

3. DSTU 8858:2019 Sumishi tsementobetonni dorozhni ta tsementobeton dorozhnii. Tekhnichni umovy (Concrete mix and road concrete. Technical specification). Kyiv, 2020. 19 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

4. Scheinich, L. O., Pushkarova, K. K., Pryymachenko, A. C., Chaikovskiy, V. V. Conformity assessment of concrete compressive strength according to ukrainian and european standards. *Science & Construction*. 2024, No. 3. С. 51–59. URL: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/1976323>. DOI: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2024-6> (Accessed 08.11.2024) [in Ukrainian].

5. DSTU B V.2.7-214:2009 Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia mitsnosti za kontrolnymi zrazkami (Building materials. Concretes. Methods of determination of strength by control samples). Kyiv, 2010. 40 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

6. DSTU B V.2.7-224:2009 Betony. Pravyla kontroliu mitsnosti (Concretes. The Rules on Control of Strength). Kyiv, 2010. (Information and documentation) [in Ukrainian].
7. DSTU 9178:2022 Nastanova z ulashtuvannia shariv dorozhnoho odiahu z shchebenevykh, hraviinykh ta ukriplenykh materialiv (Guide on construction of layers of road pavement from crushed stone materials, gravel materials and bound materials). Kyiv, 2022. 31 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
8. Kraszewsky, C. Strength characteristics of hydraulically bound aggregate mixtures in road construction. *Drogi i Mosty* (Poland), 2009, Vol. 3, P. 31–54. URL: <https://www.rabdim.pl/index.php/rb/article/view/v8n3p31/325> (Accessed 18.09.2024) [in Poland].
9. DSTU EN 14227-4:2020 (EN 14227-4:2013, IDT) Sumishi, ukripleni hidravlichnym viazhuchym. Tekhnichni umovy. Chastyna 4. Zola-vynesennia dlia sumishei, ukriplenykh hidravlichnym viazhuchym (Hydraulically bound mixtures - Specifications - Part 4: Fly ash for hydraulically bound mixtures). Kyiv, 2020. 9 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
10. DSTU EN 206:2022 (EN 206:2013+A2:2021, IDT) Beton. Spetsyfikatsiia, produktyvnist, vyrobnytstvo ta vidpovidnist (Concrete - Specification, performance, production and conformity). Kyiv, 2022. 103 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
11. Avallone, F., Jahn, M., Marazzini, O. Sika RCC Dams Handbook. 2019. 51 p. URL: <https://www.sika.com/dam/dms/corporate/l/glo-sika-roller-compacted-concrete-dams-handbook.pdf>.
12. ASTM D1557-12(2021) «Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³))». ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. 13 p.
13. Tereshchenko, T., Illiash, S. Methods for testing hydraulically bound mixtures in accordance with the European norms. *A Scientific and Industrial Journal the Avtoshliakhovyk Ukrayiny*. 2022, No. 3. P. 36–42 [in Ukrainian].
14. Differentiation of methods for manufacturing the specimens of mixtures based on hydraulic binders. *Dorogi i mosti* [Roads and bridges]. 2021. Issue 23. P. 129–138 DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.23.129> [in Ukrainian].

Tatyana Tereshchenko, Ph.D., Sen. Research, <https://orcid.org/0000-0001-7584-9031>

State Enterprise “National Institute for Development Infrastructure” (SE “NIDI”), Kyiv, Ukraine

COMPARISON OF RCC AND HBM AND MAIN STANDARDIZATION AND IMPLEMENTATION ISSUES FOR THESE MATERIALS

Abstract

Introduction. The introduction to the paper highlights the advantages of usage and also the relevance of works on standardization for two on the hydraulic binder based materials namely roller-compacted concrete (RCC) and hydraulically bound mixtures (HBM).

Problem statement. The issue of the paper covers the comparison of *RCC* and *HBM* the technology of application of which during constructing of motor roads and objects of the transport logistic envisages the laying by the asphalt pavers and the compaction by the roller thus providing economic effect in comparison with the usage of conventional concretes.

Purpose. The goal of the paper is to perform the comparative analysis for *RCC* and *HBM* in particular for in the worldwide practice implemented standard methods for testing these materials to emphasize the major differences between *RCC* and *HBM* as the objects of standardization and for drafting main

propositions regarding the direction of following works to provide wider implementation of RCC and HBM for construction of objects of transport infrastructure and logistic.

Results. The principles for standardization of RCC and HBM including meaningful differences in their compositions and specifications relating those materials' project age were analyzed. It was stated that the assignment of RCC to standard concretes assures the resolution of QC tasks with ensuring a design class of material and also provides the abilities to use the specimens scale factors for standard procedures of strength determination and to perform the recalculation of values of strength measured by different methods.

The differentiation between standard methods for mixtures testing was performed and principled differences between compositions were emphasized according to which RCC should be classified by consistency as it was accepted for conventional concretes whereas HBMs in their plastic condition are characterized in general by values accepted for soils.

Also, the comparative analysis for standard methods of specimens manufacturing for RCC and HBM was performed and the main problems of implementations of that materials within the frame of the national Ukrainian standards system was stated.

Conclusions. The difference between compositions of RCC and HBM determines the implementation of different standard methods for testing RCC and HBMs in their plastic condition as methods accepted for two different road materials: concrete mixtures and soils.

Considering high stiffness of RCC-mixtures developing no slump, the test method for consistency measurement for RCC-mixtures was standardized separately from relevant test methods for conventional concretes compacted by the internal vibration.

The standard methods for testing of RCC-mixtures are representative in terms of corresponding technologies of road construction industry; along with this the usage of standard compaction methods with the optimum moisture content measurements for RCC by the analogy with HBM is effective during the construction of structures from mass concrete such as dams and others.

The implementation of methods for testing for RCC-mixtures and also methods for RCC specimens manufacturing as identical to international standards ones in the system of national Ukrainian standards has no alternative. The standardization of RCC will require carrying out the work to verify/confirm the assurance of standard values of the coefficient of variation of compressive strength.

Keywords: consistency, hydraulically bound mixtures, optimum water content, roller-compacted concrete, specimens manufacturing.

УДК 691.32

Белоград А. Ю.¹, <https://orcid.org/0009-0005-8954-7823>Тихолаз Є. В.², <https://orcid.org/0009-0006-7835-8178>Приймаченко А. С.², канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0003-4335-5752>¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (КПІ ім. Ігоря Сікорського), м. Київ, Україна²Товариство з обмеженою відповідальністю «МЦ Баухемі» (ТОВ «МЦ Баухемі»), м. Київ, Україна

ОГЛЯД ВИМОГ СТАНДАРТІВ УКРАЇНИ ЩОДО ВИБОРУ ТИПУ ЦЕМЕНТУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Анотація

Вступ. Післявоєнна відбудова України постає як один із найважливіших етапів у відновленні держави, що зазнала значних руйнувань та втрат. Відбудова потребує не лише фінансових інвестицій, а і комплексного підходу до розв'язання проблеми зруйнованих об'єктів інфраструктури та житлового фонду. Рішення, які потрібні сьогодні — це будівництво та виробництво будівельних матеріалів за принципами сталого розвитку з залученням найкращих Європейських практик та досвіду.

Проблематика. Євроінтеграція галузі виробництва будівельних матеріалів втілюється у вигляді Регламенту (ЄС) № 305/2011 [1], а з 1 січня 2023 року набирає чинності ЗУ «Про надання будівельної продукції на ринку» [2], що імплементує в національне законодавство положення Регламенту (ЄС) № 305/2011 [1].

При цьому паралельно з новими введеними європейськими стандартами ще діють попередні національні норми — Державні Стандарти України. Це призводить до ускладнення використання нормативної документації виробниками, замовниками, будівельними компаніями та проєктантами. Така ситуація повною мірою поширюється на галузь виробництва бетону та цементів загальнобудівельного призначення.

Мета. Огляд чинних стандартів України, які регулюють вибір проєктантами та виробниками бетонних сумішей необхідного типу цементу задля дотримання вимог довговічності бетонних конструкцій.

Матеріали та методи. У статті використовуються методи комплексного і системного аналізу, порівняльний аналіз та метод експертних оцінок.

Результати. Запропоновано зміни до вимог вибору типу цементу в залежності від експозиційних класів на основі таблиці 6.2 у редакції Зміни 1 ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013 «Настанова щодо визначення складу важкого бетону» [13].

Висновки. Запропонована концепція експозиційних класів та узгоджені з нею рекомендації щодо вибору цементу задовольняє мету даної статті та рекомендована авторами, як інструмент для створення довговічного бетону в умовах різних середовищ експлуатації.

Діючі в Україні вимоги стандартів EN є «мінімальними» для всіх країн ЄС. Кожна країна ЄС доповнює їх додатковими вимогами у відповідності до своїх кліматичних умов та властивостями місцевих сировинних матеріалів, спираючись на ретельно проведені довготривалі дослідження довговічності бетону різного складу на різних цементах в різних умовах експлуатації. Такі дослідження слід проводити також в Україні відповідними науково-дослідними інститутами.

Ключові слова: бетон, довговічність, залізобетон, експозиційні класи, корозія, середовища експлуатації, стандарти, цемент.

Вступ

Післявоєнна відбудова України постає як один із найважливіших етапів у відновленні держави, що зазнала значних руйнувань та втрат. Відбудова потребує не лише фінансових інвестицій, а і комплексного підходу до розв'язання проблеми зруйнованих об'єктів інфраструктури та житлового фонду. Рішення, які потрібні сьогодні — це будівництво та виробництво будівельних матеріалів за принципами сталого розвитку з залученням найкращих Європейських практик та досвіду.

Основна мета сталого будівництва полягає в зменшенні негативного впливу на навколишнє середовище, підвищенні якості життя людей та забезпеченні економічної ефективності. Вагомим кроком до сталого будівництва є Євроінтеграція України.

Цей шлях потребує системних реформ, оновлення законодавства та інших змін, щодо виведення країни в одну площину з іншими країнами-членами Європейського союзу.

Євроінтеграція галузі виробництва будівельних матеріалів втілюється у вигляді Регламенту (ЄС) № 305/2011 [1], а з 01.01.2023 набирає чинності ЗУ «Про надання будівельної продукції на ринку» [2] що імплементує в національне законодавство положення Регламенту (ЄС) № 305/2011 [1].

Однією з ключових вимог Регламенту (ЄС) №305/2011 [1] є оцінка та перевірка стабільності показників будівельної продукції, яку здійснюють виробники будівельної продукції та призначені органи з оцінки відповідності. Регламент встановлює гармонізовані вимоги для випуску і збуту будівельної продукції. Однією з основних таких вимог є забезпечення всіма учасниками ринку безпеки будівельних матеріалів для життя і здоров'я людей, тварин, майна та навколишнього середовища. Гармонізовані вимоги до випуску і збуту будівельної продукції описуються Європейськими нормами, тобто стандартами які Україна приймає як національні.

При цьому паралельно з новими введеними європейськими стандартами ще діють попередні національні норми — Державні Стандарти України. Це призводить до ускладнення використання нормативної документації виробниками, замовниками, будівельними компаніями та проєктантами. Така ситуація повною мірою поширюється на галузь виробництва бетону та цементів загальнобудівельного призначення. Система стандартизації в Україні є важливим елементом економічного розвитку та інтеграції у світову економіку. Ринок будівельних матеріалів є динамічним чинником впливу на систему стандартизації, де ефективна співпраця між виробниками та споживачами будівельної продукції й державою є ключем до ефективного розвитку.

Колізії, які виникають в ході аналізу нормативної документації більшою мірою впливають на техніко-економічне обґрунтування проєктних рішень у будівництві як житловому, так і інфраструктурному, а також їх кошторисної вартості, що своєю чергою створюватиме додаткове фінансове навантаження як для держави, так і для пересічного споживача.

Метою даної статті є огляд чинних стандартів України, які регулюють вибір проєктантами та виробниками бетонних сумішей необхідного типу цементу задля дотримання вимог довговічності бетонних конструкцій.

Для досягнення цієї мети розглянуто поняття довговічності бетону в термінах чинних стандартів, наведено типи цементів згідно з гармонізованими європейськими та національними нормативними документами та зіставлено їх за змістом, наведено наявні нормативні вимоги щодо вибору цементу для різних середовищ експлуатації бетону.

Основна частина

Поняття довговічності залізобетонних конструкцій в термінах стандартів на бетон

Довговічність бетону – це здатність бетону зберігати свої властивості впродовж нормативного строку експлуатації під дією різних факторів навколишнього середовища. Довговічність бетонних, залізобетонних конструкцій повинна становити не менше 50 років, якщо інше не зазначено у вимогах до конструкцій, відповідно до ДСТУ EN 206:2022 Бетон [3].

Введені в Україні стандарти [3] та ДСТУ Б В.2.6-145:2010 [4] чітко визначають і класифікують чинники, що безпосередньо впливають на довговічність бетону.

Виділяють 3 групи агресивних по відношенню до бетонних / залізобетонних виробів чинників:

1) відсутність агресивного впливу на бетон / залізобетон;

2) фактори, які мають негативний вплив на армуючу сталь;

3) фактори, які руйнують сам бетон.

Українською мовою ці чинники (табл. 1) описані в Додатку А в ДСТУ Б В.2.6-145:2010 «Конструкції будинків і споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги» [4].

Таблиця 1

Групи агресивних чинників по відношенню до бетонних/залізобетонних виробів (відповідно до Додатку А ДСТУ Б В.2.6-145:2010 Конструкції будинків і споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги [4])

Індекс	Середовище експлуатації	Приклади середовищ експлуатації
1. Середовище без ознак агресії		
ХО	Для бетону без арматури і закладних деталей: всі середовища, окрім дії заморожування-відтавання, стирання або хімічної агресії Для залізобетону: дуже сухе	Всередині сухих приміщень
2. Корозія внаслідок карбонізації		
XC1	Постійно сухе або постійно вологе середовище експлуатації	Всередині приміщень із низькою вологістю. Бетон постійно під водою
XC2	Вологе, іноді сухе	Бетонна поверхня піддається тривалому зволоженню. Більшість фундаментів
XC3	Помірно вологе (вологі приміщення, вологий клімат)	Бетон всередині приміщень із помірно вологістю. Бетон на відкритому повітрі, але захищений від дощу та снігу
XC4	Поперемінне зволоження і висушування	Бетонна поверхня періодично має контакт із водою
3. Корозія внаслідок дії хлоридів (крім морської води)		
У випадку, коли бетон, що містить сталеву арматуру або закладні деталі, піддається дії хлоридів, включаючи солі, які застосовуються як антикригові речовини, агресивне середовище класифікується за наступними показниками:		
XD1	Помірно вологе	Бетон піддається впливу аерозолів, що містять хлориди
XD2	Вологе, іноді сухе	Плавальні басейни. Бетон піддається дії промислових вод, що містять хлориди
XD3	Поперемінне зволоження і висушування	Покриття доріг, тротуарів, мостів
4. Корозія, спричинена дією морської води		
У випадку, коли бетон, що містить сталеву арматуру або закладні деталі, піддається дії морської води або аерозолів морської води, агресивне середовище класифікується за наступними показниками:		
XS1	Вплив солей, але без прямого контакту з морською водою	Берегові споруди
XS2	Постійне перебування у воді	Фундаменти морських споруд
XS3	Приливна зона, дія солоних бризок, хвиль	Частини морських споруд у зоні змінного рівня води
5. Корозія, викликана поперемінним заморожуванням і відтаванням		
При дії поперемінного заморожування й відтавання агресивне середовище класифікується за наступними ознаками:		
XF1	Помірне водонасичення без антикригових речовин	Вертикальні поверхні будівель і споруд при дії дощу та морозу
XF2	Помірне водонасичення із застосуванням антикригових речовин	Вертикальні поверхні транспортних споруд

Індекс	Середовище експлуатації	Приклади середовищ експлуатації
6. Хімічна агресія		
XF3	Сильне водонасичення без антикригових речовин	Горизонтальні поверхні доріг та інших споруд при дії дощу та морозу
XF4	Сильне водонасичення (у тому числі морською водою) із застосуванням антикригових речовин	Горизонтальні поверхні доріг і мостів, сходинки зовнішніх сходів тощо. Зона змінного рівня для морських споруд при дії морозу
6. Хімічна агресія		
При дії хімічних агентів з ґрунту, ґрунтових вод, як це наведено в додатку А, корозійне середовище класифікується за такими ознаками:		
XA1	Незначна присутність агресивних агентів згідно з додатком А, таблиця А.2	–
XA2	Те саме помірно згідно з додатком А, таблиця А.2	–
XA3	Те саме сильне згідно з додатком А, таблиця А.2	–
Примітка. Агресивний вплив має бути додатково вивчений у разі: - перевищення меж вмісту хімічних агентів згідно з додатком А, таблиця А.2; - дії хімічних агентів, не зазначених у додатку А, таблиця А.2; - хімічного забруднення ґрунту і води; - висока швидкість (більше 1 м/с) течії води, що містить хімічні агенти згідно з додатком А, таблиця А.2.		

Класифікація середовищ експлуатації з хімічною агресією [4] наведено у (табл. 2).

Таблиця 2

Класифікація середовищ експлуатації з хімічною агресією [4]

Агресивний агент	Індекс середовища		
	XA1	XA2	XA3
Вміст сульфатів в перерахунку на SO_4^{2-} , мг/дм ³ у воді	≥ 200 ≤ 600	> 600 $\leq 3\,000$	$> 3\,000$ $\leq 6\,000$
Водневий показник pH	$\leq 6,5$ 5,5	$> 5,5$ $\geq 4,5$	$> 4,5$ $\geq 4,0$
Вуглекислий газ CO_2 , мг/дм ³ (агресивний)	≥ 15 ≤ 40	> 40 ≤ 100	> 100 до насичення
Вміст амонійних солей, мг/дм ³ , у перерахунку на іон NH_4^+	≥ 15 ≤ 30	> 30 ≤ 60	> 60 ≤ 100
Вміст магнезійних солей, мг/дм ³ , у перерахунку на іон Mg^{2+}	≥ 300 $\leq 1\,000$	$> 1\,000$ $\leq 3\,000$	$> 3\,000$ до насичення
Ґрунти			
Вміст сульфатів у перерахунку на SO_4^{2-} , мг/дм ³ ^{1, 2)}	≥ 2000 $\leq 3000^3)$	$> 3000^3)$ ≤ 12000	> 12000 ≤ 24000
Кислотність, см ³ /кг	> 200	не зустрічаються	
Примітка. ¹⁾ Для глинистих ґрунтів і ґрунтів із проникністю нижче 10^{-5} м/с може бути застосований більш низький клас. ²⁾ Метод випробування пропонує використовувати кислотну (HCl) витяжку SO_4^{2-} , замість неї може бути використана водна витяжка, якщо є досвід застосування бетону в даному середовищі. ³⁾ При небезпеці накопичення сульфат-іонів у бетоні при поперемінному висиханні-зволоженні або капілярному підсосі значення 3 000 мг/дм ³ слід замінити на 2000 мг/дм ³ .			

Застосування різних експозиційних класів до бетонних та залізобетонних елементів однієї споруди можна проілюструвати як на **рис. 1**.

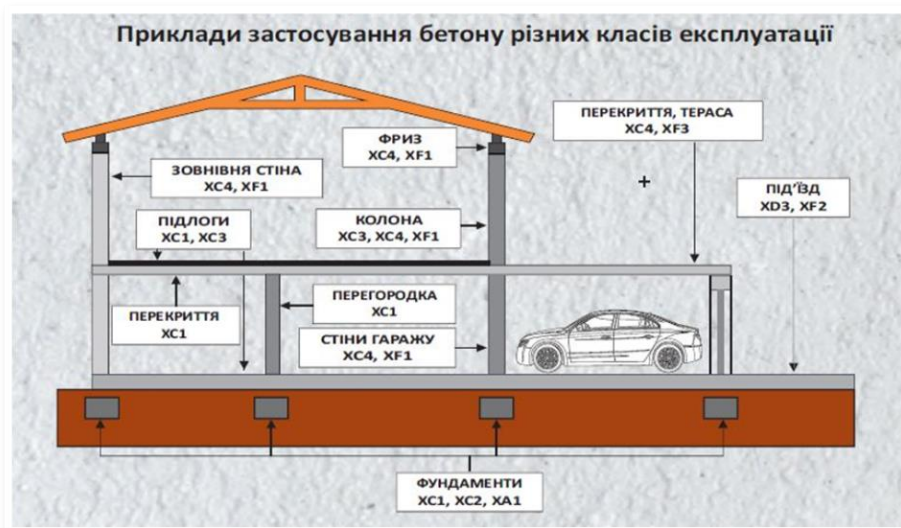


Рисунок 1 — Застосування експозиційних класів до бетонних і залізобетонних елементів однієї споруди

Концепція експозиційних класів є відносно новою для галузі виробництва бетону та залізобетону в Україні. Основні практичні кроки імплементації концепції:

1) Індекс середовища експлуатації (експозиційний клас) є обов'язковим компонентом маркування бетону згідно з [3]. Приклад такого маркування:

$$EN\ 206\ C30/37;\ XD2;\ Cl\ 0.20;\ D_{max}\ 22;\ S2, \quad (1)$$

де $C30/37$ — клас бетону, визначений на зразках циліндрах / кубах;
 $XD2$ — конструкції, що зазнають впливу технічних вод із хлоридами;
 $Cl\ 0.20$ — максимальний вміст хлоридів від маси цементу становить 0,2 %;
 $D_{max}\ 32$ — максимальна крупність заповнювача 32 мм;
 $S2$ — клас бетонної суміші за осадкою конуса (осадка конуса 5...9 см).

2) Експозиційний клас бетону встановлює проектувальник відповідно до запланованих умов експлуатації конструкції і несе відповідальність за її довговічність при цих умовах експлуатації. Для полегшення вибору експозиційного класу проектувальник може використати таблицю 4.1 ДБН Б В.2.6-98:2009 «Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення» [5], де наведені кількісні критерії визначення експозиційних класів. Приклад наведено у **табл. 3**.

Таблиця 3

Приклад наведення критеріїв експозиційного класу за таблицею 4.1 ДБН Б В.2.6-98:2009 [5]

Корозійні пошкодження, викликані карбонізацією бетону		
ХС1	Сухий повітряно-вологісний режим (30 % < RH ≤ 60 %) або постійна експлуатація у волого насиченому стані	Конструкції всередині приміщень із нормальним режимом згідно з ДБН В. 1.2-2 та ДСТУ Б В.2.6-145 конструкції, які постійно знаходяться в ґрунті та під водою

Для спрощення проектувальникам процесу оцінки середовища експлуатації у різних країнах ЄС розроблені рекомендації щодо встановлення експозиційних класів (табл. 4). Так в Німеччині існує «Каталог будівельних конструкцій» [6]. За необхідності автори цієї статті можуть надати інформацію з цього каталогу, а також інші рекомендації щодо призначення експозиційних класів.

Таблиця 4

**Приклад щодо встановлення експозиційних класів за німецьким
«Каталогом будівельних конструкцій» [6]**

Будівництво інженерних споруд		ХО	Карбонізація				Для хлоридів			Для хлоридів з морської води			Для заморожування - відтавання		Антикриговий агент		Хімічна агресія			Механічні впливи			Клас за вологістю	Мінімальний клас за міцністю при стиску
			XC				XD			XS			XF		XF		XA			XM				
			1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	3	2	4	1	2	3	1	2	3		
Іости																								
a)	Деталі фундаментів, фундаменти																							
b)	Опори мостів				X							X										WF	C25/30	
c)	Опори (автошляхових мостів) армовані Мороз, антикриговий агент				X	X								X								WA	C25/30(LP) C35/45(25)	
d)	Проміжні опори				X							X										WF	C25/30	
e)	Проміжні опори (автошляхових мостів) армовані Мороз, антикриговий агент				X	X								X								WA	C25/30(LP) C35/45(25)	
f)	Верхні споруди мостів армовані				X							X										WF	C25/30	
g)	Верхні споруди (автошляхових мостів) армовані Мороз, антикриговий агент				X	X								X								WA	C25/30(LP) C35/45(25)	
h)	Підферментні плити армовані				X			X							X							WA	C30/37(LP)	
Будівельні конструкції																								
a)	Буроабразивні сваї неармовані/армовані помірного хімічного руйнівного впливу			X													X					WA	C30/37	
b.1)	Опори, пілони, проміжні опори армовані Мороз, антикриговий агент				X		X							X								WA	C25/30(LP) C30/37	
b.2)	Опори, пілони, проміжні опори армовані Мороз, антикриговий агент				X	X								X								WA	C25/30(LP) C30/37	
c)	Бетонні поверхні, переважно горизонтальні армовані Мороз, антикриговий агент				X			X							X							WA	C30/37(LP)	
d)	Підферментні плити армовані Мороз, антикриговий агент				X			X							X							WA	C25/30(LP)	
e)	Армовані конструкції під впливом помірно хімічно-агресивного середовища																X					WA	C30/37(15)	
f)	Верхні конструкції армовані Мороз, антикриговий агент				X	X								X								WA	C30/37 C25/30(LP)	

3) Призначені експозиційні класи визначають умови щодо складу бетону, товщини захисного шару бетону, догляду за свіжевикладеним бетоном, максимальне розкриття тріщин та деякі інші вимоги, а також клас технічного нагляду при бетонуванні окремих конструкцій. У більшості випадків залізобетонні конструкції передбачають одночасний вплив декількох факторів. І тому для забезпечення довговічності серед декількох вимог переліку експозиційних класів слід обрати найбільш жорсткі вимоги, наприклад, найнижче водоцементне співвідношення серед вимог різних експозиційних класів.

4) Європейські норми встановлюють мінімально необхідні вимоги до бетону, що доповнюються кожною країною, на які ці норми поширюються, окремо. Доповнення викладені у формі національних додатків чи змінами основного тексту стандарту, та затверджені на

національному рівні. Ця практика дозволяє адаптувати основні вимоги до особливостей кліматичних, сейсмологічних та інших умов експлуатації бетону в конкретній країні.

5) Вимоги щодо проектування складу бетонної суміші, які найбільш узгоджені з іншими стандартами ДСТУ EN, знаходяться в додатку F ДСТУ EN 206:2022 [3]. До таких вимог відносять: максимальне водоцементне співвідношення, мінімальний клас міцності бетону, мінімальну кількість залученого повітря, вимоги до заповнювачів та вимоги до цементу (табл. 5).

Таблиця 5
Рекомендації щодо складу бетону залежно від класу середовища експлуатації [3]

	Клас впливу середовища експлуатації																	
	Небезпека корозії відсутня	Корозія, що спричинена карбонізацією				Корозія, що спричинена хлоридами						Вплив циклів заморожування-відтавання				Агресивне хімічне середовище		
						морська вода			хлориди, крім хлоридів з морської води									
		ХО	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2
Макс. В/Ц		0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Мін. клас міцності	C12/15	C20/25	C25/30	C32/40	C32/40	C32/40	C35/45	C35/45	C30/35	C30/35	C35/45	C30/35	C25/30	C30/35	C30/35	C30/35	C30/35	C35/45
Мін. вміст цементу, кг/м³		260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Мін. вміст повітря, %													4,0 ¹	4,0 ¹	4,0 ¹			
Інші вимоги												Заповнювач має відповідати вимогам EN 12620				Цемент сульфатостійкий ²		
Примітка. ¹ При експлуатації бетону в умовах заморожування-відтавання і за відсутності повітрязахоплення бетон повинен бути випробуваний на морозостійкість у зіставленні з бетоном, для якого морозостійкість для даного середовища експлуатації визначена. ² При виготовленні бетонів класів впливу XA2 та XA3, доцільно використовувати сульфатостійкий цемент відповідно до EN 197-1.																		

6) Концепція «Експозиційних класів» передбачає так званий «прескриптивний метод», який означає, що при дотриманні усіх умов заданого експозиційного класу (від дотримання вимог складу бетону і до контролю розкриття тріщин) бетонна конструкція витримає чинники навколишнього середовища впродовж всього терміну експлуатації.

Цей підхід відрізняється від прийнятого в Україні «deskriptivного» методу, який передбачає вимірювання деяких характеристик, що визначають довговічність бетону: водонепроникність (W), морозостійкість (F), сульфатна стійкість. Слід підкреслити, що в ЄС у визначених складних випадках також користуються «deskriptivними» методами, наприклад, метод CDF (ДСТУ CEN/TS 12390-9:2016 [7]) для визначення морозостійкості, тощо.

Такий спосіб має деякі свої переваги, наприклад, для оцінки відповідності якісних характеристик бетону за умови недоступності сировини, що передбачена експозиційними класами.

З іншої сторони цей метод має очевидні практичні недоліки для сучасного будівництва, до яких відносяться:

— кожна окрема характеристика бетону, яка зумовлює його довговічність має бути відтворюваною з мінімальною варіативністю, тому для її оцінки слід проводити серії випробувань;

— визначення деяких властивостей бетону потребує тривалих випробувань. Наприклад, чинний в Україні стандарт передбачає випробування сульфатної стійкості впродовж 6 місяців (ДСТУ Б В.2.6-181:2011 [8]). З практичної точки зору, подібні випробування потребують матеріально-технічної бази та часу, що в умовах темпів будівництва не є можливим для визначення.

— діючі «національні» визначення довговічності бетону не узгоджені зі стандартами EN в будівництві, а саме не відтворені у вигляді змін до Державних будівельних норм (ДБН), тому їх використання призводитиме до все більших непорозумінь через прийняття в Україні гармонізованих європейських норм, насамперед передбачених Регламентом № 305/2011 [1].

Тому під час вирішення проблематики окресленої даною статтею, ми використовуватимемо концепцію експозиційних класів.

Умовні позначки типів цементу згідно з EN та ДСТУ

Національні додатки стандарту EN 206 мають чіткі рекомендації щодо застосування типів цементу для виготовлення бетонних та залізобетонних виробів, які будуть експлуатуватись за певних умов навколишнього середовища, тобто матимуть певні експозиційні класи. Однак в Україні ще діють умовні позначки типів цементів відповідно до нормативних документів і тому дуже важливо встановити їхню відповідність.

Перше до чого слід звертатись, для повного розкриття теми це — класифікація цементів, яка описана в ДСТУ Б В.2.7-281:2011 [9]. Вона базується на декількох стандартах паралельної дії (у ньому є прямі посилання на ці стандарти), а саме:

- (i) ДСТУ Б EN 197-1:2015 Цемент. Частина 1. Склад, технічні умови та критерії відповідності для звичайних цементів (EN 197-1:2011, IDT) [10];
- (ii) ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення [11];
- (iii) ДСТУ Б В.2.7-85 Будівельні матеріали. Цементи сульфатостійкі. Технічні умови [12]; та інші.

При цьому, звертаємо увагу, що у між вищезазначеним ДСТУ Б В.2.7-281:2011 Цементи. Класифікація [9] та іншими стандартами (i) – (iii) існує колізія у самій класифікації та термінології і визначеннях понять.

Кількість цементів за ДСТУ Б EN 197-1:2015 [10] складає 27 типів (табл. 6), об'єднаних термінологією стандарту в «сімейство звичайних цементів», тоді як в ДСТУ Б В.2.7-46 [11] ця кількість складає 15 типів (аналоги виділені в табл. 6) де, цементи визначені як «цементи загальнобудівельного призначення».

Основними складниками цементу є:

- К — портландцементний клінкер;
- S — гранульований доменний шлак;
- D — силікатний пил;
- P — природні пуцолани;
- Q — природні випалені пуцолани;
- V — силікатна зола-винесення;
- W — вапняна зола-винесення;
- T — випалений сланець;
- L, LL — вапняк.

На противагу ДСТУ Б В.2.7-46:2010 [11] змінюються також позначення цементів з ПЦ — портладцемент, на назву латинськими літерами: СЕМ — скорочено від «cement».

Крім того, однією з найважливіших змін є введення в стандарт 7 типів сульфатостійких цементів, які наведені в табл. 7. Окрім збереження всіх показників якості, що визначені для звичайних цементів, сульфатостійкі цементи повинні відповідати вимогам, наведеним в табл. 8.

Проте, у ДСТУ Б В.2.7-281:2011 [9] є поняття «сульфатостійкий цемент загальнобудівельного призначення» (п. 3.7.), але в цьому ж стандарті у розділі 4 «Класифікація цементів» це поняття не зазначено. У розділі 4 сульфатостійкий цемент включено до спеціальних цементів. Таким чином, в одному ж і тому ж самому стандарті існують протиріччя. На наш погляд, поняття «звичайні цементи» є тотожним з поняттям «цементи загальнобудівельного призначення», однак, в ДСТУ Б EN 197-1:2015 [10] відсутнє визначення (тлумачення) поняття «звичайні цементи», тож введення сульфатостійких цементів до переліку звичайних цементів — це фактичне об'єднання

ДСТУ Б В.2.7-46:2010 [11] та ДСТУ Б В.2.7-85 [12], що значно полегшує розуміння класифікації цементів.

Разом з тим у ДСТУ Б EN 197-1:2015 [10] відсутні цементи з нормованим складом клінкеру — аналог ПЦ І 500 Н і ПЦ І 400 Н, які рекомендовані ДСТУ Б В.2.7-46:2010 [11] для бетону дорожніх і аеродромних покриттів, залізобетонних напірних і безнапірних труб, залізобетонних шпал, мостових конструкцій, стояків опор високовольтних ліній електропередачі, контактної мережі залізничного транспорту і освітлення.

Таблиця 6

Типи цементів за ДСТУ Б EN 197-1:2015 [10]

Позначення 27 продуктів (типи і види звичайних цементів)		Склад , % за масою ^{а)}										
		Основні складники										Додаткові складники
		К	S	D ^{b)}	P	Q	V	W	T	L	LL	
Портландцемент	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
Портландцемент зі шлаком	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
Портландцемент з силікатним пилом	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	0-5
Портландцемент з пуцоланою	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
	CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
	CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
	CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
Портландцемент з золю- винесення	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
	CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
	CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
	CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
Портландцемент з випаленим сланцем	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
	CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
Портландцемент з вапняком	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
	CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
	CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
	CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
Портландцемент композиційний ^{с)}	CEM II/A-M	80-94	12-20									0-5
	CEM II/B-M	65-79	21-35									0-5
Шлакопортланд- цемент	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
Пуцолановий цемент ^{с)}	CEM IV/A	65-89	-	11-35					-	-	-	0-5
	CEM IV/B	45-64	-	36-55					-	-	-	0-5
Композиційний цемент ^{с)}	CEM V/A	40-64	18-30	-	18-30			-	-	-	-	0-5
	CEM V/B	20-38	31-49	-	31-49			-	-	-	-	0-5
Примітка. ^{а)} Значення в таблиці стосуються суми основних та додаткових складників. ^{б)} Масова частка силікатного пилу обмежується 10 %. ^{с)} У композиційних портландцементях CEM II/A-M та CEM II/B-M, у пуцоланових цементях CEM IV/A та CEM IV/B та в композиційних цементях CEM V/A та CEM V/B основні складники, відмінні від клінкеру, мають бути заявлені в позначенні цементу.												

Таблиця 7

Типи сульфатостійких цементів за ДСТУ Б EN 197-1:2015 [10] та вимоги до них

Основні типи	Типи сульфатостійкого звичайного цементу		Склад, % за масою ^{a)}				
			K	S	P	V	Додаткові складники
CEM I	Сульфатостійкий портландцемент	CEM I – SR 0	95 – 100	–	–	–	0 – 5
		CEM I – SR 3					
		CEM I – SR 5					
CEM III	Сульфатостійкий шлакопортландцемент	CEM III/B – SR	20 – 34	66 – 80	–	–	0 – 5
		CEM III/C – SR	5 – 18	81 – 95	–	–	0 – 5
CEM IV	Сульфатостійкий пуцолановий цемент	CEM IV/A – SR	65 – 79	–	21 – 35		0 – 5
		CEM IV/B – SR	45 – 64	–	36 – 55		0 – 5

Примітка. ^{a)} Значення в таблиці стосуються суми основних та додаткових складників.

Цементи повинні бути ідентифіковані позначенням типу цементу (табл. 6) і числами 32,5; 42,5 або 52,5 що вказують на клас за міцністю на стиск. Клас — це гарантована на 95 % будь-яка числова характеристика, тоді як марка (за ДСТУ) — це середньоарифметичний результат випробувань серії зразків.

Для позначення ранньої міцності слід додавати літери N (нормальна), R (висока) або L (низька — застосовується тільки для CEM III). Звичайні цементы з низькою теплою гідратації повинні бути ідентифіковані додатковим позначенням LH.

В табл. 8 наведені умовні позначення цементів, які ідентичні за складом згідно ДСТУ Б В.2.7-46 [11] та ДСТУ Б EN 197-1:2015 [10].

Таблиця 8

Умовні позначення цементів, які ідентичні за складом згідно ДСТУ Б В.2.7-46 [11] та ДСТУ Б EN 197-1:2015 [10]

Тип цементу	Назва цементу	Умовна позначка	
		ДСТУ Б В.2.7-46	ДСТУ Б EN 197-1:2015
I	Портландцемент	ПЦ I	CEM I
II	Портландцемент зі шлаком	ПЦ II/A-III	CEM II/A-S
		ПЦ II/B-III	CEM II/B-S
	Портландцемент з пуцоланою ¹⁾	ПЦ II/A-III	CEM II/A-P
			CEM II/A-Q
	Портландцемент з золою-винесення ²⁾	ПЦ II/A-3	CEM II/A-V
	Портландцемент з вапняком ³⁾	ПЦ II/A-B	CEM II/A-L
			CEM II/A-LL
III	Шлакопортланд-цемент	ПЦ II/A-K	CEM II/A-M
		ПЦ II/B-K	CEM II/B-M
		ШПЦ III/A	CEM III/A
IV	Пуцолановий цемент	ШПЦ III/B	CEM III/B
		ШПЦ III/B	CEM III/C
		ПЦЦ IV/A	CEM IV/A
V	Композиційний цемент	ПЦЦ IV/B	CEM IV/B
		КЦ V/A	CEM V/A ⁴⁾
		КЦ V/B	CEM V/B ⁴⁾

Примітка. ¹⁾ Р – природна пуцолана; Q – природна випалена пуцолана;

²⁾ V – силікатна зола-винесення;

³⁾ L – загального органічного карбонату не більше 0,5% за масою; LL – те ж саме не більше 0,2 % за масою;

⁴⁾ відмінності в рецептурі – див. табл. 6.

Вимоги стандартів України щодо вибору типу цементу для забезпечення довговічності залізобетонних конструкцій

Розглянувши підхід до довговічності у вигляді експозиційних класів, а також типи цементів згідно національних та європейських норм, перейдемо до вимог українських стандартів щодо вибору цементу.

Найповніше вимоги до вибору цементу в залежності від експозиційних класів представлені в таблиці 6.2 Зміни 1 ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013 «Настанова щодо визначення складу важкого бетону» [13]. Автори цієї статті додали до **табл. 9**, представлений в настанові найменування цементів за національними нормами, а також уточнення, що стосуються використання цементів в середовищі із хімічним впливом (ХА).

Таблиця 9

Вимоги до вибору цементу залежно від експозиційних класів

Тип і види цементів згідно з ДСТУ Б EN 197-1	Тип і види цементів згідно з ДСТУ Б В.2.7-46:2010 та ДСТУ Б В.2.7-85-99 (для сульфатостійких цементів)	Небезпе-ка корозії відсутня	Корозія бетону, що спричинена карбонізацією					Корозія бетону, що спричинена хлоридами (не з морської води), зокрема у використаних антикригових речовинах			Корозія бетону, що спричинена періодичним заморожуванням/відтаванням із/без антикригових речовин				Корозія і руйнування, спричинені впливом хімічних речовин			Використання в армованих попередньо-напружених конструкціях
			X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1 ²	XA2 ^{1, 2}	XA3 ^{1, 2}	
CEM I	ПЦ I	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
CEM II/A-S	ПЦ II/A-III	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
CEM II/B-S	ПЦ II/B-III	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	x	x	x	0	
CEM II/A-D		x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	x	x	x	0	
CEM II/A,B-P,Q		x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	x	x	x	0	
CEM II/A-V	ПЦ II/A-3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	x	x	0	
CEM II/B-V		x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	x	x	x	0	
CEM II/A-W		x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CEM II/B-W		x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CEM II/A,B-T		x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	x	x	0	
CEM II/A-LL	ПЦ II/A,B-B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
CEM II/B-LL		x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CEM II/A-L		x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	
CEM II/B-L		x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CEM II/A-P*	ПЦ II/A-П	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
CEM II/B-P*	ПЦ II/B-П	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
CEM II/A-M	P*-LL	ПЦ II/A-K	П-В	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	S-P*		Ш-П	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	S-LL		Ш-В	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	S-P*-LL		Ш-П-В	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
CEM II/B-M	P*-LL	ПЦ II/B-K	П-В	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
CEM III/A	ШПЦ III/A	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	x	x	x	0	
CEM III/B	ШПЦ III/Б	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	x	x	x	0	
CEM III/C	ШПЦ III/В	x	x	x	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	x	x	0	
CEM IV/A	ПЦЦ IV/A	x	x	0	0	0	x	x	0	x	x	0	0	0	0	0	0	
CEM IV/B	ПЦЦ IV/Б	x	x	0	0	0	0	0	0	x	x	0	0	0	0	0	0	
CEM V/A	КЦ V/A	x	x	0	0	0	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	
CEM V/B	КЦ V/A	x	x	0	0	0	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	
CEM I-SR 0		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
CEM I-SR 3		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
CEM I-SR 5		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
CEM III/B-SR		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	x	x	x	0	
CEM III/C-SR		x	x	x	0	0	x	x	0	0	0	0	0	x	x	x	0	
CEM IV/A-SR		x	x	0	0	0	x	x	x	x	x	0	0	x	x	x	0	
CEM IV/B-SR		x	x	0	0	0	x	x	x	x	x	0	0	0	x	x	0	
	CEM II/A-S-HS	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	CEM II/B-S-HS	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	x	x	x	0	
	CEM II/A-V-HS	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	x	x	0	
	CEM II/A-M(S-V)-HS	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	CEM II/A-P-HS	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	CEM II/B-P-HS	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	CEM III/A-HS	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	x	x	x	0	

*Природна пуцолана (цесоліт)

x - дозволяється використовувати при даному впливі навколишнього середовища

0 - забороняється використовувати при даному впливі навколишнього середовища

1) Відповідно до ДСТУ EN 206:2002 (табл. F.1) для класів ХА2, ХА3 потрібно використовувати сульфатостійкі цементи

2) Відповідно до ДСТУ Б В.2.6-145:2010 (п 5.9) у залежності від ступеня агресивності середовища слід застосовувати наступні види захисту або їх поєднання: у слабоагресивному середовищі - первинний і, при необхідності, вторинний; у середньоагресивному середовищі - первинний і вторинний, здійснюючи останній шляхом нанесення захисного покриття, що обмежує доступ агресивного середовища до матеріалу конструкції; у сильноагресивному середовищі - первинний і вторинний, здійснюючи останній шляхом нанесення покриття, що виключає доступ агресивного середовища до матеріалу конструкції.

В особливих економічно обґрунтованих випадках експлуатації будівель і споруд допускається застосування спеціального захисту бетонних та залізобетонних конструкцій від корозії.

3) Відповідно до ДСТУ Б В.2.6-145:2010 (п 6.4.3) для підвищення стійкості бетону залізобетонних конструкцій, що експлуатуються в агресивних середовищах, слід використовувати добавки згідно з ДСТУ Б В.2.7-171, що знижують проникність бетону або підвищують його хімічну стійкість і морозостійкість, що підвищують захисну здатність бетону по відношенню до арматури, а також підвищують стійкість бетону в умовах впливу біологічно активних середовищ.

Окрім вимог щодо вибору цементу даної настанови, в інших стандартах є також додаткові вимоги щодо можливості використання цементів в різних залізобетонних конструкціях (табл. 10).

Таблиця 10

Додаткові вимоги щодо можливості використання цементів в різних залізобетонних конструкціях

А	Шпали залізобетонні (ДСТУ Б В.2.6-209:2016)	ПЦ І-500Н
Б	Суміші цементобетонні дорожні та цементобетон дорожній (ДСТУ 8858:2019)	Для верхнього шару двошарового та одношарового дорожнього покриття автомобільних доріг потрібно застосовувати в'яжуче: портландцемент типу ПЦ І та ПЦ ІІ/А-ІІІ без мінеральних добавок і з добавками меленого шлаку у кількості не більше ніж 20 %, марок не нижче ніж М500, класів міцності на стиск не нижче ніж 42,5 відповідно до ДСТУ Б В.2.7-46:2010 та ДСТУ Б EN 197-1:2015. Допускають застосування цементів зазначених типів марок М400 (клас міцності на стиск 32,5) у разі забезпечення проектних вимог до цементобетону дорожнього на цих цементах; Для цементобетону дорожнього основи допустимо застосування цементів типу ПЦ ІІ/Б-ІІІ, ПЦ ІІ/А-ІІ, ПЦ ІІ/А-3, ШПЦ ІІІ/А, ПЦЦ ІV/А з добавками шлаку, золи або пудцолановими добавками марок не нижче ніж М400, класів міцності на стиск не нижче ніж 32,5 згідно з ДСТУ Б В.2.7-46:2010 та ДСТУ Б EN 197-1:2015 за умови відповідності характеристик цементобетонів дорожніх на цих цементах проектним вимогам; Для цементобетону нижнього шару двошарового дорожнього покриття та основи потрібно застосовувати портландцемент типу ПЦ І та ПЦ ІІ без мінеральних добавок і з добавками меленого шлаку в кількості не більше ніж 20 % марок не нижче М400, класів міцності на стиск не менше ніж 32,5, відповідно до ДСТУ Б В.2.7-46:2010 та ДСТУ Б EN 197-1:2015 $C_{3A} < 7\%$
В	Бетон дорожніх та аеродромних покриттів (ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013)	Для одношарових і двошарових покриттів необхідно використовувати лише бездобавочний портландцемент із класом міцності 42,5 і вище (допускається, як виключення, при техніко-економічному обґрунтуванні застосування цементу з класом міцності 32,5), а для основ удосконалених доріг – портландцемент із мінеральними добавками з класом міцності 32,5. Вміст трьохкальцієвого алюмінату в цементі для бетону покриттів повинен бути не більше ніж 10 %, а для бетону основи - не нормується.
Г	Плити залізобетонні попередньо напружені ПАГ для аеродромного покриття (ДСТУ Б В.2.6-135:2010)	портландцемент, призначений для бетону аеродромних покриттів
Д	Плити залізобетонні для покриття трамвайних шляхів (ДСТУ Б В.2.6-113:2010)	портландцемент бездобавочний або портландцемент із мінеральними добавками до 5 % (гранульований доменний шлак)
Е	Бетон для збірних конструкцій, що виготовляють з пропарюванням (ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013)	С 25/30 і нижче застосовують шлакопортландцемент і портландцемент із мінеральними добавками, а з бетону класу С 30/35 і вище – бездобавочний портландцемент із класом міцності 42,5 і 52,5.

А	Шпали залізобетонні (ДСТУ Б В.2.6-209:2016)	ПЦ І-500Н
Є	Гідротехнічний бетон (ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013)	Сульфатостійкий портландцемент, портландцемент із мінеральними добавками, пуцолановий цемент та шлакопортландцемент. Наведені цементи можуть виготовлятися з пластифікуючими та гідрофобними добавками. Для підводного та внутрішнього масивного бетону перевагу надають пуцолановим портландцементом або шлакопортландцементом, оскільки бетон на цих в'язучих має більшу стійкість як у прісній, так і в мінералізованій воді та менше тепловиділення. Однак бетон на таких цементах має низьку морозостійкість. Для зони перемінного рівня води варто застосовувати сульфатостійкий портландцемент та портландцемент із мінеральними добавками. На цих видах цементу одержують бетон потрібної морозостійкості та водонепроникності. Вміст С3А в цементі для гідротехнічного бетону зони перемінного рівня води повинен бути в межах до(5-7) %, а сума С3А + С4АF повинна бути не менше ніж 20 %. За наявності агресивного середовища необхідно застосовувати сульфатостійкий цемент.
Ж	Швидкотверднучий бетон (ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013)	Швидкотверднучий портландцемент або швидкотверднучий шлакопортландцемент, або портландцемент із високим вмістом трьохкальцієвого алюмінату з додатковим введенням гіпсу (2 – 4 %), або спеціальних комплексних добавок з рекомендаціями фірм, що їх виготовляють
З	Морозостійкий бетон (ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013)	В'язуче повинне бути лише на основі портландцементного клінкеру з обмеженим вмістом три-кальцієвого алюмінату (не більше ніж 8 %)
И	Особливо важкі та гідратні бетони (ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013)	Портландцемент, пуцолановий портландцемент, шлакопортландцемент, глиноземистий цемент, гіпсоглиноземистий цемент, що розширюється

Іноді вимоги нових стандартів уточнюють або суперечать вимогам попередніх нормативних документів. За наявною будівництві практикою слід користуватися вимогами останньої опублікованої редакції або нормою, що набула чинності останньою.

Особливої уваги потребує вимога щодо обмеження вмісту три-кальцієвого алюмінату в клінкері до 8 %. За актуальним європейським стандартом ДСТУ Б EN 197-1:2015 [10] дана вимога не застосовується до звичайних цементів, окрім сульфатостійких. Тож доцільність застосування обмеження вмісту три-кальцієвого алюмінату для цементів, що застосовуються в окремих видах залізобетонів потребує додаткової дискусії та аналізу європейських практик щодо гармонізації і цих вимог.

Висновки

Ринок будівництва в Україні незважаючи на активну фазу військової агресії розвивається. Тенденції розвитку задані вектором на оборону, інфраструктуру, міграцію населення зі східних регіонів України до центральних та західних. Ці тенденції існують в умовах нестачі кадрів і стрімких змін в законодавстві й нормативній базі.

Усунення колізій в національних стандартах, запровадження нових будівельних норм, що будуть узгоджені з гармонізованими європейськими стандартами дозволить ефективно здійснювати проектування та виконання будівництва в умовах сьогодення.

Виробники будівельних матеріалів у свою чергу зможуть розширити застосування своєї продукції, тим самим додатково забезпечувати вимоги не тільки щодо довговічності кінцевих виробів, а й їх екологічності та економічної ефективності.

Отже запропонована концепція експозиційних класів та узгоджені з нею рекомендації щодо вибору цементу задовольняє мету даної статті та рекомендована авторами, як інструмент для створення довговічного бетону в умовах різних середовищ експлуатації.

Діючі в Україні вимоги стандартів EN є «мінімальними» для всіх країн ЄС. Кожна країна ЄС доповнює їх додатковими вимогами у відповідності до своїх кліматичних умов та властивостями місцевих сировинних матеріалів, спираючись на ретельно проведені довготривалі дослідження довговічності бетону різного складу на різних цементах в різних умовах експлуатації. Такі дослідження слід проводити також в Україні відповідними науково-дослідними інститутами.

Список літератури

1. ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ПАРЛАМЕНТ ТА РАДА ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ. РЕГЛАМЕНТ (ЄС) № 305/2011 ЄВРОПЕЙСЬКОГО ПАРЛАМЕНТУ ТА РАДИ від 9 березня 2011 року. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=59946 (дата звернення: 20.02.2025).
2. Про надання будівельної продукції на ринку: Закон України від 12.05.2022 № 850-IX, в редакції від 15.11.2024 № 4017-IX / База даних законодавство України // Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/850-20#Text> (дата звернення: 20.02.2025).
3. ДСТУ EN 206:2022 Бетон. Специфікація, продуктивність, виробництво та відповідність (EN 206:2013+A2:2021, IDT). Київ, 2022. 45 С. (Інформація та документація).
4. ДСТУ Б В.2.6-145:2010 Конструкції будинків і споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги (ГОСТ 31384-2008, NEQ). Київ, 2010. 35 с. (Інформація та документація).
5. ДСТУ Б В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Київ, 2009. 33 С. (Інформація та документація).
6. Thomas Richter, M. P. (2016). Bauteilkatalog. у Planungshilfe für dauerhafte Betonbauteile (47 с.). Erkrath: B.o.s.s Medien GmbH.
7. ДСТУ Б В.2.6-181:2011 Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Методи випробувань.
8. ДСТУ Б В.2.7-281:2011 Цементи. Класифікація. Київ, 2011. 45 с. (Інформація та документація).
9. ДСТУ Б EN 197-1:2015 Цемент. Частина 1. Склад, технічні умови та критерії відповідності для звичайних цементів (EN 197-1:2011, IDT). Київ, 2015. 37 с. (Інформація та документація).
10. ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Київ, 2010. 46 с. (Інформація та документація).
11. ДСТУ Б В.2.7-85 Будівельні матеріали. Цементи сульфатостійкі. Технічні умови. Київ, 1985. 61 С. (Інформація та документація).
12. ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013 Настанова щодо визначення складу важкого бетону. Київ, 2013. 45 с. (Інформація та документація).

References

1. IEVROPEISKYI PARLAMENT TA RADA YEYROPEISKOHO SOIUZU. (2011). REHLAMENT (EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION (2011). REGULATION) (ІeS) № 305/2011 YeVROPEISKOHO PARLAMENTU TA RADY vid 9 bereznia 2011 roku. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=59946 (data zvernennia: 20.02.2025) [in Ukrainian].
2. Pro nadannia budivelnoi produktsii na rynku: Zakon Ukrainy (Law of Ukraine on the provision of construction products on the market) vid 12.05.2022 No 850-IKh, v redaktsii vid 15.11.2024 No. 4017-IKh / Baza danykh zakonodavstvo Ukrainy // Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/850-20#Text> (data zvernennia: 20.02.2025) [in Ukrainian].

3. DSTU EN 206:2022 Beton. Spetsyfikatsiia, produktyvnist, vyrobnytstvo ta vidpovidnist (Concrete. Specification, performance, production and conformity) (EN 206:2013 + A2:2021, IDT). Kyiv, 2022. 45 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
4. DSTU B V.2.6-145:2010 Konstruktsii budynkiv i sporud. Zakhyst betonnykh i zalizobetonnykh konstruktsii vid korozii. Zahalni tekhnichni vymohy (Structures of buildings and structures. Protection of concrete and reinforced concrete structures against corrosion. General technical requirements) (HOST 31384-2008, NEQ). Kyiv, 2010. 35 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
5. DSTU B V.2.6-98:2009 Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia (Protection of concrete and reinforced concrete structures against corrosion. Test methods). Kyiv, 2009. 33 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
6. Thomas Richter, M. P. (2016). Bauteilkatalog. u Planungshilfe für dauerhafte Betonbauteile (p. 47). Erkrath: B.o.s.s Medien GmbH [in Ukrainian].
7. DSTU B V.2.6-181:2011 Zakhyst betonnykh i zalizobetonnykh konstruktsii vid korozii. Metody vyprobuvan (Protection of concrete and reinforced concrete structures against corrosion. Test methods). Kyiv, 2011. 45 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
8. DSTU B V.2.7-281:2011 Tsementy. Klasyfikatsiia. (Cement. Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for ordinary cements) Kyiv, 2011. 45 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
9. DSTU B EN 197-1:2015 Tsement. Chastyna 1. Sklad, tekhnichni umovy ta kryterii vidpovidnosti dlia zvychaiynykh tsementiv (Cement. Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for ordinary cements) (EN 197-1:2011, IDT). Kyiv, 2015. 37 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
10. DSTU B V.2.7-46:2010 Budivelni materialy. Tsementy zahalnobudivelnoho pryznachennia. (Construction materials. Sulphate-resistant cements. Technical conditions) Kyiv, 2010. 46 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
11. DSTU B V.2.7-85 Budivelni materialy. Tsementy sulfatostiiki. Tekhnichni umovy (Construction materials. Sulphate-resistant cements. Technical conditions). Kyiv, 1985. 61 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
12. DSTU-N B V.2.7-299:2013 Nastanova shchodo vyznachennia skladu vazhkoho betonu (Guidelines for determining the composition of heavy concrete). Kyiv, 2013. 45 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

Anastasiia Bielohrad¹, <https://orcid.org/0009-0005-8954-7823>

Yevheniia Tykholaz², <https://orcid.org/0009-0006-7835-8178>

Artem Pryymachenko², Ph.D., <https://orcid.org/0000-0003-4335-5752>

¹National Technical University of Ukraine Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute (Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute), Kyiv, Ukraine

²Limited Liability Company "MC Bauchemi", Kyiv, Ukraine

REVIEW OF UKRAINIAN STANDARD REQUIREMENTS FOR SELECTING THE TYPE OF CEMENT TO ENSURING THE DURABILITY OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Abstract

Introduction. The post-war reconstruction of Ukraine is one of the most important stages in the restoration of a state that has suffered significant destruction and losses. Reconstruction requires a comprehensive approach to the problem of destroyed infrastructure and housing stock, in addition to financial investments. The solutions needed today are construction and production of building materials

based on the principles of sustainable development. The best European practices and experience should be incorporated.

Problems. The European integration of the construction materials industry has been in the process of implementation in the form of Regulation (EU) no. 305/2011 [1], and from January 1, 2023, the Law of Ukraine “On placing construction products on the market” [2], implementing the provisions of Regulation (EU) no. 305/2011 [1]. At the same time, the previous national standards — the State Standards of Ukraine — are still in force in parallel with the newly introduced European standards. This makes it difficult for manufacturers, customers, construction companies and designers to use the regulatory documentation. This situation fully applies to producing concrete and cement used in general construction.

Objective. To review the current Ukrainian standards that regulate the selection of the required type of concrete mixtures by designers and manufacturers of concrete mixtures cement to meet the durability requirements of concrete structures.

Materials and methods. The article uses methods of complex and systematic analysis, comparative analysis and the method of expert evaluation.

Results. Based on Table 6.2 in the wording of Amendment 1 of DSTU-N B.2.7-299:2013 Guidelines for determining the composition of heavy concrete [13], it is proposed to change the requirements for the choice of cement type depending on exposure classes.

Conclusions. The proposed concept of exposure classes and the recommendations for the selection of cement consistent with it satisfies the purpose of this article and is recommended by the authors as a tool for the creation of durable concrete in various operating environments. The current in Ukraine, the requirements of EN standards are “minimum” requirements for all EU countries.

For all EU countries. Each EU country supplements them with additional requirements in accordance with its climatic conditions and the properties of local raw materials. These requirements are based on careful long-term studies of the durability of concrete of different compositions on different cements under different service conditions. Relevant research institutes should carry out such studies also in Ukraine.

Keywords: concrete, reinforced concrete, cement, durability, exposure classes, corrosion, standards, service environments.

УДК 625.7/.8

Каськів В. І., канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>Скрипник А. Л., канд. екон. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-4461-9433>Ячник М. В., <https://orcid.org/0009-0006-2510-6997>*Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна*

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОБСТЕЖЕННЯ ВИРОБНИЦТВА В ПРОЦЕСІ СЕРТИФІКАЦІЇ ПРОДУКЦІЇ ТА АТЕСТУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА

Анотація

Вступ. У статті розглянуто методичні підходи до обстеження виробництва в процесі сертифікації продукції та атестування виробництва, що є важливим етапом забезпечення стабільної якості дорожньо-будівельної продукції.

Проблематика. Повноцінна оцінка відповідності продукції вимагає не лише оцінки її якості, але й підтвердження стабільності виробничих процесів і можливостей забезпечити належний контроль якості продукції (сировини, матеріалів, комплектуючих). Тому обстеження виробництва для багатьох видів дорожньо-будівельної продукції є невід'ємною складовою сертифікації серійного виробництва та його атестування. Оскільки даний процес потребує значних трудовитрат органу оцінки відповідності та значних витрат виробника на оплату відповідних робіт, то це створює необхідність пошуку оптимального балансу між інтересами виробника, споживача та органу оцінки відповідності під час визначення обсягу та змісту контролю в процесі обстеження виробництва.

Мета. Метою статті є розроблення методичних підходів до обстеження виробництва, які дозволять знизити ризики випуску продукції неналежної якості та одночасно знизити вартість і складність обстеження виробництва.

Матеріали і методи. Дослідження базується на аналізуванні діючих нормативних документів, практики сертифікації та атестування виробництва в Україні та за кордоном, а також на власному досвіді авторів у сфері оцінки відповідності дорожньо-будівельної продукції.

Результати. У статті запропоновано методiku обстеження виробництва, що включає перевіряння документації, стану виробничих потужностей, системи контролю якості, забезпечення стабільності виробництва та відповідності соціальним й екологічним вимогам. Ця методика заснована на власному контрольному списку Органу сертифікації продукції Державного підприємства «Національний інститут розвитку інфраструктури» та пройшла успішну апробацію у цьому органі.

Висновки. Обстеження виробництва є дієвим інструментом забезпечення стабільної якості серійної продукції, що виготовляється. Запропоновані авторами методичні підходи сприяють зниженню ризиків невідповідності продукції та підвищенню довіри до системи оцінки відповідності дорожньо-будівельної продукції в цілому.

Ключові слова: атестування виробництва, дорожньо-будівельна продукція, інспектування, контроль якості, обстеження виробництва, сертифікація продукції.

Вступ

Сертифікація продукції та атестування виробництва відіграють вагомий роль у забезпеченні якості дорожньо-будівельної продукції, оскільки дозволяють підтвердити якість продукції Органом оцінки відповідності (далі — ООВ) — незалежною третьою стороною, компетентність якої підтверджується в процесі акредитації уповноваженим державним органом (в Україні — НААУ).

Необхідно відмітити, що в процесі сертифікації одиничного виробу або партії продукції оцінці відповідності підлягає лише якість конкретної, вже виробленої продукції, натомість під час сертифікації серійного виробництва (або атестування виробництва) ООВ також гарантує якість

продукції, яка буде виготовлена заявником у майбутньому в межах сфери дії сертифіката відповідності (атестата виробництва). Тобто, за суттю, у даному випадку ООВ має гарантувати не тільки якість, але і стабільність виробництва продукції, що виготовляється серійно. Із цією метою, за наявності організаційних можливостей під час сертифікації продукції часто проводиться обстеження виробництва, водночас під час атестування виробництва його обстеження є обов'язковою складовою (оскільки на відміну від сертифіката відповідності, сфера дії атестата виробництва включає не конкретну серію продукції, а увесь асортимент певної продукції, що буде виготовлений атестованим виробництвом впродовж періоду дії атестата виробництва).

Обстеження виробництва істотно знижує ризики того, що сертифікована продукція (продукція атестованого виробництва) матиме неналежну якість, однак водночас різко підвищує трудовитрати (та, відповідно, вартість) проведення робіт із оцінки відповідності, порівняно із іншими формами оцінювання відповідності. Тому проведення обстеження виробництва потребує визначення відповідного балансу інтересів виробника, ООВ та споживачів при визначенні обсягу контролю виробничої системи та виробничого процесу під час обстеження виробництва.

Слід відмітити, що наразі питання визначення обсягу та форм обстеження виробництва продукції в процесі сертифікації продукції / атестування виробництва не отримало належного наукового вирішення ані у працях вітчизняних, ані у працях закордонних вчених (хоча окремі його аспекти були висвітлені у праці [1]), і зазвичай розглядається в межах нормативних документів на сертифікацію продукції / атестування виробництва.

Таким чином для забезпечення стабільної якості дорожньо-будівельної продукції існує необхідність розроблення обґрунтованої та реалістичної методики обстеження виробництва на підставі узагальнення нормативних вимог та усталеної практики сертифікації продукції / атестування виробництва, що і є метою даної статті.

Основна частина

Обстеження виробництва — це доведення того, що виробником виконано встановлені вимоги до процесу та системи виробництва конкретної продукції [2].

Оскільки вимоги до виробничих систем у нормативних документах на дорожньо-будівельну продукцію мають фрагментарний характер, то процес та система виробництва оцінюються ООВ на відповідність вимогам, розробленим персоналом відповідної кваліфікації з урахуванням сучасного рівня розвитку технологій виробництва продукції та методик забезпечення її якості.

Обстеження виробництва є невід'ємною частиною більш широких процесів забезпечення якості (Quality assurance (QA)) та контролю якості (Quality control Quality control (QC)) для виробничих підприємств [3] і є основою для запровадження коригувальних дій (за необхідності) [4].

Процедурно обстеження виробництва включає як візуальний огляд виробничої лінії та допоміжних приміщень (складів, заводської лабораторії тощо), так і перевірку усієї документації, що регламентує всі основні та допоміжні процеси від формування ресурсної бази виробництва до передачі продукції покупцю / логістичній компанії, а також тестування як виробничої лінії, так і готової продукції [5].

Обстеження виробництва є загальновизнаною світовою практикою забезпечення якості продукції. У дорожньо-будівельній сфері України воно традиційно проводиться як під час сертифікації продукції [6], так і під час атестування виробництва [7], однак його функції у цих випадках дещо відрізняються.

Так під час сертифікації дорожньо-будівельної продукції обстеження виробництва повинно продемонструвати достатність ресурсного забезпечення виробництва, стабільну якість продукції на рівні вимог нормативних документів (НД) та високу культуру виробництва та управління ним, натомість метою атестування виробництва є лише визначення його технічних можливостей щодо виготовлення продукції належної якості [8].

У розвинених країнах обстеження виробництва часто проводять навіть безвідносно отримання сертифіката відповідності / атестата виробництва, і є золотим стандартом під час виробництва нових серій будь-якої продукції. Завдяки цьому у іноземній господарській практиці склалися різноманітні форми обстеження виробництва, найпоширенішими з яких є такі:

1. Виробничий моніторинг (Production Monitoring (PM)) [9]

Це перевірка відповідності виробничого процесу встановленим вимогам. Він зазвичай включає 4 складові, наведені на **рис. 1**:

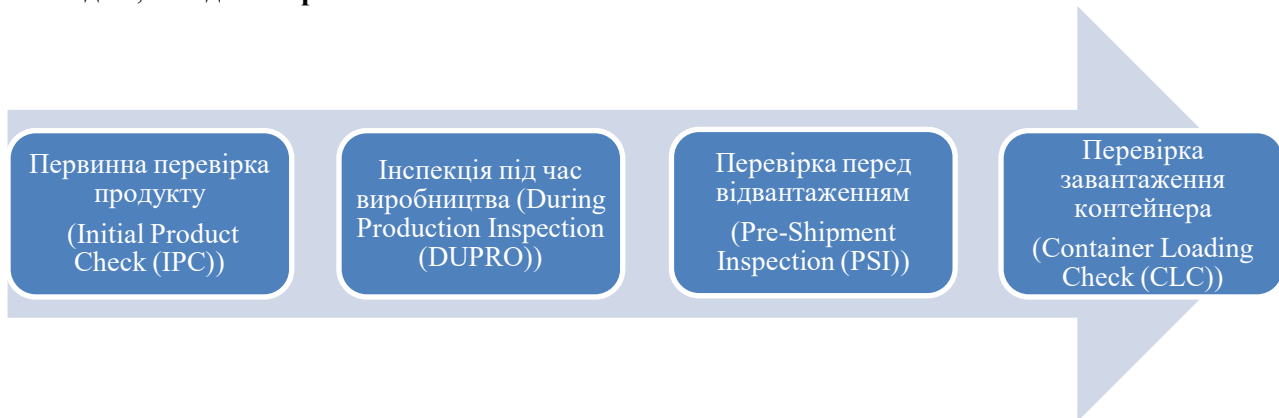


Рисунок 1 — Складові виробничого моніторингу

Розглянемо ці складові детальніше:

— Initial Product Check (Pre-production Inspection (Material Inspection)) [5] — контроль сировини перед виробництвом;

— During Production Inspection (DPI або DUPRO) [5] — контроль виробничої діяльності з метою підтримки бажаного рівня якості під час виробництва.

Ключова складова виробничого моніторингу, передбачає перевіряння того, як відбувається виробництво продукції (перевіряння виробничої лінії) [10]. Також DPI передбачає перевіряння відповідності сировини та готової продукції встановленим вимогам, дотримання вимог щодо маркування та пакування продукції, дотримання графіків виробничого процесу [11]. Також може включати оцінювання постачальників [<https://tetrainspection.com/during-production-inspection/>] та умов зберігання продукції [10].

— Pre-Shipment Inspection (або в деяких джерелах — фінальна перевірка виробництва (Final Inspection)) [5] — передбачає контролювання відповідності товарів вимогам НД перед відправленням та нагляд за відповідними випробуваннями.

— Container Loading Check (CLC) — опціональна складова РМ, що проводиться на вимогу покупця продукції та включає перевіряння обсягу та асортименту товарів, що постачаються, правильність їхнього пакування та маркування [12].

2. Заводський аудит (Factory Audit (FA)) [10]

Розширений варіант виробничого моніторингу, за допомогою якого перевіряють як якість продукції, так і виробничі можливості та надійність виробника. Зазвичай включає такі складові:

- організація виробничого процесу;
- фабричні приміщення та обладнання;
- склад і потужність виробничих ліній;
- система управління якістю підприємства;
- якість виготовленої продукції (визначається на підставі випробувань);
- гігієна та безпека виробництва та виготовленої продукції;
- соціальна відповідальність виробництва;
- постачальники;
- екологічні аспекти виробництва.

Популярною в розвинених країнах є також методика обстеження виробничого підприємства згідно із стандартом ISO 9001 [13], хоча, на наше переконання, контрольний список, складений відповідно до вимог вказаного стандарту [14], спрямований саме оцінювання системи управління якістю (СУЯ) підприємства, а не на оцінювання відповідності конкретної продукції та системи її виробництва.

В Україні обстеження виробництва було передбачено вимогами державної системи сертифікації «Укрседро», що функціонувала із 1993 по 2018 рік [15], і в ній обстеження виробництва трактувалось досить вузько як перевіряння та оцінювання наявності необхідних умов для виробництва конкретної продукції, які забезпечують її випуск згідно з вимогами нормативних документів, дія яких поширюється на цю продукцію [16]. Зокрема в ній була розроблена загальна методика атестування виробництва [7], а також детальна методика обстеження виробництва (безвідносно галузевих особливостей) [16].

Що стосується дорожньо-будівельної продукції, то для її виробників існувала власна методика атестування виробництва [17], в якій була детально розписана загальна процедура атестування, однак обстеження виробництва як найважливіший етап обстеження було висвітлено недостатньо. Окрім цього були розроблені «Методичні рекомендації щодо визначення технічного стану асфальтобетонних заводів та їх атестації», де було максимально детально описано порядок огляду кожного різновиду виробничого обладнання АБЗ, однак при цьому інші пункти обстеження виробництва (у першу чергу перевіряння документації) висвітлені недостатньо [8].

Наразі обстеження виробництва дорожньо-будівельної продукції в Україні може бути проведено як при добровільній сертифікації дорожньо-будівельної продукції за «Технічним регламентом будівельних виробів (продукції)» [18], так і при обов'язковій її сертифікації за Законом України «Про надання будівельної продукції на ринку» [19] (яка наразі передбачена для 35 категорій будівельної продукції, з яких 3 відноситься до дорожньої галузі [20]).

Хоча у ДСТУ EN ISO/IEC 17065:2019, за яким наразі здійснюється добровільна сертифікація продукції в Україні, вимоги щодо обстеження виробництва не наведені [21]), однак при добровільній сертифікації дорожньо-будівельної продукції обстеження виробництва передбачено у модулях оцінки відповідності, визначених Постановою КМУ [22] (згідно з модулем D1 (відповідність типові на основі забезпечення якості виробничого процесу) та згідно з модулем B (експертиза типу) в комбінації з модулем D (відповідність типові на основі забезпечення якості виробничого процесу) [23].

У свою чергу, у системах оцінювання та перевіряння стабільності показників будівельної продукції, що встановлені Постановою КМУ [24] та використовуються для обов'язкової сертифікації дорожньо-будівельної продукції відповідно до Закону України «Про надання будівельної продукції на ринку», передбачені такі форми обстеження виробництва (табл. 1).

Таблиця 1

Перелік заходів із обстеження виробництва у різних системах оцінки та перевірки стабільності показників будівельної продукції під час сертифікації за ЗУ «Про надання будівельної продукції на ринку»

Система оцінки та перевірки стабільності показників будівельної продукції	Форми обстеження виробництва, передбачені системою
Система 1+	- первинне інспектування виробничого підприємства та контролю виробництва на підприємстві; - безперервний нагляд, оцінка та аналіз контролю виробництва на підприємстві.
Система 1	- первинне інспектування виробничого підприємства та контролю виробництва на підприємстві; - безперервний нагляд, оцінка та аналіз контролю виробництва на підприємстві.
Система 2+	- первинне інспектування виробничого підприємства та контролю виробництва на підприємстві; - безперервний нагляд, оцінка та аналіз контролю виробництва на підприємстві.
Система 3	Не передбачено
Система 4	Не передбачено

Вказані вимоги повністю відповідають європейським вимогам до СЕ-сертифікації будівельних матеріалів і виробів [25].

Таким чином, обстеження виробництва є розповсюдженим заходом у схемах сертифікації та атестування продукції [26], який, на нашу думку, має бути спрямованим на досягнення таких цілей:

1. Впевнитись, що виробнича система підприємства має можливість реального виготовлення якісної продукції.

Тобто ООВ повинен переконатись, що виробництво не випускає в обіг браковану продукцію і не є фіктивним (тобто не проводить реалізацію продукції інших виробників (у тому числі контрабандної) під виглядом власної, а також не укладає угод на реалізацію фіктивної (неіснуючої продукції) із використанням документа, що підтверджує відповідність).

Для досягнення даної мети ООВ у процесі обстеження виробництва може вимагати від виробника виготовлення продукції у присутності експертів ООВ або хоча б перевірити наявність та працездатність усього виробничого обладнання, вказаного у техрегламенті (якщо випуск продукції в процесі обстеження виробництва неможливий із сезонних чи інших причин (відсутності попиту на продукцію, відключення електроенергії тощо)).

2. Впевнитись, що система виробництва, пакування, маркування, зберігання, транспортування, контролю якості продукції відповідає вимогам НД на відповідну продукцію.

Даний пункт разом із результатами випробувань продукції дозволяє підтвердити / спростувати можливість видачі сертифіката відповідності продукції (або атестата виробництва). Тобто продукція може бути якісною, її якість стабільною, але, якщо вимоги НД виконуються не повністю, сертифікація / атестування її виробництва є неможливими.

3. Впевнитись, що виробнича система забезпечує стабільність виробництва якісної продукції завдяки наявності належних процедур вхідного, операційного та підсумкового контролю якості, поводження із бракованою продукцією, фіксації та належного реагування на скарги та рекламції [17].

4. Перевірити юридичні та соціальні аспекти виробництва.

Переважає більшість ООВ, що цінують свою репутацію, уникають сертифікації продукції / атестування тих виробництв, що є небезпечними для персоналу та/або довкілля, не виконують вимоги законодавства щодо отримання дозволів на викиди, дотримання вимог охорони праці та пожежної безпеки, офіційного оформлення персоналу тощо. Тому до порядку обстеження виробництва, користуючись правом створення власних схем сертифікації, наданим ДСТУ EN ISO/IEC 17065:2019, ОС може додати відповідні пункти. У такому випадку заявник, виробництво якого частково або повністю не відповідає вказаним пунктам, може одразу відкликати свою заявку на сертифікацію продукції та звернутись до іншого ООВ, що згоден буде сертифікувати таке напівлегальне виробництво.

5. Визначити періодичність і форми проведення технічного нагляду за виробництвом сертифікованої продукції [6].

Таким чином, на нашу думку є обстеження виробництва в процесі сертифікації продукції (атестування виробництва) його ключовим етапом, що передбачає оцінювання відповідності виробничої системи вимогам технології виробництва, нормативних документів на продукцію та сучасним вимогам до системи контролю якості.

Конкретні заходи із обстеження виробництва зазвичай проводяться за так званими контрольними списками (або шаблонами перевірки), які з тим чи іншим ступенем деталізації розглядають конкретні аспекти діяльності підприємства із виготовлення та постачання продукції і містять конкретні вимоги до виробництва та критерії оцінювання його відповідності [4]. При цьому кожний ООВ, що проводить обстеження виробництва з метою його сертифікації / атестування (або з іншою метою) зазвичай корегує «під себе» існуючі контрольні списки або розробляє власні.

На підставі узагальнення розглянутих підходів до обстеження виробництва, а також досвіду Органу сертифікації продукції ДП «НІРІ» із сертифікації та атестування дорожньо-будівельної продукції, була розроблена власна методика обстеження виробництва, що включає власний перелік відповідних документів / методів оцінювання відповідності (контрольний список).

Першим етапом обстеження виробництва за запропонованою методикою є перевіряння документації, наданої заявником разом із пакетом документів про державну реєстрацію підприємства та заявою на сертифікацію продукції / атестування виробництва.

Метою даного етапу є оцінювання можливості проведення подальших робіт із сертифікації продукції (атестування виробництва), оскільки, у випадку ненадання заявником певних документів, передбачених переліком ООВ, невідповідності їх змісту та форми встановленим вимогам, передачі неактуальних версій документів подальші роботи із оцінювання відповідності не проводяться до усунення виявлених недоліків.

Слід відмітити, що на даному етапі перевіряється перш за все наявність актуальних версій документації, а аналіз їхнього змісту проводиться лише за окремими пунктами, які є критично важливими для загального результату обстеження виробництва (це робиться задля зниження трудомісткості та, відповідно, вартості обстеження).

Перевіряння проводять за такими пунктами.

1.1 Статистична звітність щодо обсягів виробництва продукції.

Необхідна для підтвердження реальності виробництва, у тому числі шляхом порівняння із виробничою потужністю підприємства та обсягами використаних ресурсів усіх видів. У промисловості будівельних матеріалів для цього може бути використана форма державного статистичного спостереження № 1-П (місячна) «Звіт про виробництво промислової продукції за видами».

1.2 Документація на право користування земельною ділянкою та виробничими будівлями (спорудами); плани (схеми) приміщень, що використовуються для виробництва продукції, контролю її якості та зберігання виробничих запасів та запасів готової продукції.

Вказані документи також використовують для підтвердження реальності та легальності виробництва, оцінювання його виробничої потужності, можливості дотримання вимог НД щодо зберігання виробничих запасів і запасів готової продукції.

1.3 Контракти із постачальниками; документація, що підтверджує походження та якість сировини, матеріалів, комплектуючих та енергоресурсів.

Даний пункт передбачає перевіряння копій договорів (контрактів) на постачання сировини, матеріалів, комплектуючих та енергоресурсів; інвойсів та актів до них (за останній рік), документів, що підтверджують якість сировини, матеріалів, комплектуючих (сертифікатів відповідності, атестатів виробництва, протоколів випробувань, свідоцтв, паспортів, гарантійних талонів тощо). Він дозволяє оцінити походження та якість сировини, матеріалів, комплектуючих і реальність виробництва (зокрема за допомогою перевіряння договорів на енергопостачання та актів до них).

У випадку функціонування на підприємстві власного енергетичного господарства необхідно оцінити його працездатність та виробничі потужності, порівнявши їх із обсягами споживання виробництвом відповідних ресурсів (розрахованих відповідно до техрегламенту).

Також перевіряється наявність у контрактах на постачання чітких та однозначних вимог до якості та безпеки сировини, матеріалів та комплектуючих.

1.4 Контракти на постачання продукції, акти до них (за останній рік).

Дозволяють переконатись, що виробництво не фіктивне, а реалізовані обсяги продукції відповідають виробничим можливостям підприємства.

Також перевіряється наявність у контрактах чітких та однозначних вимог до якості та безпеки продукції.

1.5 Технічна (конструкторська, технологічна (техрегламент), експлуатаційно-супровідна) документація на продукцію (далі — ТД), включаючи відповідну документацію на комплектуючі, сировину та матеріали [17].

Для підтвердження відповідності виробництва за даним пунктом необхідно перевірити наявність у заявника копій відповідних документів або хоча б їх переліку для того, щоб упевнитись, що виробник знає про наявність відповідних стандартів та використовує у своїй діяльності їх актуальні версії. У подальшому, під час інспектування виробництва експертна комісія ОС має перевірити дотримання вимог усієї переліченої документації (п. 2 даного контрольного списку).

1.6 Документація на виробниче обладнання та устаткування, задокументовані процедури підтримання його працездатності.

Даний пункт дозволяє оцінити технологічні можливості обладнання та його можливість працювати у режимах, передбачених техрегламентом (і таким чином забезпечувати належну якість продукції) впродовж періоду дії майбутнього сертифіката відповідності (атестата виробництва). При цьому перевіряється наявність та зміст технічних паспортів на обладнання, сертифікати відповідності (за наявності), наявність відповідних процедур у СУЯ підприємства.

Під час інспектування виробництва також буде перевірено виконання вказаних процедур (п. 2 даного контрольного списку).

1.7 Задокументовані процедури (методики) з контролю якості продукції (сировини / матеріалів / комплектуючих), відповідального працівника (служби якості), результатів контролю якості (звітів із контролю), сертифікатів (атестатів) лабораторії (за наявності) [17].

Перевіряють наявність у виробника задокументованих процедур щодо контролю якості продукції, натомість якість функціонування цієї системи має бути перевірена ООВ вже під час інспектування виробництва (п. 2 даного контрольного списку). На даному етапі експертна комісія вивчає копії наказів, положень, інструкцій, настанов або інших видів процедур з контролю якості, затверджених на підприємстві, а також результати контролю якості (звітів із контролю) щоб переконатись, що обсяг і характер заходів із контролю якості продукції забезпечують належну стабільність її показників. Також вивчають сертифікати (атестати) заводської лабораторії (за наявності) або договори з іншими лабораторіями та акти до них.

1.8 Документація щодо організації метрологічного забезпечення виробництва [17].

На даному етапі перевіряють наявність та зміст документів, що регламентують організацію метрологічного забезпечення на підприємстві з метою переконатись у достовірності вимірювань під час виробництва продукції та контролю якості продукції (сировини, матеріалів, комплектуючих). Зокрема виконують аналіз переліку та характеристик засобів вимірювальної техніки і випробувального обладнання щодо їх відповідності вимогам НД як на саму продукцію (сировину, матеріали та комплектуючі), так і на методи їх випробувань.

1.9 Задокументовані процедури вантажно-розвантажувальних робіт, транспортування, зберігання, пакування, маркування продукції, сировини, матеріалів, комплектуючих.

Перевіряють їх наявність і відповідність вимогам НД. У подальшому, під час інспектування виробництва перевіряють дотримання вказаних процедур.

1.10 Задокументовані процедури зберігання, обліку та утилізації невідповідної (бракованої) продукції.

Перевіряють копії наказів, положень, інструкцій, настанов або інших видів процедур, затверджених на підприємстві. У подальшому, під час інспектування виробництва перевіряють дотримання вказаних процедур.

1.11 Задокументовані дані щодо претензій і рекламаций від споживачів, результатів їх розгляду, вжитих заходів.

Перевірка за даним пунктом дозволяє оцінити як стабільність якості продукції, так і якість СУЯ підприємства, а також дотримання ним прав споживачів.

1.12 Документація щодо дотримання виробничим персоналом вимог охорони праці та техніки безпеки, пожежної безпеки.

Перевіряння копії наказів, положень, інструкцій, настанов або інших видів процедур, затверджених на підприємстві, а також копії відповідних інструктажів персоналу, дані про навчання персоналу у зовнішніх навчальних центрах, копії допусків, наявних у персоналу.

Окрім соціальної мети, перевіряння за даним пунктом також дозволяє оцінити реальність виробництва, кваліфікацію виробничого персоналу та якість побудови та функціонування СУЯ підприємства.

1.13 Дозвільні документи щодо викидів, поводження з небезпечними речовинами (якщо передбачено), документи щодо утилізації (переробки) відходів виробництва.

Перевіряються наявність дозволів на викиди від стаціонарних джерел в атмосферне повітря і скиди у водне середовище, а також на роботу із небезпечними речовинами (за наявності), договори на вивезення сміття або наявність власної системи його утилізації. Перевіряння за даним пунктом має як соціальну мету, так і дозволяє додатково оцінити якість СУЯ виробника.

1.14 Документація щодо результатів перевірянь контролюючих органів, раніше проведеної сертифікації продукції (атестацію виробництва) усунення виявлених невідповідностей (за наявності).

Дозволяє переконатись в усуненні недоліків, що були виявлені у діяльності виробника у попередні періоди. Перевіряються відповідні звіти та приписи (за останні 2 роки), документи що, підтверджують усунення невідповідностей. Даний пункт дозволяє оцінити застосування необхідних коригувальних та запобіжних дій на рівні виконавців, керівників підрозділів та підприємства [8].

1.15 Документи щодо впровадження системи управління якістю ISO 9001 (за наявності).

Копія діючого сертифіката ISO 9001 (за наявності) є додатковим документальним підтвердженням належної побудови СУЯ підприємства, і його наявність може бути підставою для продовження строку дії документа про відповідність (якщо це передбачено схемами сертифікації продукції / атестування виробництва ООВ).

Слід зазначити, що у вказаному переліку відсутня документація щодо персоналу підприємства, оскільки, з метою захисту його персональних даних, перевіряння відповідної документації проводиться вже під час інспектування підприємства.

Метою другого етапу обстеження виробництва, що проводиться безпосередньо на виробництві (перевіряння і оцінювання виробництва [16] або його інспектування [27]), є оцінювання відповідності інформації, що наведена у наданій виробником документації, фактичному стану безпосередньо на підприємстві [8]. Вказаний етап проводять після вступної наради із особами, відповідальними на підприємстві за сертифікацію продукції / атестування виробництва, та включає такі складові:

2.1 Перевіряння кадрового забезпечення виробничих і допоміжних підрозділів підприємства (що виконують функції ремонту та обслуговування обладнання; контролю якості продукції; маркування та пакування продукції; зберігання та транспортування продукції, сировини, матеріалів та комплектуючі.

На даному етапі перш за все перевіряють документацію щодо персоналу підприємства (кадрова та організаційно-розпорядча, включаючи документи, що затверджують обов'язки та повноваження, підтверджують компетентність).

Метою даного пункту є, у першу чергу, перевіряння легальності (реальності) виробництва шляхом перевіряння офіційного оформлення всього виробничого персоналу, наявність чітких виробничих функцій і завдань персоналу, закріплених у посадових інструкціях та інших документах (наказах, положеннях (за наявності)), а також перевіряння відповідності кваліфікації виконавців вимогам відповідних технологічних процесів [8].

Зокрема з дотриманням вимог щодо конфіденційності та захисту персональних даних експерти ООВ переглядають документи щодо освіти, досвіду роботи, підвищення кваліфікації та інструктажу виробничого персоналу, накази про його допуск до роботи, документи щодо проведення виробничого навчання (за наявності).

У випадку, якщо деякі функції передані підприємством на аутсорсинг, то з метою оцінювання реальності виробництва перевіряють наявність відповідних договорів та актів до них.

2.2 Перевіряння наявності виробничих запасів сировини / матеріалів / комплектуючих.

Перевіряють наявність виробничих запасів, що свідчить про реальність виробництва продукції (при цьому допускається відсутність виробничих запасів у випадку застосування виробником системи постачання «точно в термін» [28]), а також відповідність їх за обсягом та асортиментом контрактам із постачальниками, перевіреним за п. 1.3 даної методики.

2.3 Оцінювання відповідності параметрів навколишнього середовища вимогам ТД; перевіряння наявності засобів підтримання належного мікроклімату, передбачених НД та/або техрегламентом.

Перевіряють наявність засобів вимірювальної техніки (далі — ЗВТ) для контролю мікроклімату, відповідність їх поточних показників вимогам НД (якщо це регламентовано).

2.4 Оцінювання відповідності виробничого обладнання, системи підтримання його працездатності вимогам ТД.

Під час даного пункту Експертна комісія ООВ проводить перевіряння наявності, стану та відповідності технологічного обладнання, оснастки та пристосувань вимогам ТД. Експерти ООВ проводять огляд виробничої лінії задля перевіряння наявності усього переліку обладнання, що передбачено техрегламентом, а також перевіряють працездатність обладнання (просять уповноважений на це персонал виробника його включити), а також, за можливості, вимагають від виробника провести контрольний випуск продукції під наглядом фахівців ООВ. Також оцінюють своєчасність перевіряння технічних параметрів технологічного обладнання [8], технічного обслуговування та ремонту обладнання відповідно до документації, наданої виробником за п. 1.6.

2.5 Перевіряння дотримання вимог процедур, НД та ТД щодо обсягу, порядку, методів і засобів контролю та випробувань продукції, комплектуючих, сировини і матеріалів.

Експерти ООВ проводять спостереження за контролем якості на різних етапах виробничого процесу, а також переглядають звіти із вхідного, проміжного та підсумкового контролю якості продукції, сировини, матеріалів і комплектуючих.

Також перевіряють наявність і зміст протоколів періодичних випробувань продукції щоб переконатись, що якість продукції періодично проходить об'єктивну незалежну оцінку, а результати таких випробувань свідчать про стабільність характеристик (показників) продукції та їх відповідність нормативним вимогам.

Окрему увагу приділяють аналізу наявності та змісту актів відбору зразків (проб) продукції на відповідність вимогам НД щодо обсягу, засобів і порядку відбору зразків (проб) продукції.

2.6 Перевіряння організації метрологічного забезпечення виробництва.

Перевіряють дотримання вимог документації, наданої виробником за п. 1.8 Зокрема проводять перевіряння наявності та стану ЗВТ і технологічного обладнання для проведення контролю якості, а також дотримання вимог ТД щодо вибору і застосування ЗВТ і випробувального обладнання (ВО). Зокрема проводять візуальний огляд відповідного обладнання, перевіряння його техпаспортів із метою переконатись, що наявні ЗВТ дозволяють провести належний контроль якості сировини, матеріалів, комплектуючих та готової продукції, а також належні параметри технологічного процесу її виготовлення. При цьому перевіряють не тільки ті ЗВТ, які використовують у виробничій лабораторії або на складі, але і ЗВТ, що вбудовані у виробничу лінію або контролюють параметри навколишнього середовища у виробничому приміщенні (термометри, манометри, гігromетри, ваги тощо).

Окрім цього перевіряють стан організації повірки (калібрування) ЗВТ і ВО, виконання графіків повірки (калібрування) ЗВТ і ВО.

2.7 Перевіряння організації пакування та маркування продукції, зберігання та транспортування продукції, сировини, матеріалів і комплектуючих.

Мета даного пункту – перевірити походження та стан зберігання продукції, а також сировини, матеріалів і комплектуючих (властивості яких безпосередньо впливають на якість готової продукції).

У межах даного пункту експерти ООВ проводять обстеження відповідних складських приміщень та огляд продукції, що у них зберігається, з метою аналізу дотримання вимог стандартів на продукцію (в яких зазвичай передбачені відповідні розділи). Водночас перевіряють належну ідентифікацію та простежуваність продукції [16]. Перевіряння виконують на підставі документів, наданих виробником за п. 1.9.

2.8 Перевіряння організації зберігання та утилізації невідповідної продукції (браку).

Даний пункт дозволяє переконатись, що бракована продукція своєчасно виявляється та не надходить у обіг. Виконують перевіряння дотримання вимог документів, наданих виробником за п. 1.10, а саме огляд місць зберігання браку (який має зберігатись окремо від запасів готової продукції).

2.9 Перевіряння дотримання вимог щодо охорони праці та техніки безпеки, поведження з небезпечними речовинами (за наявності).

Перевіряють дотримання вимог документації, наданої виробником за п. 1.12 та п. 1.13. При цьому зокрема аналізують звіти з охорони праці (за наявності), журнали інструктажів виробничого персоналу.

Перевіряння за даним пунктом має не тільки соціальне, але і виробниче значення, оскільки неналежне поведження із небезпечними речовинами може вплинути на якість продукції як безпосередньо (хімічним шляхом), так і через стан здоров'я виробничого персоналу, який під дією цих речовин буде неспроможний якісно виконувати свої трудові функції.

2.10 Перевіряння усунення невідповідностей, визначених контролюючими органами під час перевірянь, органами оцінки відповідності у процесі сертифікації продукції / атестування виробництва.

Перевіряння за даним пунктом дозволяє переконатись у відсутності недоліків, які унеможливають сертифікацію продукції / атестування виробництва, а також оцінити якість функціонування СУЯ підприємства щодо її спроможності реалізації ефективних коригувальних дій. Перевіряння виконують на підставі документації, наданої виробником за п. 1.14.

За необхідності, у процесі обстеження виробництва, експерти ООВ можуть опитувати персонал підприємства, отримувати від нього пояснення та роз'яснення [16].

Завершується інспектування виробництва проведенням заключної наради, на якій експерти ООВ озвучують представникам замовника оцінку відповідності виробництва за усіма пунктами. При цьому у випадку, якщо за одним або декількома пунктами виробництво не відповідає вимогам схеми сертифікації (порядку атестування), а виявлені невідповідності не були негайно усунуті виробником безпосередньо під час інспектування, то рішення про видачу сертифіката відповідності (атестата виробництва) відкладається до того моменту, доки виробник не заявить про усунення усіх недоліків, а ООВ не переконається в їх усуненні.

За результатами обох етапів обстеження виробництва експертною комісією ООВ оформлюється акт обстеження, який повинен містити фактичні дані за кожним пунктом перевірки (включаючи фотоматеріали), обґрунтовані висновки і, за необхідності, рекомендації щодо усунення виявлених недоліків. Вимоги до оформлення акта рекомендовано встановлювати з урахуванням положень [27], [29], [30] та [6].

Застосування ООВ ДП «НІРІ» наведеної методики дозволило уніфікувати процедуру обстеження виробництва для різноманітних цілей (сертифікація продукції, атестування виробництва) та виробництв видів дорожньо-будівельної продукції (цементобетонних та асфальтобетонних сумішей, бетонних виробів, бітумних емульсій, пластиків і фарб для дорожньої розмітки, дорожніх знаків тощо).

Висновки

На основі викладеного матеріалу можна зробити висновок, що обстеження виробництва є дієвим інструментом забезпечення стабільної якості дорожньо-будівельної продукції, що виготовляється серійно, і повинно бути невід'ємною складовою процесів її сертифікації та атестування виробництва. У процесі обстеження ООВ одночасно досягає ряду взаємопов'язаних цілей, що включають не тільки визначення можливостей виробництва щодо стабільного виготовлення якісної продукції та встановлення періодичності технічного нагляду, але і перевіряння юридичних і соціальних аспектів виробництва.

Різнomanітність форм і методів обстеження виробництва, що існують у світовій практиці, дозволяє кожному ООВ сформулювати свій перелік заходів з обстеження (контрольний список) для тих чи інших цілей. При цьому основою для формування контрольного списку під час обстеження виробництва тобто визначенні обсягу контролю виробничої системи та виробничого процесу має бути баланс інтересів виробника, ООВ і споживачів.

ООВ продукції ДП «НІРІ» на підставі узагальнення вітчизняного та міжнародного досвіду обстеження виробництва в процесі сертифікації та атестування виробництва була сформована власна методика його проведення, яка включає етапи аналізування документації та інспектування виробництва та охоплює усі ключові аспекти виробництва від оцінювання технічних і технологічних

можливостей виробництва відповідної продукції до оцінювання тих аспектів СУЯ підприємства, що безпосередньо впливають на якість і стабільність виробництва продукції. Практичне застосування ООВ продукції ДП «НІРІ» вказаної методики довело її реалістичність і репрезентативність результатів при забезпеченні якості та стабільності виробництва дорожньо-будівельної продукції.

Таким чином, розроблення і впровадження ефективних методичних підходів до обстеження виробництва є важливим фактором підвищення загального рівня якості дорожньо-будівельної продукції, забезпечення її стабільності та відповідності нормативним вимогам. Ці підходи повинні забезпечувати необхідний обсяг об'єктивної інформації про виробництво, але водночас не спричиняти надмірних трудовитрат ООВ та, відповідно, надмірного фінансового навантаження на виробника дорожньо-будівельної продукції.

Список літератури

1. Павлов В. М., Матющенко О. Г., Власов А. В., Мирунко В. М., Резніков Ю. В. Сертифікація елементів захисних споруд: проблемні питання та шляхи їх вирішення. *Випробування та сертифікація*. Черкаси, 2023. № 2(2). С. 12–18.
2. ДСТУ EN ISO/IEC 17000:2021. Оцінювання відповідності. Словник термінів і загальні принципи (EN ISO/IEC 17000:2020, IDT; ISO/IEC 17000:2020, IDT). Київ, 2022. 18 с. (Інформація та документація).
3. Product inspection. URL: <https://safetyculture.com/topics/quality-assurance-and-quality-control/product-inspection/#In-Production-Inspection> (дата звернення: 18.02.2025).
4. Role of during production inspection. URL: <https://www.jonble.com/blog/role-of-during-production-inspection/> (дата звернення: 18.02.2025).
5. Manufacturing inspection. URL: <https://goaudits.com/blog/manufacturing-inspection/> (дата звернення: 18.02.2025).
6. ДСТУ 3413-96 Система сертифікації УкрСЕПРО. Порядок проведення сертифікації продукції (з поправками та змінами). Київ, 1996. 47 с. (Інформація та документація).
7. ДСТУ 3414-96. Державна система сертифікації. Аtestування виробництва. Порядок проведення. Київ, 1996. 23 с. (Інформація та документація).
8. МР А.3.1-218-21476215-522:2006 Методичні рекомендації щодо визначення технічного стану асфальтобетонних заводів та їх атестації. Київ, 2006. 11 с. (Інформація та документація).
9. Production inspections. URL: <https://inspecco.com/inspections-audits/for-buyers-traders/production-inspections/> (дата звернення: 18.02.2025).
10. Quality control service. URL: <https://www.v-trust.com/en/our-services/quality-control/during-production-inspection-service-in-china-india-vietnam-malaysia-thailand-bangladesh-pakistan-indonesia-cambodia> (дата звернення: 18.02.2025).
11. During production inspection. URL: <https://www.hqts.com/our-services/inspections/during-production-inspection/> (дата звернення: 18.02.2025).
12. Container loading checking. URL: <https://aimcontrolgroup.com/en/container-loading-checking.html> (дата звернення: 18.02.2025).
13. Inspection in manufacturing processes. URL: <https://www.qualityze.com/blogs/inspection-in-manufacturing-processes> (дата звернення: 18.02.2025).
14. ISO 9001 checklist. Контрольний список ISO 9001. URL: <https://www.iso-9001-checklist.co.uk/> (дата звернення: 18.02.2025).
15. Порядок та правила сертифікації продукції. URL: <https://friedman.com.ua/ua/info/tariff-regulation/certifications/porjadok-i-pravila-produkcii-131/> (дата звернення: 18.02.2025).
16. ДСТУ 3957-2000. Державна система сертифікації. Порядок обстеження виробництва під час проведення сертифікації продукції. Київ, 2000. 15 с. (Інформація та документація).
17. ГСТУ 218-21476215-104-2003. Стандартизація та сертифікація у дорожньому господарстві України. Правила проведення атестування виробництв. Київ, 2003. 20 с. (Інформація та документація).
18. Про затвердження Технічного регламенту будівельних виробів (продукції): Постанова КМУ від 20.12.2006 № 1764 // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1764-2006-%D0%BF#Text> (дата звернення: 18.02.2025).

19. Про надання будівельної продукції на ринку: Закон України від 02.09.2022 № 850-IX, редакція від 12.05.2022 № 2254-IX // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/850-20#Text> (дата звернення: 18.02.2025).
20. Про затвердження переліку категорій будівельної продукції: Постанова КМУ від 28.04.2021 № 426 // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/426-2021-%D0%BF#Text> (дата звернення: 18.02.2025).
21. ДСТУ EN ISO/IEC 17065:2019 (EN ISO/IEC 17065:2012, IDT; ISO/IEC 17065:2012, IDT). Оцінка відповідності. Вимоги до органів з сертифікації продукції, процесів та послуг. Київ, 2020. 27 с. (Інформація та документація).
22. Про затвердження модулів оцінки відповідності, які використовуються для розроблення процедур оцінки відповідності, та правил використання модулів оцінки відповідності : Постанова Кабінету Міністрів України від 13 січня 2016 р. № 95. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/95-2016-%D0%BF#Text> (дата звернення: 18.02.2025).
23. ДСТУ Б А.1.2-2:2009 Оцінювання відповідності у будівництві згідно з Технічним регламентом будівельних виробів, будівель і споруд. Порядок оцінювання відповідності продукції встановленим вимогам. Київ, 2010. 14 с. (Інформація та документація).
24. Про затвердження систем оцінки та перевірки стабільності показників будівельної продукції: Постанова КМУ від 9 червня 2021 р. № 596 // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/596-2021-%D0%BF#Text> (дата звернення: 18.02.2025).
25. CE marking of construction products step by step. Publication of European Commission. URL: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/12308/attachments/1/translations/en/renditions/native> (дата звернення: 18.02.2025).
26. Каськів В. І., Скрипник А. Л., Вирожезький В. К., Ячник М. В., Зеленовський В. А. Проблемні питання забезпечення якості дорожньо-будівельних матеріалів та виробів в контексті особливостей їх сертифікації в Україні відповідно до ДСТУ EN ISO/IEC 17065:2019 та закону України «Про надання будівельної продукції на ринку». *Дороги і мости*. Київ, 2024. Вип. 30. С. 244–252.
27. ДСТУ EN ISO/IEC 17020:2019 (EN ISO/IEC 17020:2012, IDT) Оцінка відповідності. Вимоги до роботи різних типів органів з інспектування. Київ, 2020. 14 с. (Інформація та документація).
28. Дудар Т. Г. Основи логістики : навч. посіб. Київ, 2012. 202 с.
29. ДСТУ EN ISO/IEC 17067:2014 Оцінювання відповідності. Основні положення сертифікації продукції та керівні вказівки щодо схем сертифікації продукції (EN ISO/IEC 17067:2013, IDT; ISO/IEC 17067:2013, IDT). Київ, 2021. 18 с. (Інформація та документація).
30. ДСТУ ISO/IEC TR 17026:2017 Оцінка відповідності. Приклад схеми сертифікації продукції (ISO/IEC TR 17026:2015, IDT). Київ, 2021. 24 с. (Інформація та документація).

References

1. Pavlov V. M., Matiushchenko O. H., Vlasov A. V., Myrunko V. M., Rieznikov Yu. V. Sertyfikatsiia elementiv zakhysnykh sporud: problemni pytannia ta shliakhy yikh vyrishennia (Certification of elements of protective structures: problematic issues and ways to solve them). *Vyprobuvannia ta sertyfikatsiia*. Cherkasy, 2023. № 2(2). P. 12–18 [in Ukrainian].
2. DSTU EN ISO/IEC 17000:2021. Otsiniuvannia vidpovidnosti. Slovyk terminiv i zahalni pryntsyipy (EN ISO/IEC 17000:2020, IDT; ISO/IEC 17000:2020, IDT) (DSTU EN ISO/IEC 17000:2021. Conformity assessment. Glossary of terms and general principles (EN ISO/IEC 17000:2020, IDT; ISO/IEC 17000:2020, IDT)). Kyiv, 2022. 18 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
3. Product inspection. URL: <https://safetyculture.com/topics/quality-assurance-and-quality-control/product-inspection/#In-Production-Inspection> (Last accessed: 18.02.2025) [in English].
4. Role of during production inspection. URL: <https://www.jonble.com/blog/role-of-during-production-inspection/> (Last accessed: 18.02.2025) [in English].
5. Manufacturing inspection. URL: <https://goaudits.com/blog/manufacturing-inspection/> (Last accessed: 18.02.2025) [in English].

6. DSTU 3413-96 Systema sertyfikatsii UkrSEPRO. Poriadok provedennia sertyfikatsii produktii (z popravkamy ta zminamy) (DSTU 3413-96 UkrSEPRO Certification System. Procedure for Product Certification (with amendments and changes)). Київ, 1996. 47 p. (Інформація та документація) [in Ukrainian].
7. DSTU 3414-96. Derzhavna systema sertyfikatsii. Atestuvannia vyrobnytstva. Poriadok provedennia (DSTU 3414-96. State certification system. Production certification. Procedure). Kyiv, 1996. 23 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
8. MR A.3.1-218-21476215-522:2006 Metodychni rekomendatsii shchodo vyznachennia tekhnichnoho stanu asfaltobetonnykh zavodiv ta yikh atestatsii (MR A.3.1-218-21476215-522:2006 Methodological recommendations for determining the technical condition of asphalt concrete plants and their certification). Kyiv, 2006. 11 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
9. Production inspections. URL: <https://inspecco.com/inspections-audits/for-buyers-traders/production-inspections/> (Last accessed: 18.02.2025) [in English].
10. Quality control service. URL: <https://www.v-trust.com/en/our-services/quality-control/during-production-inspection-service-in-china-india-vietnam-malaysia-thailand-bangladesh-pakistan-indonesia-cambodia> (Last accessed: 18.02.2025) [in English].
11. During production inspection. URL: <https://www.hqts.com/our-services/inspections/during-production-inspection/> (Last accessed: 18.02.2025) [in English].
12. Container loading checking. URL: <https://aimcontrolgroup.com/en/container-loading-checking.html> (Last accessed: 18.02.2025) [in English].
13. Inspection in manufacturing processes. URL: <https://www.qualityze.com/blogs/inspection-in-manufacturing-processes> (дата звернення: 18.02.2025) [in English].
14. ISO 9001 checklist. Контрольний список ISO 9001. URL: <https://www.iso-9001-checklist.co.uk/> (Last accessed: 18.02.2025) [in English].
15. Poriadok ta pravyla sertyfikatsii produktii (Procedure and rules for product certification). URL: <https://friedman.com.ua/ua/info/tariff-regulation/certifications/porjadok-i-pravila-produkcii-1031/> (Last accessed: 18.02.2025) [in Ukrainian].
16. DSTU 3957-2000. Derzhavna systema sertyfikatsii. Poriadok obstezhennia vyrobnytstva pid chas provedennia sertyfikatsii produktii (DSTU 3957-2000. State certification system. Procedure for inspection of production during product certification). Kyiv, 2000. 15 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
17. HSTU 218-21476215-104-2003. Standartyzatsiia ta sertyfikatsiia u dorozhnomu hospodarstvi Ukrainy. Pravyla provedennia atestuvannia vyrobnytstv (GSTU 218-21476215-104-2003. Standardization and certification in the road sector of Ukraine. Rules for conducting certification of production facilities). Kyiv, 2003. 20 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
18. Pro zatverdzhennia Tekhnichnoho rehlamentu budivelnnykh vyrobiv (produktii): Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 20.12.2006 No. 1764 // Database Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1764-2006-%D0%BF#Text> (Last accessed: 18.02.2025) [in Ukrainian].
19. Pro nadannia budivelnoi produktii na rynku: Law of Ukraine dated 02.09.2022 No. 850-IX, revised on 12.05.2022 No. 2254-IX // Database Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/850-20#Text> (Last accessed: 18.02.2025) [in Ukrainian].
20. Pro zatverdzhennia pereliku katehorii budivelnoi produktii: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated April 28, 2021. No. 426 // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/426-2021-%D0%BF#Text> (Last accessed: 18.02.2025) [in Ukrainian].
21. DSTU EN ISO/IEC 17065:2019 (EN ISO/IEC 17065:2012, IDT; ISO/IEC 17065:2012, IDT). Otsinka vidpovidnosti. Vymohy do orhaniv z sertyfikatsii produktii, protsesiv ta posluh (DSTU EN ISO/IEC 17065:2019 (EN ISO/IEC 17065:2012, IDT; ISO/IEC 17065:2012, IDT). Conformity assessment. Requirements for bodies for certification of products, processes and services). Kyiv, 2020. 27 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
22. Pro zatverdzhennia moduliv otsinky vidpovidnosti, yaki vykorystovuiutsia dlia rozroblennia protsedur otsinky vidpovidnosti, ta pravyl vykorystannia moduliv otsinky vidpovidnosti : Resolution of the

Cabinet of Ministers of Ukraine dated January 13, 2016 No. 95. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/95-2016-%D0%BF#Text> (Last accessed: 18.02.2025) [in Ukrainian].

23. DSTU B A.1.2-2:2009 Otsiniuvannia vidpovidnosti u budivnytstvi zghidno z Tekhnichnym rehlementom budivelnikh vyrobiv, budivel i sporud. Poriadok otsiniuvannia vidpovidnosti produktsii vstanovlenym vymoham (DSTU B A.1.2-2:2009 Conformity assessment in construction in accordance with the Technical Regulations for construction products, buildings and structures. Procedure for assessing the conformity of products with established requirements). Kyiv, 2010. 14 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

24. Pro zatverdzhennia system otsinky ta perevirky stabilnosti pokaznykiv budivelnoi produktsii: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated June 9, 2021 No. 596 // Database Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/596-2021-%D0%BF#Text> (Last accessed: 18.02.2025) [in Ukrainian].

25. CE marking of construction products step by step. Publication of European Commission. URL: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/12308/attachments/1/translations/en/renditions/native> (Last accessed: 18.02.2025) [in English].

26. Kaskiv V. I., Skrypnyk A. L., Vyrozhemskyi V. K., Yachnyk M. V., Zelenovskyi V. A. Problemni pytannia zabezpechennia yakosti dorozhno-budivelnikh materialiv ta vyrobiv v konteksti osoblyvosti yikh sertyfikatsii v Ukraini vidpovidno do DSTU EN ISO/IEC 17065:2019 ta zakonu Ukrainy «Pro nadannia budivelnoi produktsii na rynku» (Problematic issues of ensuring the quality of road construction materials and products in the context of the features of their certification in Ukraine in accordance with DSTU EN ISO/IEC 17065:2019 and the Law of Ukraine “On the Provision of Construction Products on the Market”). *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2024. Vyp. 30. P. 244–252 [in Ukrainian].

27. DSTU EN ISO/IEC 17020:2019 (EN ISO/IEC 17020:2012, IDT) Otsinka vidpovidnosti. Vymohy do roboty riznykh typiv orhaniv z inspektuvannia (DSTU EN ISO/IEC 17020:2019 (EN ISO/IEC 17020:2012, IDT) Conformity assessment. Requirements for the operation of different types of inspection bodies). Kyiv, 2020. 14 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

28. Dudar T. H. Osnovy lohistyky (Fundamentals of logistics): tutorial. Kyiv, 2012. 202 p. [in Ukrainian].

29. DSTU EN ISO/IEC 17067:2014 Otsiniuvannia vidpovidnosti. Osnovni polozhennia sertyfikatsii produktsii ta kerivni vkazivky shchodo skhem sertyfikatsii produktsii (EN ISO/IEC 17067:2013, IDT; ISO/IEC 17067:2013, IDT) (DSTU EN ISO/IEC 17067:2014 Conformity assessment. Basic provisions for product certification and guidelines for product certification schemes (EN ISO/IEC 17067:2013, IDT; ISO/IEC 17067:2013, IDT)). Kyiv, 2021. 18 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

30. DSTU ISO/IEC TR 17026:2017 Otsinka vidpovidnosti. Pryklad skhemy sertyfikatsii produktsii (ISO/IEC TR 17026:2015, IDT) (DSTU ISO/IEC TR 17026:2017 Conformity assessment. Example of a product certification scheme (ISO/IEC TR 17026:2015, IDT)). Kyiv, 2021. 24 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Volodymyr Kaskiv, Ph.D., Assoc. Prof., <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

Andrii Skrypnyk, Ph.D., Assoc. Prof., <https://orcid.org/0000-0002-4461-9433>

Mariia Yachnyk, <https://orcid.org/0009-0006-2510-6997>

State Enterprise “National Institute for Development Infrastructurt” (SE “NIDI”), Kyiv, Ukraine

METHODOLOGICAL APPROACHES TO PRODUCTION INSPECTION IN THE PROCESS OF PRODUCT CERTIFICATION AND PRODUCTION AUTHENTICATION

Abstract

Introduction. The article examines methodical approaches to compiling the process of product certification and certification, which is an important step in ensuring stable road infrastructure. products. The authors emphasize the role of the species assessment body in guaranteeing the risk of serial reproduction.

Problem statement. A full-scale assessment of product reliability is important not only by assessing the quality of the product, but also by confirming the stability of production processes and the ability to ensure proper control components of products (silhouettes, materials, components). Therefore, the selection for many types of road construction products is carried out through an invisible warehouse certification of serial production and certification of production. As a result, this process will require significant labor and expenditure for the quality assessment body and significant expenses for the manufacturer to pay for the relevant work, which creates the need to find an optimal balance between the interests of the manufacturer, Compliance with the body for assessing the type of species under the appropriate obligation and replacement of control in the process of suppression of proliferation.

Meta. The purpose of this article is the development of methodical approaches to the processing of production, which will help reduce the risks of the production of unwanted products and at the same time reduce the productivity and complexity of production.

Materials and methods. The research is based on the analysis of current regulatory documents, the practice of certification and attestation of production in Ukraine and beyond the cordon, as well as on the author's authoritative information in the field of assessment Types of road construction products.

Results. The article has developed a methodology for the preparation of production, which includes verification of documentation, testing of the production pressure, yakness control system, ensuring the stability of production and the impact of social and environmental issues. vimogam. This method is based on the official checklist of the Product Certification Body of the State Enterprise "National Institute for Infrastructure Development" and has been successfully tested by this body.

Conclusions. Processing of production with live tools ensures stable consistency of serial products being prepared. The methodological approaches proposed by the authors reduce the risk of product variability and increase confidence in the system for assessing the consistency of road construction products as a whole.

Keywords: testing of production, inspection, product certification, certification of production, quality control, road safety products.

УДК 625.7/.8

Вознюк А. Б., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-7611-9652>Дуля М. В., <https://orcid.org/0000-0002-1916-8642>*Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна*

**ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ПЕРЕВІРЯННЯ ТА АНАЛІЗУВАННЯ
НАБОРІВ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ПРО АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ
ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ**

Анотація

Вступ. Ця стаття має на меті окреслити практичні аспекти перевіряння та аналізування геопросторових даних, які створюються різними органами державної влади і місцевого самоврядування, суб'єктами господарювання усіх форм власності на єдиній геодезичній і картографічній основі за єдиними технічними регламентами, на основі набутого досвіду з виконання робіт зі збирання даних про автомобільні дороги, споруди на них, об'єкти дорожнього сервісу, транспортні потоки, природні і техногенні явища та встановити вимоги до відображення даних.

Проблематика. Від мережі автомобільних доріг загального користування державного значення, що зазнала руйнувань внаслідок повномасштабного вторгнення російської федерації, залежить логістика обороноздатності країни, ефективність роботи промисловості та сільського господарства, забезпечення належного рівня комунікації в суспільстві, а також повоєнне відновлення. Враховуючи кількісні та якісні зміни, які відбулись з транспортною галуззю України впродовж останніх років, все більш нагальною є потреба у здійсненні досліджень, які дозволять, щонайменше, дізнатись фактичні параметри сучасних транспортних потоків та їх вплив на мережу автомобільних доріг та споруди транспорту.

Мета. Узагальнення та систематизування набутого досвіду роботи з наборами геопросторових даних про автомобільні дороги загального користування.

Матеріали та методи. Методи комплексного і системного аналізу, абстрактно-логічний, графічний, статистичний, розрахунково-конструктивний та порівняльний аналізи з використанням даних натурних досліджень.

Результати. Розроблено методологію аналізування та перевіряння наборів геопросторових даних під час перевіряння паспорта автомобільної дороги.

Висновки. Вирішення проблем та завдань планування розвитку транспортних мереж і керування транспортними потоками неможливе без математичного моделювання. У свою чергу, будь-яка модель потребує постійного розвитку, щоб належним чином відтворювати поведінку модельованої системи, особливо такого складного, багатофакторного та змінного в часі та просторі середовища, як транспортний потік. Важливу роль у калібруванні параметрів моделі відіграють дані натурних спостережень за параметрами транспортної мережі та транспортного потоку.

Ключові слова: автомобільна дорога, аналіз, геопросторові дані, метод, модель, паспорт.

Вступ

Ключову роль в реалізації Національної транспортної стратегії України [1] відіграє розвиток транспортної інфраструктури, найважливішою складовою якої є мережа автомобільних доріг загального користування державного значення, що зазнала руйнувань внаслідок повномасштабного вторгнення російської федерації. Від цієї мережі залежить логістика обороноздатності країни, ефективність роботи промисловості та сільського господарства, забезпечення належного рівня комунікації в суспільстві, а також повоєнне відновлення [2].

Одним із заходів Національної транспортної стратегії України [1] є забезпечення пріоритетизації проектів нового будівництва, реконструкції, ремонту та утримання автомобільних

доріг на підставі інформаційно-аналітичних і експертних систем та уникнення суб'єктивного втручання у процес планування робіт на основі інструментальних показників (пункт 46 Операційного плану заходів з реалізації у 2025-2027 роках Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року).

Очевидно, що це спричинятиме зростання попиту на геоінформаційну систему автомобільних доріг (далі – ГІС) загального користування, яка надає можливість приймати ефективні управлінські рішення щодо відновлення та розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення, існує потреба в наданні фахівцям дорожнього господарства інформації про автомобільні дороги.

Структура ГІС включає повну картографічну інформацію, кадастрову інформацію про автомобільні дороги, містить паспорт автодороги з можливістю оперативного доступу до сканованих копій документів (державних актів права власності на землю та угод сервітуту, наказів про прийняття автошляхів на баланс, документів про присвоєння дорожньому індексу та номера, актів державної комісії) та довідок (довідки про історію будівництва та реконструкцію дороги, довідки про господарське призначення дороги тощо), дані щодо стану дорожнього покриття й транспортних умов (містить технічні характеристики автодороги, зокрема тип покриття, ширину проїзної частини, кількість смуг, наявність розмітки), дані моніторингу та реєстрації дорожньо-транспортних пригод, проведення ремонтів (із зазначенням дати останнього ремонту, відповідальних осіб, фотофіксацією виконаних робіт), інформацію про облік інженерних мереж та споруд, а також керування ними, транспортну інфраструктуру, рекламні носії тощо.

Із набуттям чинності законодавчих актів [3, 4] виникла необхідність нормативно-правового забезпечення створення та функціонування національної інфраструктури геопросторових даних. На законодавчому рівні [3] встановлено, що до повноважень держателів даних у сфері національної інфраструктури геопросторових даних належить забезпечення замовлення, створення, використання, оновлення, оприлюднення та виконання інших дій з геопросторовими даними, а також забезпечення актуальності, достовірності, обґрунтованості, повноти, точності, відкритості, інтероперабельності геопросторових даних та метаданих.

Крім того, враховуючи кількісні та якісні зміни, які відбулись з транспортною галуззю України впродовж останніх років, все більш нагальною є потреба у здійсненні досліджень, які дозволять, щонайменше, дізнатись фактичні параметри сучасних транспортних потоків та їх вплив на мережу автомобільних доріг і транспортні споруди транспорту.

Ця стаття має на меті окреслити практичні аспекти перевіряння та аналізування геопросторових даних, які створюються різними органами державної влади і місцевого самоврядування, суб'єктами господарювання усіх форм власності на єдиній геодезичній і картографічній основі за єдиними технічними регламентами, на основі набутого досвіду з виконання робіт зі збирання даних про автомобільні дороги, споруди на них, об'єкти дорожнього сервісу, транспортні потоки, природні і техногенні явища та встановити вимоги до відображення даних.

У статті використані матеріали звіту з перевіряння відповідності паспорта ділянки автомобільної дороги М-05 Київ – Одеса (км 11+660 – км 86+890), з під'їздом до м. Білої Церкви (км 0+000 – км 2+342) та під'їздом до Р-19 (км 0+000 – км 0+226) вимогам СОУ 42.1-37641918-122:2014 «Автомобільні дороги. Вимоги до комплексу робіт з інформаційного забезпечення».

Основна частина

Згідно з проєктом ДСТУ XXXX-1:20XX «Геоінформаційна система автомобільних доріг загального користування. Частина 1. Склад, зміст та вимоги до наборів даних» сховищем геопросторових даних про автомобільні дороги для потреб ГІС є Єдина геоінформаційна база даних автомобільних доріг України (далі – ЄБД). Доступ до ЄБД надається Агентством відновлення (**рис. 1**) та відбувається за посиланням <https://ebd.restoration.gov.ua/login/eds>.



а) вхід до системи; б) стартова сторінка;
в) облікова відомість; г) облікова картка.

Рисунок 1 — Віконні форми взаємодії з ЄБД

Набори даних в ЄБД організовуються відповідно до концепції опису активів існуючої автомобільної дороги та поділяються на наступні рівні:

- рівень 1 — набори даних, які описують автомобільну дорогу (**рис. 2**);
- рівень 2 — набори даних про сукупності об'єктів, споруд та явищ (**рис. 1, в**);
- рівень 3 — набори даних про конструкцію окремої споруди (наприклад, облікова картка моста або облікова картка водопропускальної труби), виявлені дефекти та недоліки утримання цієї споруди (**рис. 1, г**);
- рівень 4 — сукупності детальних інженерних даних про окремі конструктивні елементи споруд, якщо від них залежать умови роботи споруди.

Набори даних другого рівня називаються відомостями (**рис. 1, в**) однотипних об'єктів і є необхідними та достатніми для ідентифікування об'єктів, споруд, явищ в розрізі автомобільної дороги, балансоутримувача (органа управління) тощо.

Набори даних третього рівня називаються обліковими картками (**рис. 1, г**) об'єктів та надають можливість планування робіт ремонтування та утримання відповідного об'єкта / споруди, оцінювання рівня утримання об'єкта / споруди або ділянки автомобільної дороги.

Набори даних четвертого рівня називаються обліковими картками конструктивних елементів об'єкта / споруди і створюються тоді, коли від конструктивного елемента залежать умови роботи відповідного об'єкта / споруди.

Набори даних першого рівня на картографічній поверхні складові автомобільної дороги позначаються або кривими (структурні лінії), або точками, або замкненими контурами (полігонами). Водночас, точка може позначати як центр складової (об'єкта), так і її проекцію на вісь прямого напрямку руху, а також умовну позначку.

Так само, відповідно до вимог проєкту ДСТУ XXXX-1:20XX та чинних на даний момент вимог СОУ 42.1-37641918-038:2016 [5] цифрова модель автомобільної дороги та місцевості будується за координатами опорних точок, згрупованих у вигляді поперечних профілів, відповідно (рис. 2 – 3, табл. 1).

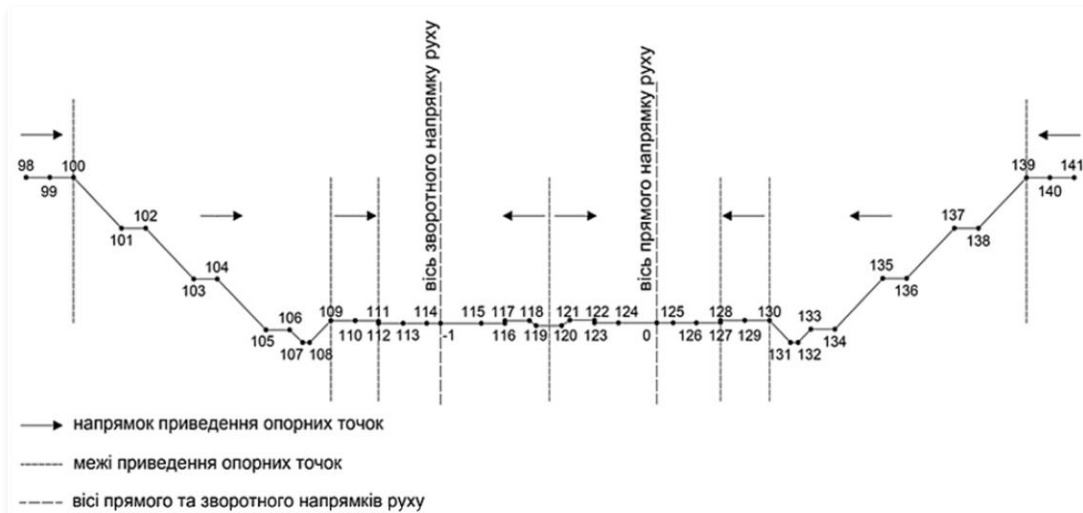


Рисунок 2 — Опорні точки поперечного профілю автомобільної дороги та рельєфу місцевості, схема злиття точок в разі їх відсутності в поперечному профілі

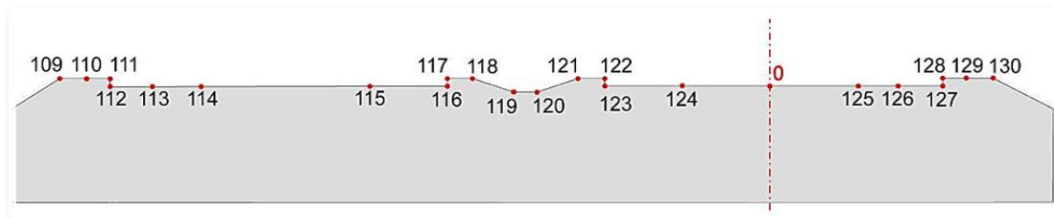


Рисунок 3 — Опорні точки опису поперечних профілів центральної частини дороги

Таблиця 1

Опорні точки поперечних профілів

Діапазони кодів опорних точок	Опис сукупності опорних точок (зліва — направо)
1 – 99	Точки рельєфу місцевості відносно зворотного напрямку руху
100	Крайня точка земляного полотна зворотного напрямку руху
100 – 108	Точки укосу земляного полотна зворотного напрямку руху
109	Точка брівки земляного полотна зворотного напрямку руху
109 – 112	Точки узбіччя зворотного напрямку руху
110 – 112	Точки посадкового майданчика зупинки маршрутного транспорту зворотного напрямку руху
112 – 113	Точки заїзної кишені майданчика зупинки маршрутного транспорту зворотного напрямку руху
113 – 114	Точки ПШС для правого повороту зворотного напрямку руху
114 – 115	Точки проїзної частини зворотного напрямку руху

Діапазони кодів опорних точок	Опис сукупності опорних точок (зліва — направо)
–1	Вісь зворотного напрямку руху
115 – 116	Точки ПШС для лівого повороту зворотного напрямку руху
116 – 123	Точки розділювальної смуги
123 – 124	Точки ПШС для лівого повороту прямого напрямку руху
124 – 125	Точки проїзної частини прямого напрямку руху
0	Вісь прямого напрямку руху
125 – 126	Точки ПШС для правого повороту прямого напрямку руху
126 – 127	Точки заїзної кишені майданчика зупинки маршрутного транспорту прямого напрямку руху
127 – 129	Точки посадкового майданчика зупинки маршрутного транспорту прямого напрямку руху
127 – 130	Точки узбіччя прямого напрямку руху
130	Точка брівки земляного полотна прямого напрямку руху
130 – 139	Точки укосу земляного полотна прямого напрямку руху
139	Крайня точка земляного полотна прямого напрямку руху
139 – 238	Точки рельєфу місцевості відносно прямого напрямку руху

Для потреб ГІС використовуються наступні системи відліку: просторова, лінійна та часова.

В якості **просторової** системи відліку (Spatial reference system) використовують УСК-2000 [6]. За поверхню відліку в УСК-2000 приймають референц-еліпсоїд Красовського. Нормальні висоти геодезичних пунктів визначаються в Балтійській системі висот 1977 року.

Для ідентифікування місця розташування, а також забезпечення можливості виконання математичних операцій з наборами даних разом з просторовою системою відліку застосовують **лінійну систему**, яка позначає відстань від початку автомобільної дороги до заданої точки (сегменту), виміряну вздовж осі прямого напрямку руху. Лінійні прив'язки (км+) позначають цілим додатним числом. Перед лінійною прив'язкою додаються літери «км». Символ «+» (плюс) додається між третім та четвертим розрядом для зручності розмежування кілометрової та метрової складових відстані. Наприклад, км 43+274 позначає точку (проекцію точки на вісь прямого напрямку руху), яка знаходиться на автомобільній дорозі (вулиці) на відстані 43 274 м від її початку. У випадку, якщо лінійна прив'язка позначається відстанню меншою за 1 000 м, то в четвертому розряді завжди вказується 0. Наприклад, км 0+352.

Часовою системою відліку є Григоріанський календар.

Враховуючи той факт, що людський мозок до цього часу не навчився вільно оперувати з просторовими координатами перевіряння геопросторових даних рекомендується їх перевіряння здійснювати із застосуванням спеціалізованих програмних засобів.

Інформаційно-аналітична система **автоматизованого перевіряння та підготування даних для побудови цифрової моделі автомобільної дороги** (далі — Коректор треків) була розроблена на замовлення Державного агентства автомобільних доріг України у 2016 році. Головною метою Коректора треків є надання можливості перевіряння та коригування результатів робіт з визначення просторових координат автомобільних доріг загального користування державного значення (**рис. 4**) для вирішення наступних задач:

- виявлення помилок у визначенні просторових координат під час виконання польових і камеральних робіт, які неможливо відкоригувати в камеральних умовах, та визначення обсягів проведення повторної зйомки на окремих ділянках доріг;
- виявлення похибок визначення координат в межах точності зйомки, встановленої технічним завданням, та корегування цих похибок в плані та в поздовжньому профілі;
- визначення положення та параметрів горизонтальних кривих;
- визначення поздовжніх похилів;

— визначення остаточної довжини автомобільних доріг загального користування, просторові координати яких було визначено, та загальної довжини мережі автомобільних доріг загального користування.

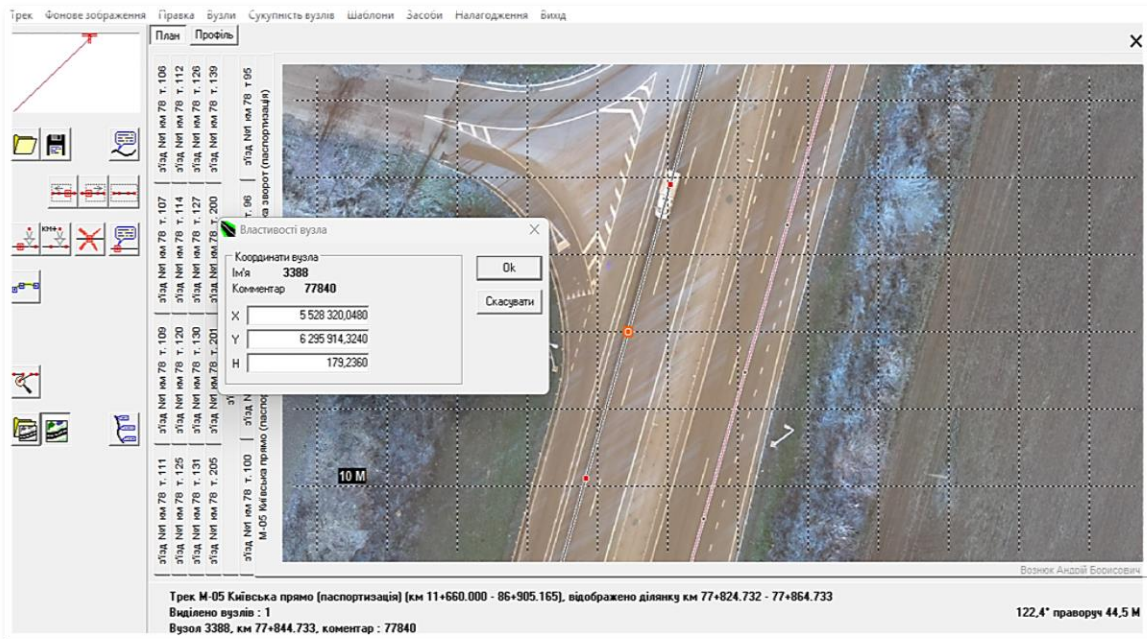


Рисунок 4 — Приклад роботи з Коректором треків

Вільна крос-платформна геоінформаційна система QGIS дозволяє користувачам створювати карти з безліччю шарів, використовуючи різні картографічні проєкції. Карти можуть бути зібрані в різні формати і використовуватися з різною метою (рис. 5). У системі QGIS карти можуть складатися з растрових або векторних шарів. Типовими для такого роду програмного забезпечення, векторні дані зберігаються як точка, лінія, полігон. Підтримуються різні види растрових зображень. Програмне забезпечення може виконувати геоприв'язування зображень.

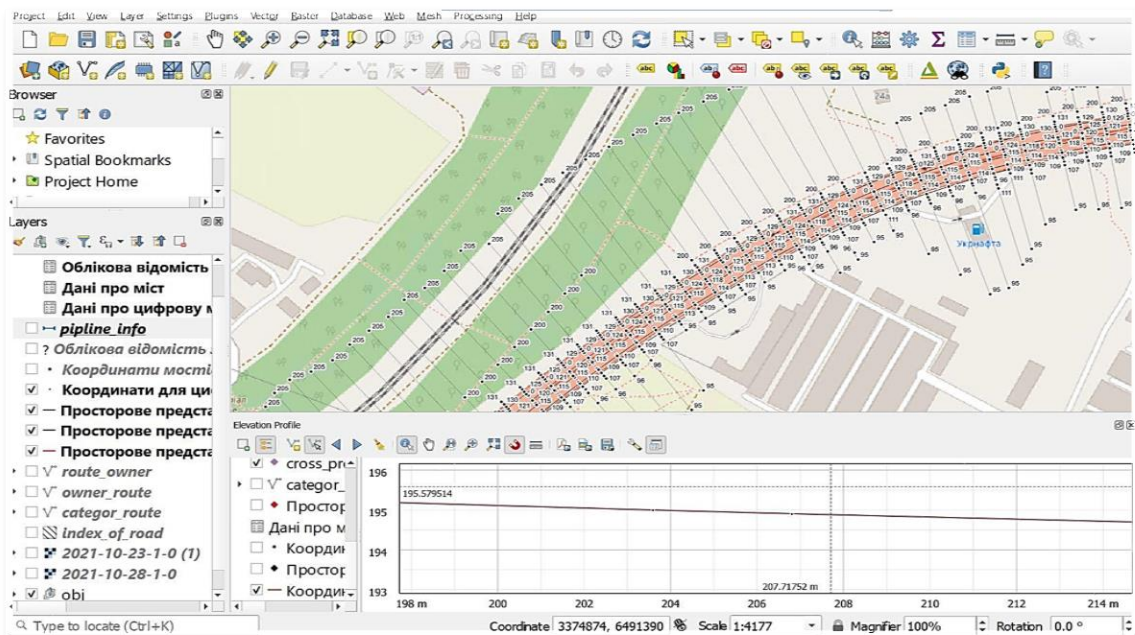


Рисунок 5 — Приклад роботи з QGIS

Інформаційно-аналітична система виявлення місць (ділянок) автомобільних доріг, які не відповідають вимогам сучасних транспортних потоків з безпеки руху та визначення причин невідповідності (далі — Safety Analysis) була розроблена на замовлення Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) у 2017 році. Головною метою цього інструменту є виявлення місць (ділянок) автомобільних доріг, які не відповідають вимогам сучасних транспортних потоків з безпеки руху та визначення причин цих невідповідностей (рис. 6). ПЗ «Safety Analysis» реалізує алгоритм розрахунку безпечних швидкостей руху транспортних потоків у певних дорожніх умовах, у тому числі з урахуванням видимості зустрічного транспорту та видимості на перехрестях [7].

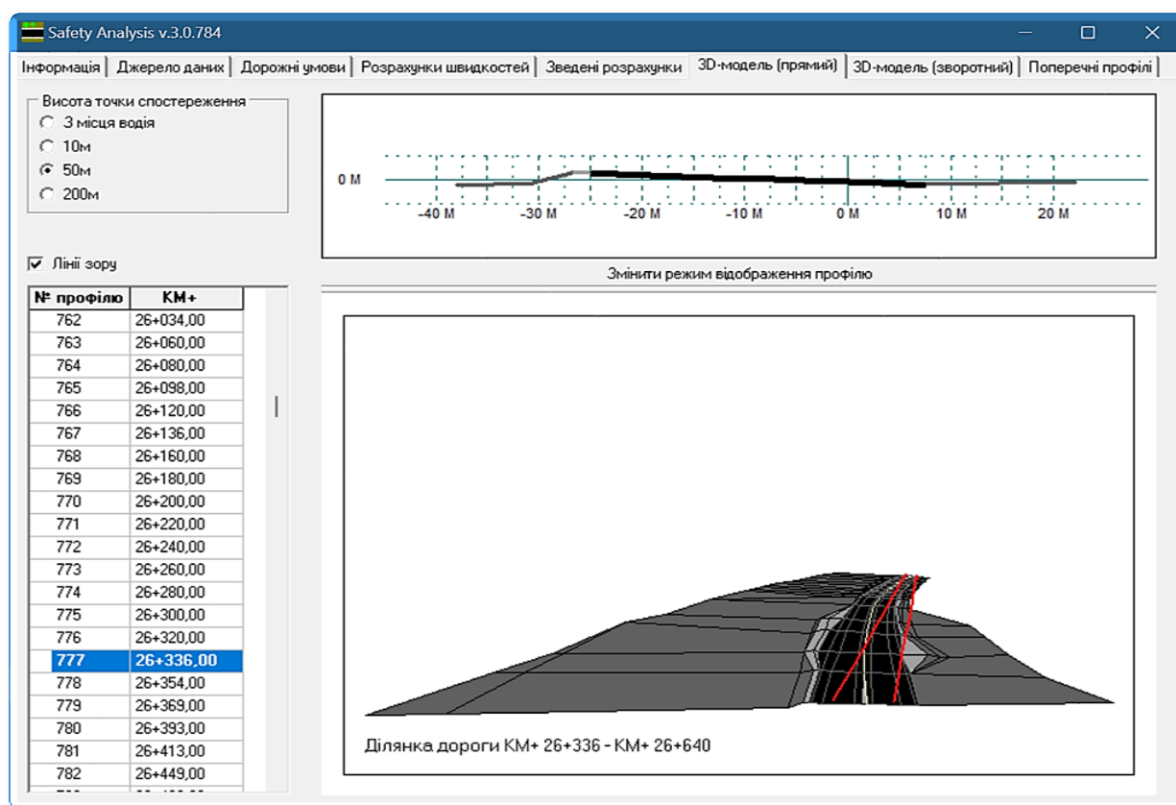


Рисунок 6 — Приклад роботи з Safety Analysis – сторінка «3D-модель (прямий[напрямок руху])» з відображенням поперечних профілів

Першочерговим етапом з перевіряння та аналізування наборів даних є їх порівняння з наборами даних про вісі прямого та зворотного напрямків руху відповідної дороги, загальну інформацію про які можна отримати на порталі «Дорожній геокалькулятор» (рис. 7) за посиланням <https://kmplus.restoration.gov.ua> (загальний доступ у воєнний час обмежено і надається за окремим запитом до Агентства відновлення).

За результатами цього етапу приймають рішення про оновлення наборів даних на порталі «Дорожній геокалькулятор», що, у свою чергу, приводить до уточнення лінійних прив'язок (км+), параметрів горизонтальних кривих, поздовжніх похилів тощо.

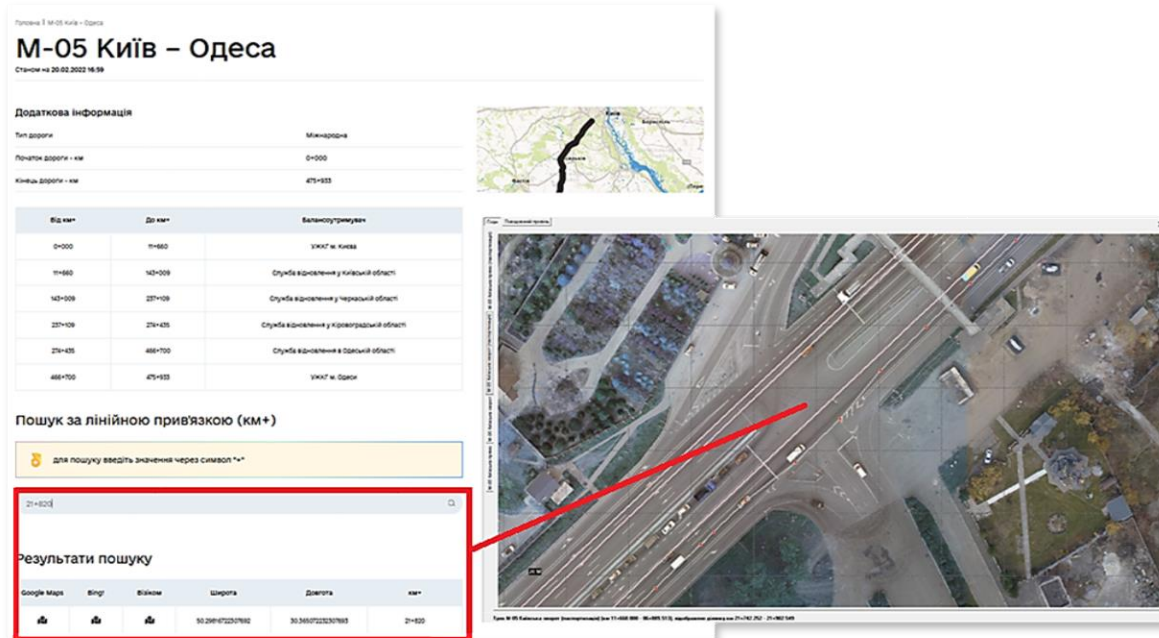


Рисунок 7 — Приклад роботи з порталом «Дорожній геокалькулятор» та Коректором треків

Виявлені під час перевіряння помилки можна умовно поділити на 3 групи: механічні, логічні та інтерпретаційні.

До **механічних** помилок віднесено передусім використання двох різних роздільників цілої та дробової частини числа (рис. 8).

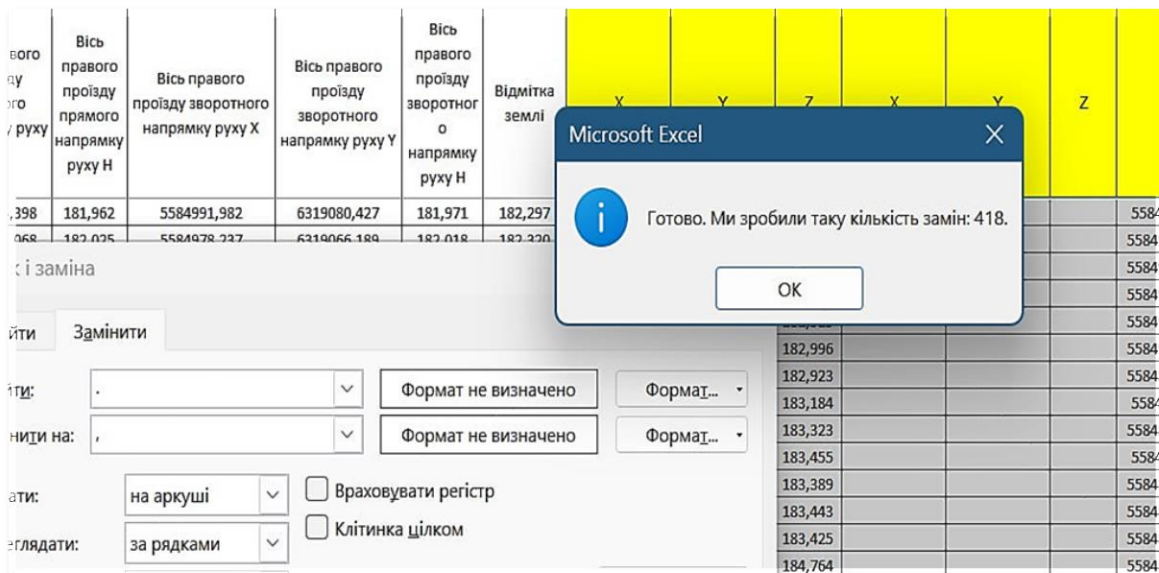


Рисунок 8 — Результати виконання запиту щодо приведення до єдиного роздільника цілої та дробової частини

В окремих випадках в наборах даних під час перевіряння виявляються «переплутані» місцями координати X та Y (рис. 9), що також потребує коригування.

	E	NR	NS	NT	NU	NV	NW	OD	OE	OF	OG	OH	OI
1		2209			1998			2508			2189		
2		130			131			139			200		
3	положенн я км+	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
13	11832	5584896,345	6318934,285	181,812	5584899,162	6318931,563	181,719	5584899,162	6318931,563	181,719	5584912,169	6318918,996	181,955
14	11860							5584873,901	6318916,579	182,875			
15	11870							5584868,743	6318907,658	183,018			
16	11892							5584849,9	6318895,823	183,056			
17	11915							5584837,576	6318875,817	183,285			
18	11929	5584823,891	6318868,613	183,072	5584824,558	6318867,969	182,998	5584824,558	6318867,969	183,298			
19	11940	5584816,374	6318860,92	183,16	5584817,04	6318860,276	183,04	5584817,04	6318860,276	183,344			
20	11960	5584802,395	6318846,616	183,329	5584803,062	6318845,972	183,198	5584803,062	6318845,972	183,398	5584823,453	6318826,27	183,023
21	11980	5584788,452	6318832,277	183,556	5584789,119	6318831,633	183,335	6318831,633	5584789,119	183,535	5584809,752	6318811,698	183,292
22	11994	5584778,382	6318821,921	183,677	5584779,049	6318821,277	183,304	6318821,277	5584779,049	183,504	5584799,855	6318801,174	183,486
23	12014	5584764,545	6318807,671	183,893	5584765,212	6318807,026	183,651	6318807,026	5584765,212	183,851	5584786,17	6318786,777	183,754
24	12040	5584746,689	6318789,198	184,269	5584747,356	6318788,553	183,903	6318788,553	5584747,356	184,103	5584768,239	6318768,377	184,102
25	12060	5584732,838	6318774,77	184,282	5584733,506	6318774,125	183,87	6318774,125	5584733,506	184,07	5584754,28	6318754,053	184,288
26	12080	5584718,988	6318760,342	184,75	5584719,656	6318759,697	184,464	6318759,697	5584719,656	184,664	5584740,322	6318739,73	184,433
27	12100	5584705,138	6318745,913	184,897	5584705,805	6318745,269	184,599	6318745,269	5584705,805	184,799	5584726,372	6318725,398	184,894
28	12120	5584691,167	6318731,601	185,023	5584691,834	6318730,958	184,801	6318730,958	5584691,834	185,021	5584712,443	6318711,045	184,788
29	12140	5584677,144	6318717,34	185,137	5584677,861	6318716,648	185,007	6318716,648	5584677,861	185,207	5584698,515	6318696,692	184,852
30	12160	5584663,215	6318702,993	185,171	5584664,419	6318701,83	185,005	5584664,419	6318701,83	185,465	5584684,599	6318682,352	185,182
31	12180	5584649,386	6318688,543	185,184	5584652,302	6318685,728	184,785	5584652,302	6318685,728	184,785	5584670,67	6318668	185,294
32	12200							5584638,921	6318670,848	185,786	5584656,742	6318653,647	185,269
33	12220	5584622,313	6318659,081	185,304	5584623,739	6318657,704	185,113	5584623,739	6318657,704	185,413	5584642,88	6318639,23	185,046
34	12240	5584608,753	6318644,373	185,8	5584610,183	6318647,993	185,278	5584610,183	6318647,993	185,278	5584629,229	6318624,609	185,139
		tests	calculated	processed	initial								

Рисунок 9 — Приклад помилки заповнення полів

До логічних помилок віднесено порушення послідовності внесення поперечних профілів, що, у свою чергу, призводить до спотворення окремих структурних ліній (рис. 10).

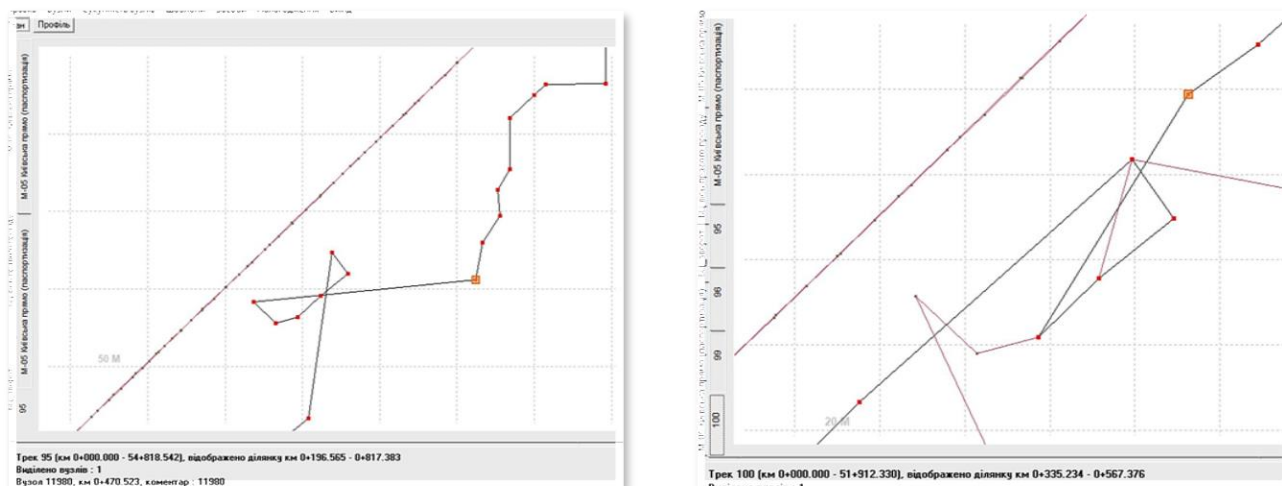


Рисунок 10 — Помилки послідовності внесення координат

До інтерпретаційних помилок відносять рішення постачальника наборів даних описати той чи інший конструктивний елемент дороги за допомогою невластивого набору опорних точок (табл. 1).

До загальних рекомендації постачальникам наборів даних можна віднести наступні:

- точки 112, 127, 116 та 123 повинні формувати масиви суцільних структурних ліній від початку дороги до її кінця, без розривів;
- висотна позначка 107 (108) завжди повинна бути нижча за 109, те саме справедливо і для пари 131(132) – 130;
- структурні лінії можуть зливатися в одну, але в жодному випадку не можуть перетинатися (рис. 11).



Рисунок 11 — Приклад виявлення неприпустимих перетинів структурних ліній 129 та 139

Слід відзначити, що на підставі набору даних цифрової моделі геометричні розміри земляного полотна та проїзної частини можуть бути розраховані в автоматичному режимі з використанням навіть наявних засобів електронних таблиць.

Щоб продемонструвати правдивість цього твердження, фахівцями ДП «НІРІ» була розроблена розрахункова модель на базі електронних таблиць Excel, яка складається з наступних частин:

- вкладка «initial» – містить початкові дані обстежень (рис. 12);
- вкладка «processed» – містить результати опрацювання початкових даних, які використовуються для будування поперечних профілів (рис. 13);
- вкладка «calculated» – містить результати розрахунку геометричних розмірів земляного полотна та проїзної частини (рис. 14);
- вкладка «tests» – містить результати окремих перевірок, які дозволяють пересвідчитись у відсутності помилок під час збирання та оброблення даних (рис. 15).

Рисунок 12 — Загальний вигляд розрахункової моделі, вкладка «initial»

Figure 13 shows the 'processed' tab of the calculation model. The spreadsheet displays a grid of data with columns labeled A through AC and rows 1 through 24. The formula bar at the top shows the formula: $\text{=IF(initialIKO19=0; \$AD19; initialIKO19)}$. The data includes coordinates (X, Y, Z) and various calculated values.

Рисунок 13 — Загальний вигляд розрахункової моделі, вкладка «processed»

Figure 14 shows the 'calculated' tab of the calculation model. The spreadsheet displays a grid of data with columns labeled A through M and rows 1 through 24. The formula bar at the top shows the formula: $\text{Ширина внутрішньої ПШС праворуч}$. The data includes various calculated values and formulas.

Рисунок 14 — Загальний вигляд розрахункової моделі, вкладка «calculated»

Figure 15 shows the 'tests' tab of the calculation model. The spreadsheet displays a grid of data with columns labeled A through O and rows 1 through 30. The formula bar at the top shows the formula: $\text{=IFERROR(MAX(processedIBD24;processedIBG24;processedIBJ24;processedIQ24;processedIBM24;processedI...)}$. The data includes various calculated values and formulas.

Рисунок 15 — Загальний вигляд розрахункової моделі, вкладка «tests»

За допомогою розрахункової моделі було підтверджено адекватність даних паспортизації, продемонстровано принципи «згортання» цифрової моделі, напрацьовано методологію механістичного та логічного перевіряння даних.

Висновки

У результаті проведеного дослідження встановлено, що за остання десятиліття змінилися підходи до виконання робіт, апаратні та програмні засоби. Це, в свою чергу, призвело до втрати актуальності вимог СОУ 42.1-37641918-038:2016 та СОУ 42.1-37641918-122:2014.

Оброблення величезних масивів даних та подальша робота з ними як в Службах відновлення в областях, так і в Агентстві відновлення, очевидно, виявить помилки та/або неточності, які неможливо встановити на даному відрізку часу з використанням наявних інструментів, засобів та підходів. Крім того, слід мати на увазі фактори особистого сприйняття та/або інтерпретації даних та/або інформації певним фахівцем, які значним чином залежать від освітнього рівня, професійного стажу та набутого досвіду тощо.

Результати дослідження лягли в основу проєктів національних стандартів:

- ДСТУ XXXX-1:20XX «Геоінформаційна система автомобільних доріг загального користування. Частина 1. Склад, зміст та вимоги до наборів даних»;
- ДСТУ XXXX-2:20XX «Геоінформаційна система автомобільних доріг загального користування. Частина 2. Вимоги до збирання даних»;
- ДСТУ XXXX-3:20XX «Геоінформаційна система автомобільних доріг загального користування. Частина 3. Вимоги до відображень».

Список літератури

1. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках, Постанова Кабінету міністрів України від 27 грудня 2024 р. № 1550 // База даних Законодавство України / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-%D0%BF> (дата звернення: 01.02.2025).
2. Вознюк А. Б., Гуков М. І. До проблеми навчання фахівців з інформаційного забезпечення дорожнього господарства. Міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні підходи у відновленні транспортної інфраструктури в особливих умовах воєнного стану: виклики та перспективи». Збірник тез доповідей. Київ, 2024. С. 447–449. ISBN 978-966-632-328-9(Online), DOI: <https://doi.org/10.33744/978-966-632-328-9-2024-3>.
3. Про національну інфраструктуру геопросторових даних, Закон України від 13 квітня 2020 р. № 554-20 // База даних Законодавство України / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20> (дата звернення: 01.02.2025).
4. Про затвердження Порядку функціонування національної інфраструктури геопросторових даних, Постанова Кабінету Міністрів України від 26 травня 2021 р. № 532 // База даних Законодавство України / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/532-2021-%D0%BF> (дата звернення: 01.02.2025).
5. СОУ 42.1-37641918-038:2016 Паспорт автомобільної дороги. Київ. 2016, 34 с. Інформація та документація).
6. Деякі питання застосування геодезичної системи координат, Постанова Кабінету Міністрів України від 22 вересня 2004 р. № 1259 // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1259-2004-%D0%BF> (дата звернення: 01.02.2025).
7. Вознюк А. Б. Удосконалення методу прогнозування аварійно-небезпечних ділянок на мережі автомобільних доріг – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 «Транспортні системи» (275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)) Національний транспортний університет Міністерства освіти і науки України, Київ, 2021.

References

1. Pro skhvalennia Natsionalnoi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku ta zatverdzhennia operatsiinoho planu zakhodiv z yii realizatsii u 2025-2027 rokakh (On approval of the National Transport Strategy of Ukraine for the period until 2030 and approval of the Action plan of measures for its implementation in 2025-2027), Regulation of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 27 December 2024 p. No. 1550 // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-%D0%BF> (Last accessed: 01.02.2025) [in Ukrainian].
2. Vozniuk A. B., Hukov M. I. Do problemy navchannia fakhivtsiv z informatsiinoho zabezpechennia dorozhnogo hospodarstva. Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Innovatsiini pidkhody u vidnovlenni transportnoi infrastruktury v osoblyvykh umovakh voiennoho stanu: vyklyky ta perspektyvy». Zbirnyk tez dopovidei (On the problem of training information support specialists for road management. International scientific and practical conference “Innovative approaches to the restoration of transport infrastructure in special conditions of martial law: challenges and prospects”. Collection of abstracts). K.: NTU, 2024. P. 447–449. ISBN 978-966-632-328-9(Online), DOI: <https://doi.org/10.33744/978-966-632-328-9-2024-3> [in Ukrainian].
3. Pro natsionalnu infrastrukturu heoprostorovykh danykh (On the national geospatial data infrastructure), Law of Ukraine of 13 April 2020 No. 554-20 // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20> (Last accessed: 01.02.2025) [in Ukrainian].
4. Pro zatverdzhennia Poriadku funktsionuvannia natsionalnoi infrastruktury heoprostorovykh danykh (On approval of the Procedure for the functioning of the national geospatial data infrastructure), Regulation of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 26 May 2021 No. 532 // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/532-2021-%D0%BF> (Last accessed: 01.02.2025) [in Ukrainian].
5. SOU 42.1-37641918-038:2016 Pasport avtomobilnoi dorohy (Road passport) [in Ukrainian].
6. Deiaki pytannia zastosuvannia heodezychnoi systemy koordynat (Some issues of applying the geodetic coordinate system), Regulation of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 22 September 2004 No. 1259 // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1259-2004-%D0%BF> (Last accessed: 01.02.2025) [in Ukrainian].
7. Vozniuk A. B. Udoskonalennia metodu prohnozuvannia avariino-nebezpechnykh dilianok na merezhi avtomobilnykh dorih (Improving the method of forecasting hazardous locations on the road network) – As a manuscript. The dissertation for a degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.22.01 “Transport systems” (275 Transport technologies (on motor transport)) National transport university of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021 [in Ukrainian].

Andrii Vozniuk, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-7611-9652>

Mykhailo Dulia, <https://orcid.org/0000-0002-1916-8642>

State Enterprise “National Institute for Development Infrastructure” (SE “NIDI”), Kyiv, Ukraine

PRACTICAL ASPECTS OF VALIDATING AND ANALYZING PUBLIC ROADS GEOSPATIAL DATASETS

Abstract

Introduction. This article aims to outline the practical aspects of verifying and analysing geospatial data created by various state and local government authorities, economic agents of all forms of ownership on a single geodetic and cartographic basis according to single technical regulations, based on the experience

gained in performing work on collecting data of roads, road structures, road service facilities, traffic flows, natural and man-made phenomena, and to establish requirements for data portrayal.

Problems. The logistics of the country's defence capability, the efficiency of industry and agriculture, ensuring an adequate level of communication in society, as well as post-war reconstruction depend on the network of public roads of state importance, which was destroyed because of the full-scale invasion of the Russian Federation. Given the quantitative and qualitative changes that have occurred in the transport sector of Ukraine in recent years, there is an increasingly urgent need to conduct research that will allow, at least, finding out the actual parameters of modern transport flows and their impact on the road network and transporting facilities

Purpose. To generalize and systematize the acquired experience in working with geospatial data sets on public roads.

Materials and methods. Methods of complex and systematic analysis, abstract-logical, graphic, statistical, computational-constructive and comparative analyses using survey research data.

Results. A methodology for analysing and verifying geospatial data sets during the verification of a road passport has been developed.

Conclusions. Solving issues and tasks of planning the development of transport networks and managing transport flows is impossible without mathematical modelling. In turn, any model requires constant development for properly reproducing the behaviour of the modelled system, especially such a complex, multifactorial and time- and space-variable environment as transport flow. Transport network and transport flow survey data play an important role in model calibrating.

Keywords: analysis, geo data, method, model, road, road passport.

УДК 72.03:624.01:726.5

Кельба С. С., канд. арх., доц., <https://orcid.org/0009-0006-0844-8653>Ященко О. Ф., канд. арх., проф., <https://orcid.org/0000-0001-6181-6597>*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна*

**ФОРМОТВОРЕННЯ І МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ
ОБ'ЄМНО-ПРОСТОРОВИХ РІШЕНЬ У САКРАЛЬНОМУ БУДІВНИЦТВІ
ПІД ВПЛИВОМ СУЧАСНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ТА БУДІВЕЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
І МЕТОДИК ЇХ РОЗРАХУНКУ**

Анотація

Вступ. У статті розглянуто проблему проектування складних архітектурних форм у сучасному сакральному будівництві з акцентом на конструктивну реалізованість та інженерно-розрахункові аспекти. Розкрито значення будівельних конструкцій як ключового чинника, що дозволяє втілювати нетипові об'ємно-просторові рішення в умовах реального будівництва. Підкреслено актуальність комплексного підходу до формоутворення, що охоплює як архітектурну концепцію, так і точний інженерний аналіз.

Проблематика. Брак уніфікованих методик моделювання, розрахунку та нормативного регламенту для проектування складних конструктивних систем призводить до труднощів у практичній реалізації інноваційних архітектурних форм. Це особливо актуально у сфері сакральної архітектури, де візуальна експресія потребує конструктивної обґрунтованості.

Мета статті. Висвітлення перспектив сучасного конструювання складних форм на прикладі сакральних будівель та обґрунтування потреби в оновленні розрахункових підходів, типологій конструкцій і нормативної бази.

Матеріали і методи. Для дослідження використано метод аналізу реалізованих архітектурно-конструктивних рішень у сфері сакрального будівництва, інструменти параметричного та геометричного моделювання (Grasshopper, Rhino), програмні засоби для FEM-розрахунку (LIRA-SAPR, SCAD Office, Karamba3D), огляд чинних нормативних документів та порівняльні інженерні розрахунки. Розглянуто типологію сучасних конструкцій та принципи їх адаптації до складних форм.

Результат. На прикладі порівняння традиційної та параметричної купольної конструкції доведено вплив геометрії на напружено-деформований стан та матеріаломісткість. Запропоновано підходи до панелізації, розробки вузлів з'єднання, оптимізації армування та врахування температурно-деформаційних впливів. Встановлено ключові обмеження чинної нормативної бази та подано пропозиції щодо її оновлення.

Висновки. Складні форми в архітектурі неможливо реалізувати без глибокого інженерного аналізу та міждисциплінарної співпраці. Будівельні конструкції нового покоління дозволяють поєднати естетику, довговічність та технологічність, однак потребують перегляду нормативних і методичних засад проектування. Отримані висновки можуть бути корисними для проектувальників, науковців і розробників сучасних будівельних норм.

Ключові слова: будівельні конструкції, вузли з'єднання, геометризація, нормативна база, оболонка, параметричне моделювання, розрахунок, сакральна архітектура, складні форми, FEM-аналіз.

Вступ

У сучасній архітектурі спостерігається зростання інтересу до складних геометричних форм, особливо в контексті проектування сакральних споруд, які традиційно виконують не лише функціональну, але й глибоко символічну роль. Сакральна архітектура в усі історичні епохи була

каталізатором розвитку будівельних конструкцій і технічних рішень, які дозволяли реалізувати інноваційні просторові образи — від масивних куполів до струнких оболонок і гіперболічних форм.

Із появою нових цифрових інструментів моделювання архітектори отримали безпрецедентні можливості у формоутворенні, однак реалізація таких форм потребує адекватних інженерних підходів, методів розрахунку та новітніх конструктивних рішень. Значна частина складних форм не може бути реалізована з використанням традиційних нормативів без суттєвих адаптацій, що вимагає перегляду усталених підходів до проектування, зокрема в частині геометричного аналізу, вибору матеріалів і конструктивних систем.

У зв'язку з цим актуальним є вивчення впливу будівельних конструкцій на можливість моделювання складних форм, а також розроблення ефективних підходів до їх конструктивної адаптації, розрахунку та реалізації. Це особливо важливо в умовах модернізації сакрального будівництва, яке поєднує глибоку культурну традицію з інженерними викликами XXI століття.

Метою статті є висвітлення перспектив використання сучасних будівельних конструкцій у моделюванні складних форм та обґрунтування необхідності удосконалення підходів до їхнього конструювання і розрахування на прикладі сакральних об'єктів.

Виклад основного матеріалу

Ретроспектива розвитку конструкцій у сакральній архітектурі

Історичний розвиток сакральної архітектури тісно пов'язаний з еволюцією будівельних конструкцій, адже саме культові споруди найчастіше ставали полігоном для апробації інженерних інновацій. З часів античності й до епохи готики храмові комплекси вирізнялися масштабністю, складною просторовою організацією та прагненням до вертикальності, що вимагало пошуку ефективних конструктивних схем.

Одними з найдавніших систем були **масивні несучі стіни**, які сприймали вагу перекриттів і склепінь, як-от у мегалітичних святилищах або ранньохристиянських базиліках. У Візантії набули поширення **купольні конструкції**, реалізовані на підпружних арках або пандативах, які дозволяли перекривати центральні об'єми без колон. Прикладом є собор Святої Софії в Константинополі, де інженерна думка поєднала форму й конструкцію в єдине ціле.

Середньовічна **готика** стала новим етапом конструктивної еволюції: застосування аркбутанів, стрілчастих арок і нервюрних склепінь дозволило створити легкі, вертикально орієнтовані конструкції з розвантаженням основних стін. Конструкція перетворилася на каркас, а заповнення стін стало другорядним — передумова сучасного принципу конструктивної раціональності.

У новий час, особливо в період модерну та міжвоєнної доби, почали застосовуватись **залізобетонні склепіння**, що уможливило формоутворення гнучкіших, плавних об'ємів (наприклад, роботи Гауді або храму Домініка Перра у Франції). Водночас, багато інженерів і архітекторів експериментували зі **складеними оболонками, гіперболічними параболоїдами, тонкостінними куполами**, які поєднували малі товщини із значними прольотами.

Таким чином, від масивних стін до інженерно витончених просторових оболонок, сакральна архітектура демонструє тісний зв'язок форми та конструкції. Історичний досвід показує, що складні форми реалізовувалися лише за умови наявності відповідної інженерної бази та конструктивної логіки. Саме ці принципи стають фундаментальними і в сучасному проектуванні складних форм, де форма диктує потребу в нових підходах до її реалізації.

Типологія сучасних конструкцій для складних форм

Із розвитком цифрових інструментів проектування та появою нових будівельних матеріалів відкрились принципово нові можливості для формоутворення в архітектурі, особливо в сакральному будівництві, де завжди існувала потреба у виразній, символічній формі. Складні геометрії (подвійно вигнуті поверхні, скульптурні куполи, багатогранні об'єми) потребують відповідної конструктивної підтримки, що забезпечується спеціалізованими типами несучих систем.

Серед найбільш поширених сучасних конструктивних рішень для складних форм можна виділити:

- **Оболонкові конструкції** — тонкостінні криволінійні системи, які працюють переважно на мембранні напруження (наприклад, куполи з монолітного або збірного бетону). Завдяки подвійній кривині забезпечують високу жорсткість при мінімальній товщині.
- **Просторові ферми** — сталеві або комбіновані конструкції, що утворюють жорсткий об'єм із мінімальною масою. Використовуються для створення легких покриттів зі складною конфігурацією, зокрема у великих храмах або конференц-залах при них.
- **Клеснодерев'яні арки та оболонки** — ефективне рішення для складних форм при збереженні природності матеріалу. Завдяки шаруватій структурі матеріалу забезпечується висока несуча здатність та гнучкість формоутворення.
- **Мембранні та натяжні системи** — легкі текстильні або плівкові матеріали, які застосовуються як покриття для зовнішніх конструкцій або павільйонів при храмах. Забезпечують високу естетику при малій вазі, але потребують точного попереднього натягнення та ретельного розрахунку вітрового навантаження.
- **Гібридні конструкції** — комбінація сталевих, бетонних, дерев'яних і композитних елементів, що дозволяє інтегрувати кілька конструктивних принципів в одному об'єкті. Такі системи особливо актуальні для адаптації форми до технічних умов реалізації.

Прикладом сучасного вдалого використання складних конструкцій у сакральному будівництві є церква Святого Франциска в місті Вітторія (Іспанія), де застосовано гіперболічне покриття з попередньо напруженого бетону, та церква Святого Марка в Ліоні (Франція), побудована із використанням склеєної деревини та сталевих ферм.

Загальною тенденцією є поступовий перехід від суто декоративного до **інженерно обгрунтованого формоутворення**, де форма не лише візуально вражає, а й відповідає реальній механічній поведінці конструкції.

Розрахунок і моделювання складних форм

Складні архітектурні форми, що дедалі частіше з'являються в сучасному сакральному будівництві, потребують високоточного інженерного аналізу. У порівнянні з традиційними симетричними об'ємами, де навантаження передаються рівномірно і можуть бути оцінені спрощеними методами, складні форми викликають **нерівномірні розподіли напружень**, поєднання локальних ефектів та складну поведінку конструкції при експлуатаційних і особливих навантаженнях (вітер, сніг, сейсміка).

Геометричне моделювання

Першим етапом проектування є **побудова геометричної моделі**, яка повинна бути не лише архітектурно коректною, але й аналітично придатною до розрахунку. Для цього використовують параметричні інструменти, зокрема **Grasshopper** для Rhino, **Dynamo** для Revit, які дозволяють змінювати форму моделі на основі вихідних параметрів (радіусів кривини, кроку панелей, кута нахилу тощо). Це значно спрощує процес оптимізації складних об'ємів ще до розрахунків.

Інженерний аналіз (FEM)

Основою для визначення поведінки складних конструкцій є **метод скінченних елементів (FEM)**, що застосовується в програмах:

- **SCAD Office, LIRA-SAPR, Ansys** — для детального розрахунку напружень, переміщень, стабільності;
- **Karamba3D** — плагін для Grasshopper, який дозволяє проводити попередній аналіз ще на етапі формоутворення;
- **Tekla Structures, RFEM** — для моделювання просторових металевих і змішаних систем.

Розрахунок охоплює:

- **напружено-деформований стан** оболонок і рам;
- визначення **вузлових зусиль** та ліній впливу;

- **вітрові та снігові навантаження**, моделі вітрового обтікання (ДБН В.1.2-2:2006 та Eurocode 1);

- **власну вагу та попереднє напруження** для криволінійних оболонок.

Базовий приклад розрахунку

У **табл. 1** наведено порівняльну характеристику конструктивних параметрів традиційної сферичної оболонки та параметричної гіпар-форми купольного покриття для сакральної споруди з однаковим діаметром основи (20 м).

Таблиця 1

Порівняння параметрів двох типів купольних конструкцій

Параметр	Традиційна сферична оболонка	Параметрична гіпар-форма
Товщина бетону, мм	250	180
Макс. горизонтальне зусилля, кН	260	190
Макс. вертикальне навантаження, кН	540	470
Розподіл напружень	Радіально симетричний	Анізотропний
Вага конструкції, т	95	68

Отримані результати свідчать, що параметричне формоутворення дозволяє зменшити матеріаломісткість конструкції при збереженні її міцності. Водночас ускладнюється розрахунок вузлів і фундаментів через нерівномірність навантажень.

Моделювання складних форм вимагає інтеграції архітектурного і конструктивного підходів на всіх етапах проєктування. Використання FEM-аналізу та параметричних платформ дозволяє ефективно передбачити поведінку складних конструкцій, оптимізувати їх геометрію та забезпечити відповідність вимогам міцності, жорсткості і стійкості.

Конструктивна адаптація складних форм

Одним з ключових викликів у реалізації складних архітектурних форм є їх **перехід від ідеальної цифрової геометрії до фізично досяжної будівельної конструкції**. Цей процес потребує особливих підходів до структуризації поверхонь, проєктування вузлів, вибору матеріалів та технологій зведення.

Геометризація форми

Щоб забезпечити можливість виготовлення та монтажу складних оболонок або фасадів, застосовується **сіткова дискретизація**. Найбільш поширені способи:

- **трикутна (triangulation)** — забезпечує геометричну стабільність та є базовою для структур типу geodesic dome;
- **чотирикутна (quad-panelization)** — дозволяє використовувати плоскі або циліндричні елементи;
- **радіальна чи ізотропна** — підходить для купольних або хвилових структур.

Тип і крок сітки обираються з урахуванням матеріалу, жорсткості елементів, розмірів покриття, радіуса кривизни та можливостей монтажу.

Передача навантаження

У складних формах передача навантажень відбувається не лише вертикально, як у звичайних каркасах, а **по складних просторових траєкторіях**. Наприклад:

- **у подвійно вигнутих оболонках** навантаження передається через мембранні напруження до підпірних елементів;
- **у натяжних структурах** — через кабелі до анкерних вузлів або колон;
- **у склепіннях** — через стиск до опор, іноді з додатковим розпором, що вимагає влаштування обв'язки чи тяг.

Конструктивна модель має забезпечити **неперервність силових ліній**, що є особливо критично для тонкостінних і масштабних форм.

Вузли з'єднання та монтаж

Особливу складність становлять **вузли кріплення** — вони мають не лише з'єднувати елементи, а й витримувати складну комбінацію зусиль. Вузли проектуються з урахуванням:

- типу матеріалів (сталь-сталь, дерево-метал, бетон-композит);
- потреби в допусках на деформації;
- температурних розширень;
- зручності монтажу (болтові, зварні, клеєві, шарнірні з'єднання).

Часто застосовуються **індивідуально розроблені вузли**, виготовлені з використанням CNC або 3D-друку з металу.

Армування та попереднє напруження

У бетонних оболонках зі складною геометрією особливого значення набуває **оптимізація армування**. Використовуються:

- **двонаправлені арматурні сітки** з адаптацією до радіальних і тангенціальних зусиль;
- **стрижневе армування з прив'язкою до ліній впливу**;
- **композитна арматура** для зменшення маси (склопластик, базальт);
- **попереднє напруження** (кабелями або арматурою), що дозволяє зменшити товщину та тріщинуватість.

Крім того, у проектуванні враховуються **температурні та усадкові деформації**, для компенсації яких передбачаються **деформаційні шви**, компенсаційні стики та інші заходи.

Практичні виклики та нормативно-розрахункове забезпечення

Незважаючи на стрімкий розвиток програмного забезпечення та матеріалів, **сучасне проектування складних форм** у сакральній архітектурі часто стикається з бар'єрами, пов'язаними із застосуванням чинної нормативної бази. У переважній більшості випадків існуючі нормативні документи — зокрема ДБН В.1.1-7:2016, ДБН В.2.6-98:2009, ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012 — не враховують специфіки проектування складних оболонкових чи гібридних систем, особливо коли йдеться про нестандартну геометрію, параметричне моделювання чи комбіновані матеріали.

Обмеження чинних нормативів

- **Типові конструктивні схеми, наведені в нормативній документації, розраховані на прямолінійні, симетричні системи** з відносно простими умовами навантаження.
- **Методи розрахунку**, що базуються на спрощених аналітичних моделях (балки, рами, стінки), не дозволяють адекватно оцінити напружено-деформований стан у подвійно вигнутих чи адаптивних оболонках.
- **Відсутність алгоритмів врахування попередньо напружених структур, комбінованого армування, гібридних матеріалів** (бетон + композит, дерево + сталь) у більшості нормативів.

Це змушує проектувальників використовувати **досвід аналогів**, експериментальні дані або результати комп'ютерного моделювання без повного нормативного забезпечення.

Необхідність оновлення підходів

Сьогодні на перший план виходить потреба у:

- **розробленні нових типових рішень і конструктивних вузлів** для оболонкових, натяжних і гібридних систем;
- **включенні FEM-аналізу як обов'язкового етапу розрахунку** нестандартних архітектурних форм;
- **оновленні розділів нормативів щодо динамічних, сейсмічних і температурних впливів** для складних систем;
- **введенні критеріїв прийнятності моделей**, створених у параметричних середовищах (наприклад, перевірка коректності геометрії, відсутність сингулярностей, раціональність панелізації).

Крім того, перспективним є розширення нормативної бази на основі **європейських (Eurocode)** та американських (ACI, ASCE) підходів, які вже містять положення щодо просторових оболонки, напружених мембран, адаптивних структур.

Міждисциплінарний підхід

Складна форма — це не лише архітектура або інженерія, а їх синтез. Реалізація подібних проєктів потребує **командної роботи**:

- **архітекторів**, що генерують концепцію;
- **конструкторів**, які забезпечують стійкість і реалізованість;
- **розробників цифрових моделей**, які трансформують геометрію у дані для розрахунку й виробництва.

Саме таке поєднання знань і дозволяє адаптувати архітектурні ідеї до будівельної практики, забезпечуючи безпечність і економічну доцільність реалізації складних форм.

Висновки

Будівельні конструкції відіграють ключову роль у реалізації складних архітектурних форм, зокрема в сакральному будівництві, де архітектурна експресія тісно пов'язана з конструктивною раціональністю. Сучасні матеріали, цифрові технології моделювання та вдосконалені методи розрахунку дозволяють не лише реалізовувати нетипові просторові форми, а й робити це ефективно з точки зору експлуатаційних характеристик і витрат ресурсів.

У ході аналізу встановлено, що для реалізації складних форм необхідна тісна взаємодія геометрії, матеріалів, конструктивної логіки та розрахункової моделі. Традиційні підходи до проєктування потребують адаптації, зокрема через використання FEM-аналізу, параметричного моделювання та інструментів геометричної дискретизації. Успішна конструктивна адаптація складних форм передбачає опрацювання вузлів, панелізації, передачі навантажень та температурно-деформаційних ефектів.

Наявні будівельні нормативи обмежено охоплюють можливості сучасного формоутворення, що потребує актуалізації методичних підходів, оновлення нормативної бази та інтеграції міждисциплінарного проєктного процесу.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на формалізацію адаптивних розрахункових схем, типізацію вузлів для складних форм, а також на розвиток нормативно-технічних рішень для реалізації інноваційних конструкцій у сакральній архітектурі.

Список літератури

1. ДБН В.1.1-7:2016. Навантаження і впливи. Київ: Мінрегіон України, 2016. 89 с. (Інформація та документація).
2. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 150 с. (Інформація та документація).
3. ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012. Настанова з проєктування конструкцій з використанням композитної арматури. Київ: Мінрегіон України, 2013. 112 с. (Інформація та документація).
4. Killian A., Khemlani L. Computational design and BIM integration in modern architecture. *International Journal of Architecture and Computing*. 2019. Vol. 17(2). P. 123–142. DOI: <https://doi.org/10.1260/1478-0771.17.2.123>.
5. Пархоменко І. О., Носенко С. В. Параметричне моделювання складних форм у контексті сучасної архітектури. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2021. № 2. С. 45–52.
6. Маковецький С. М. Конструктивні системи сучасних будівель: навч. посіб. Львів: ЛНАУ, 2015. 296 с.
7. Williams C.J.K. Geometry of structure: from mathematics to architecture. *Nexus Network Journal*. 2001. Vol. 3(1). P. 75–85. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00004-001-0005-5>.
8. Романенко І. А., Гаврилюк А. В. Проєктування оболонкових конструкцій складної геометрії. *Архітектура та сучасність*. 2020. № 27. С. 33–39.

9. Шевченко Л. М., Лещенко А. С. Інженерна геометрія у моделюванні архітектурних форм. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. 2018. № 4. С. 21–28.
10. Karamba3D Documentation. URL: <https://www.karamba3d.com/documentation/> (дата звернення: 08.04.2025).

References

1. DBN V.1.1-7:2016. Navantazhennia i vplyvy (Loads and actions). Kyiv: Minregion of Ukraine, 2016. 89 p. [in Ukrainian].
2. DBN V.2.6-98:2009. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia (Building structures. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions). Kyiv: Minregionbud of Ukraine, 2010. 150 p. [in Ukrainian].
3. DSTU-N B V.2.6-185:2012. Nastanova z proiektuvannia konstruktsii z vykorystanniam kompozytnoi armatury (Guidelines for the design of structures using composite reinforcement). Kyiv: Minregion of Ukraine, 2013. 112 p. [in Ukrainian].
4. Killian A., Khemlani L. Computational design and BIM integration in modern architecture. *International Journal of Architecture and Computing*. 2019. Vol. 17(2). P. 123–142. DOI: <https://doi.org/10.1260/1478-0771.17.2.123> [in English].
5. Parkhomenko I. O., Nosenko S. V. Parametrychne modeliuvannia skladnykh form u konteksti suchasnoi arkhitektury (Parametric modelling of complex forms in the context of modern architecture). *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*. 2021. No. 2. P. 45–52 [in Ukrainian].
6. Makovetskyi S. M. Konstruktyvni systemy suchasnykh budivel (Structural systems of modern buildings): Textbook. Lviv: LNAU, 2015. 296 p. [in Ukrainian].
7. Williams C.J.K. Geometry of structure: from mathematics to architecture. *Nexus Network Journal*. 2001. Vol. 3(1). P. 75–85. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00004-001-0005-5> [in English].
8. Romanenko I. A., Havryliuk A. V. Proiektuvannia obolonkhovykh konstruktsii skladnoi heometrii (Design of shell structures with complex geometry). *Arkhitektura ta suchasnist*. 2020. No. 27. P. 33–39 [in Ukrainian].
9. Shevchenko L. M., Leshchenko A. S. Inzhenerna heometriia u modeliuvanni arkhitekturnykh form (Engineering geometry in modelling of architectural forms). *Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy*. 2018. No. 4. P. 21–28. [in Ukrainian].
10. Karamba3D Documentation. URL: <https://www.karamba3d.com/documentation/> (Last accessed: 08.04.2025) [in English].

Alexei Yaschenko, Ph.D. in Architecture, Prof., <https://orcid.org/0000-0001-6181-6597>

Serhii Kelba, Ph.D. in Architecture, Assoc. Prof., <https://orcid.org/0009-0006-0844-8653>

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

FORM GENERATION AND MODELLING OF COMPLEX SPATIAL SOLUTIONS IN SACRAL CONSTRUCTION UNDER THE INFLUENCE OF MODERN STRUCTURAL AND BUILDING TECHNOLOGIES AND CALCULATION METHODOLOGIES

Abstract

Introduction. The article addresses the issue of designing complex architectural forms in modern sacred architecture, with a focus on structural feasibility and engineering analysis. It highlights the importance of building structures as a key factor enabling the implementation of unconventional spatial

solutions within real-world construction conditions. The relevance of a comprehensive approach to form-making is emphasized — one that encompasses both the architectural concept and precise engineering analysis.

Problem Statement. The lack of unified methodologies for modeling, analysis, and regulatory frameworks for the design of complex structural systems creates challenges in the practical realization of innovative architectural forms. This is particularly relevant in the field of sacred architecture, where visual expression must be structurally justified.

Purpose of the Article. To outline the prospects of modern structural design of complex forms using examples from sacred architecture, and to substantiate the need for updated approaches to structural analysis, typology, and regulatory standards.

Materials and Methods. The study employs the method of analyzing implemented architectural-structural solutions in sacred construction, tools for parametric and geometric modeling (Grasshopper, Rhino), software for FEM analysis (LIRA-SAPR, SCAD Office, Karamba3D), a review of current regulations, and comparative engineering calculations. The typology of modern structures and principles of their adaptation to complex forms are considered.

Results. By comparing traditional and parametric dome structures, the study demonstrates the impact of geometry on stress-strain behavior and material consumption. Approaches to panelization, development of connection nodes, reinforcement optimization, and consideration of thermal-deformation effects are proposed. Key limitations of the current regulatory framework are identified, along with suggestions for its revision.

Conclusions. Complex architectural forms cannot be realized without thorough engineering analysis and interdisciplinary collaboration. Next-generation building structures enable a synthesis of aesthetics, durability, and technological efficiency, but they require a reassessment of the normative and methodological foundations of design. The findings may be valuable for designers, researchers, and developers of modern building codes.

Keywords: sacral architecture, complex forms, building structures, parametric modelling, FEM analysis, shell structures, joint design, reinforcement, structural optimisation, design standards.

УДК 624.21:625.745.1

Безуглий А. О., канд. екон. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0003-3883-7968>Каськів В. І., канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>Панібратець Л. Г., <https://orcid.org/0000-0003-0683-9299>Степанов С. М., <https://orcid.org/0000-0003-1220-4310>Грінів В. С., <https://orcid.org/0009-0007-8107-9935>Чайковська Л. І., <https://orcid.org/0009-0006-4299-5140>

Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»),
м. Київ, Україна

**ВИЗНАЧЕННЯ ПРІОРИТЕТНОСТІ ОБСТЕЖЕННЯ ТА
ПЕРШОЧЕРГОВОСТІ РЕМОНТІВ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД ЗА ДОПОМОГОЮ
ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ «АНАЛІТИЧНА ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА
УПРАВЛІННЯ МОСТАМИ»**

Анотація

Вступ. Транспортні споруди є важливими об'єктами критичної інфраструктури, що сприяють розвитку економіки та забезпечують безпеку регіонів і держави в цілому. У період військового стану транспортні споруди стали важливим елементом обороноздатності країни, а також шляхами для гуманітарної евакуації та експортної логістики. Більшість транспортних споруд, які експлуатуються на автомобільних дорогах загального користування, збудовані за нормами, проєктні навантаження яких не відповідають сучасним навантаженням. Майже половина транспортних споруд України має вік понад 60 років. Зношення таких конструкцій неминуче. Ситуація ускладнюється зростанням навантаження, з одного боку, та накопиченням обсягів ремонтних робіт, які не були виконані в минулі роки, що призводить до погіршення технічного стану транспортних споруд. Підтримка цих споруд у належному стані — у першу чергу, питання безпеки руху та ефективної діяльності транспортної інфраструктури. Наявна інформація в програмному комплексі «Аналітична експертна система управління мостами» (ПК «АЕСУМ») та аналітичні модулі в його складі роблять його надійним та ефективним інструментом управління в системі утримання транспортних споруд.

Проблематика. Забезпечення надійного транспортного сполучення відіграє ключову роль у розвитку та інтеграції економіки України до світових і європейських структур. В умовах воєнного стану його значення ще більше зросло — воно стало критично важливим для підтримання життєдіяльності населення та стабільного функціонування держави в умовах обмежених ресурсів.

Мета. Забезпечення оптимального підходу під час планування витрат на експлуатаційні та ремонтні заходи транспортних споруд на базі комплексного аналізування їхнього поточного стану.

Матеріали і методи. Аналітичний, статистичний, системний аналіз. Дані отримані з програмного комплексу «Аналітична експертна система управління мостами».

Результати. У роботі представлені можливості ПК «АЕСУМ» щодо формування планів робіт з обстеження мостів та подальших ремонтних робіт з урахуванням різноманітних (загальних, розрахункових і специфічних) чинників в умовах обмеженого фінансування.

Висновки. Застосування ПК «АЕСУМ» для оптимального планування пріоритетності та своєчасного проведення відновлювальних робіт на транспортних спорудах, та підтримування їх в належному стані з раціональним використанням фінансових ресурсів, дозволяє оперативно отримувати результати щодо визначення пріоритетності проведення обстежень, планування відновлювальних робіт на транспортних спорудах. Подальший розвиток та широке впровадження модулів поточного та стратегічного планування надасть можливість більш гнучкого підходу в підготуванні вихідних даних та отримання оптимальних управлінських рішень.

Ключові слова: автомобільна дорога, міст, обстеження, ПК «АЕСУМ», програмний комплекс «Аналітична експертна система управління мостами», рейтинг моста, стратегія експлуатації, транспортна споруда, технічний стан, формалізована експертна оцінка.

Вступ

Станом на 01.03.2025 на дорогах загального користування на підконтрольній Україні території налічується — 14 820 мостів загальною протяжністю понад 350 000 м, з них на дорогах державного значення — 5 387 мостів (175 691 м).

І якщо на дорогах загального користування державного значення обстежено 79 % транспортних споруд, то на дорогах загального користування місцевого значення обстежено тільки 13 %. Щодо необстежених споруд є тільки загальна інформація, реальний технічний стан цих споруд невідомий. Понад 80 % мостів побудовані до 1980 року.

Станом на 01.03.2025 38 % транспортних споруд на дорогах загального користування державного значення на підконтрольній території України мають обмежено працездатний (4 технічний стан) та непрацездатний (5 технічний стан) і потребують капітального ремонту. Одночасно понад 70 % не відповідають діючим нормам за габаритом, за вантажопідйомністю або одночасно за двома цими показниками (табл. 1).

Таблиця 1

Технічний стан транспортних споруд на дорогах загального користування державного значення на підконтрольній території України

Значення автомобільних доріг	Всього мостів		Внесено до ПК АЕСУМ		Всього не відповідають чинним нормам		Кількість мостів, що перебувають у 4 технічному стані		Кількість мостів, що перебувають у 5 технічному стані	
	шт	м	шт	м	шт	м	шт	м	шт	м
державного значення	5 387	175 690,71	4 239	150 502,75	3 834	114 224,57	1 135	31 871,47	444	23 460,37
міжнародні	1 147	58 141,24	1 060	54 966,07	783	37 003,82	232	10 339,51	97	5 431,66
національні	901	29 408,95	819	26 503,17	753	21 758,04	207	5 615,59	57	3 673,07
регіональні	1 099	33 673,42	987	31 093,04	875	24 519,93	247	6 239,11	109	6 829,39
територіальні	2 240	54 467,10	1 373	37 940,47	1 423	30 942,78	449	9 677,26	181	7 526,25

До фактору експлуатації транспортних споруд протягом довгого періоду в умовах обмеженого фінансування на фоні постійного зростання інтенсивності транспортного потоку та навантажень від автомобілів три роки тому додався фактор воєнного протистояння, що призвело до руйнування транспортних споруд під час введення бойових дій.

Наразі стоїть актуальне питання автоматизації процесу управління транспортними спорудами, як комп'ютерної реалізації сучасної інформаційної методології планування, координації людських і матеріальних ресурсів, пошуку оптимальної стратегії фінансування експлуатаційних заходів протягом життєвого циклу моста, спрямовану на ефективне підтримання транспортних споруд у безпечному для експлуатації стані [1].

Життєвий цикл транспортних споруд

Життєвий цикл споруди охоплює всі стадії (етапи) свого існування – від концепції (визначального задуму) та проектування до демонтажу або реконструкції.

Його можна поділити на такі основні етапи:

1. Формування завдання та проектування.
2. Будівництво з подальшим введенням в експлуатацію.
3. Експлуатація – найдовший етап, що включає експлуатаційне утримання та ремонти.
4. Реконструкція – відновлення конструкцій та приведення споруди до сучасних нормативно-експлуатаційних вимог.
5. Демонтаж або знесення – утилізація, рекультивація території.

Ключовим етапом можна вважати період експлуатації. Це самий тривалий етап, який охоплює період після введення в експлуатацію до моменту реконструкції або знесення споруди, також його можна вважати самим витратним (рис. 1).

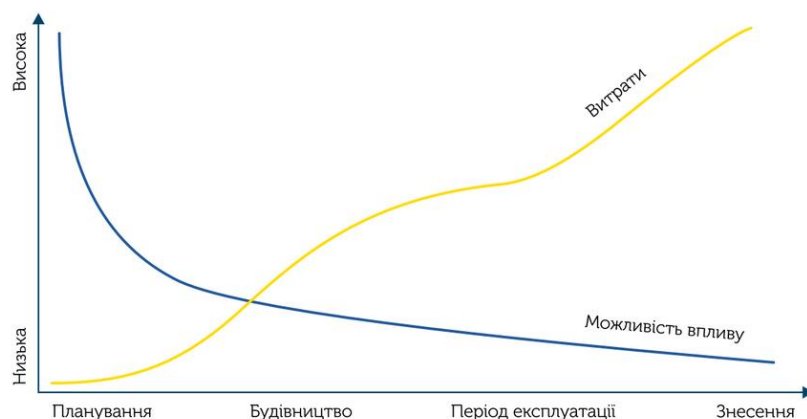


Рисунок 1 — Можливість впливу на стан будівлі протягом її життєвого циклу [2]

Експлуатація мостів — ключові аспекти

Етап експлуатації транспортних споруд включає такі роботи:

- роботи з експлуатаційного утримання;
- моніторинг стану мостів (огляд, обстеження, випробування);
- проведення ремонтних робіт;
- у разі необхідності, запровадження експлуатаційних обмежень з метою забезпечення безпеки.

Обстеження транспортних споруд — це основа для ухвалення рішень щодо подальшої експлуатації, модернізації чи ремонту споруди. Всі дії з підтримки споруд у робочому стані повинні спиратися на об'єктивні дані про стан їхніх елементів, поточну несну здатність, надійність і залишковий ресурс.

Залежно від аналізу результатів обстеження та визначення стану споруди приймається рішення щодо необхідних ремонтних заходів.

Таким чином, для ефективної експлуатації та обслуговування транспортних споруд необхідно проводити системні обстеження технічного стану, на основі яких ми отримуємо інформацію, що дозволяє приймати рішення щодо необхідності поточних чи капітальних ремонтів, реконструкції або навіть закриття споруди для подальшої експлуатації.

Визначення пріоритетності обстеження

Сьогодні з урахуванням фактично проведених обстежень та нормативної їхньої періодичності [3] в Україні потрібно забезпечити проведення обстежень близько 2 500 транспортних споруд щорічно (рис. 2).

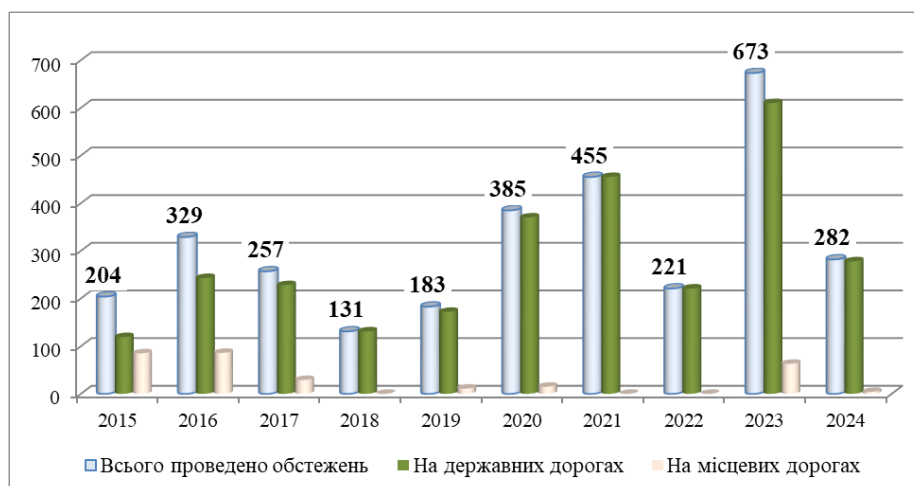


Рисунок 2 — Фактичні обстеження за 2015-2024 рр.

У зв'язку з незадовільним станом транспортних споруд, великим віком (середній вік 60 років), значною кількістю необстежених споруд, в умовах обмеженого фінансування першочергове значення має складання планів обстежень з урахуванням потреби в першочерговості їх проведення.

З метою надання пріоритетності під час складання річних та довгострокових планів обстежень враховуються такі критерії:

- зруйновані/пошкоджені мости у ході бойових дій (застосовується з 2022 року);
- перебування споруди або її визначальних елементів в непрацездатному (п'ятому) технічному стані;
- проведення обстежень за індивідуальним планом;
- відсутність інформації з обстеження в ПК «АЕСУМ»;
- перебування споруди в обмежено працездатному (четвертому) технічному стані;
- відсутність інформації за результатами обстежень, що передують передачі в експлуатацію після завершення будівництва нової споруди або після реконструкції існуючої;
- відсутність інформації щодо зміни технічного стану моста після виконання ремонту;
- перебування моста на міжнародному транспортному коридорі;
- проблемний типовий проєкт прогонової будови;
- адміністративне значення дороги;
- категорія дороги;
- шляхопроводи через залізницю;
- інші шляхопроводи;
- довжина моста;
- матеріал моста.

Визначення першочерговості ремонтів

ПК «АЕСУМ» дозволяє отримати обґрунтовані стратегії ремонтів і реконструкції в умовах обмеженого фінансування. За результатами обстежень точно оцінюється технічний стан транспортних споруд та в подальшому приймати ефективні рішення щодо їхнього ремонту та реконструкції, особливо це актуально в сучасних реаліях і в надзвичайних ситуаціях.

Під час формування програм ремонтів транспортних споруд вирішують дві задачі:

- розрахунок вартості проведення ремонтних робіт;
- відбір споруд, на яких будуть проводитись роботи та визначення послідовності проведення робіт.

Зупинимось на відборі споруд для визначення послідовності проведення робіт (табл. 2).

Зазвичай, у першу чергу, розглядають мости з найгіршим експлуатаційним станом, далі приймається до уваги категорія автомобільної дороги на якій розташована споруда та рейтинг (формалізована експертна оцінка) споруди [4].

Для удосконалення відбору споруд під час визначення першочерговості проведення обстежень і ремонтів постійно удосконалюються модулі для урахування додаткових показників.

Таблиця 2

Перелік транспортних споруд за першочерговістю ремонтів (фрагмент)

Ч.ч.	Категорія дороги	Назва дороги	Рейтинг	км +	Перешкода	Рік спорудження	Дата останнього ремонту	Вид ремонту
	Стан - 4	1 - стан споруди		3 - рейтинг				
1	I-б категорія	M-XX *****	56			XXXX	XXXX	капітальний ремонт
2	II категорія	P-XX *****	45	XX + XXX	струмок.	XXXX	XXXX	реконструкція
3		M-XX *****	46	XX + XXX	пролив	XXXX		реконструкція
4			50	XX + XXX	а/д	XXXX		реконструкція
5			52	XX + XXX	з/д	XXXX		реконструкція
6			54	XX + XXX	канал	XXXX	XXXX	капітальний ремонт
7		P-XX *****	55	XX + XXX	струмок	XXXX	XXXX	реконструкція

Планування ремонтів транспортних споруд з урахуванням необхідності першочергової ліквідації дефектів підвищеної небезпеки. Виконано аналіз дефектів конструкцій транспортних споруд і систематизовано їхній вплив на несну здатність конструкцій, виявлені дефекти конструкцій, які можуть викликати руйнування споруд [5].

Було введено поняття — ступінь ваги дефектів, а саме: недопустимі, обмежено допустимі, допустимі (табл. 3). Крім того, була надана можливість для деяких дефектів призначати декілька наборів робіт для їхнього усунення, зокрема для повного чи часткового. Часткове усунення дефектів сповільнює руйнівні процеси та надає можливість відтермінувати повне усунення на більш пізній строк [6].

Таблиця 3

Перелік наявних дефектів, які мають підвищений (невідкладний) рівень небезпеки

Ч. ч.	Назва	Ступінь ваги	Кількість мостів
Прогонові будови			
1	Силові тріщини у розтягнутій зоні конструкцій з розкриттям 0,2 мм – 0,3 мм	недопустимий	39
2	Наскрізні похилі тріщини в приопорних ділянках	недопустимий	21
3	Силові тріщини в стиснутій зоні бетону з розкриттям понад 0,2 мм	недопустимий	19
4	Похилі силові тріщини в опорних зонах	недопустимий	17
5	Пошкодження бетону від розморожування на поверхні плити більше 50 %	допустимий	13
6	Поодинокі розкриття силових тріщин у похилих перерізах або вздовж арматури у разі достатньої товщини захисного шару бетону	обмежено допустимий	5
7	Втрата стійкості стиснутих елементів	недопустимий	4
8	Розриви горизонтальних зв'язків по верхньому поясу ферм прогонових будов з їздою понизу	недопустимий	1
Опори та опорні частини			
9	Порушення розчину кладки на глибину, більше від половини розмірів каменя	обмежено допустимий	190
10	Вивали фрагментів кладки	обмежено допустимий	182
11	Підмив стоянів	обмежено допустимий	160
12	Локальне оголення та корозія арматури	допустимий	149
13	Втрата окремих каменів	допустимий	131
14	Наявність нахилів стояків від вертикалі	допустимий	128
15	Втрати розчину кладки на глибину розмірів каменів	обмежено допустимий	112
16	Пошкодження тіла стояків на глибину до 70 мм з оголенням арматури на великих площах	недопустимий	73
17	Зсув опор	недопустимий	20
18	Просідання опор	недопустимий	14
19	Відсутні шафові стінки (грунт насипів утримується кінцевими діафрагмами прогонових будов)	недопустимий	10
20	Руйнування тіла ригелів під опорними частинами	недопустимий	8

Також за матеріалами обстежень, накопичених у ПК «АЕСУМ», був проведений аналіз конструкцій прогонових будов транспортних споруд на автомобільних дорогах загального користування та визначений перелік актуальних типових проєктів, виявлені недоліки цих проєктів, сформовані рекомендації щодо належної експлуатації цих споруд. Визначені найбільш проблемні типові проєкти, за якими прогонові будови мостів перебувають у незадовільному стані [7].

У **табл. 4**, яка сформована за результатами обстежень транспортних споруд, що внесені до ПК «АЕСУМ», перераховані дані за проблемними типовими проєктами залізобетонних прогонових будов мостів на дорогах загального користування державного значення (станом на 01.03.2025).

У стовпці 3 — кількість мостів із прогоновими будовами даного типового проєкту, в стовпці 4 — кількість таких мостів, прогонові будови яких знаходяться в 4 (обмежено працездатному) та 5 (непрацездатному) стані.

Таблиця 4

Перелік проблемних типових проєктів залізобетонних прогонових будов на автомобільних дорогах загального користування державного значення

Ч. ч.	Типовий проєкт прогонової будови	Всього мостів, шт.	у т. ч. в 4 та 5 технічному стані	%
1	ВТП-15	17	14	82,4
2	ВТП-16	273	140	51,3
3	«Випуск 56»	146	66	45,2
4	«Випуск 56. Доповнення»	66	25	37,9

Була проведена робота із створення гнучкої системи критеріїв значущості (рейтингів) мостів з можливістю налаштування їхніх вагових впливів для подальшої пріоритезації мостів [8] з використанням аналітичного ієрархічного процесу (Analytic hierarchy process), запропонованого Томасом Л. Сааті [9] (**рис. 3**). Це дозволяє експерту кількісно визначити порівняльну важливість критеріїв та субкритеріїв, які складають ієрархію для подальшого визначення пріоритету моста.

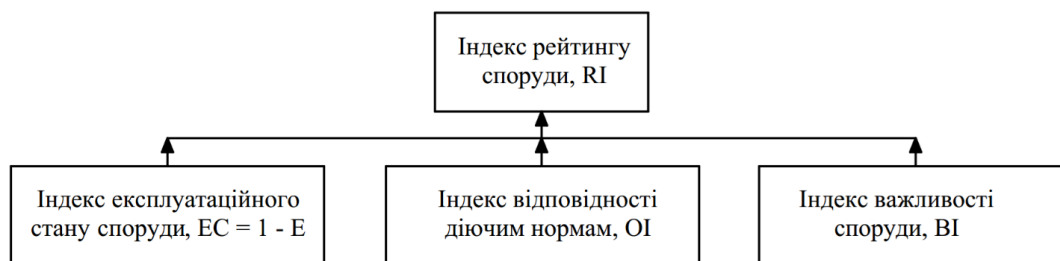


Рисунок 3 — Критерії першого рівня ієрархії оцінювання рейтингу споруди

На другому рівні ієрархії — індекс відповідності діючим нормам, оцінюють наступними критеріями:

— структурні параметри конструкції (габарити, огороження, параметри кривих, повздовжніх і поперечних похилів, проєктна вантажопідйомність);

— характер транспортної споруди (вид споруди, довкілля, стихійні лиха).

Індекс важливості споруди характеризують критеріями:

— важливість забезпечення доступу (населені пункти, під'їзди до об'єктів, складність відновлення);

— важливість забезпечення мобільності (категорія дороги, значення, наявність об'їзду, наявність важливих об'єктів, транспортні коридори);

— зовнішні ефекти (пересічення, комунікації, порушення потоку води під час повені).

Запропонований спосіб включає в себе процедури, застосування яких у певній послідовності дає можливість будувати довільну ієрархію критеріїв та субкритеріїв, визначати їхні вагові впливи та здійснювати експертне оцінювання значущості (рейтингу) транспортних споруд з метою їхньої пріоритезації для формування програм і планів експлуатаційного утримання і ремонтів споруд.

Висновки

Визначення пріоритету мостів дозволяє ефективно ранжувати об'єкти за важливістю, що сприяє оптимальному плануванню обстежень і ремонтних робіт і забезпечує раціональне використання фінансових ресурсів. Пріоритети можуть змінюватися залежно від цілей конкретних програм — термінових відновлювальних заходів, стратегічного планування ремонтів або оцінки технічного стану споруд.

ПК «АЕСУМ» виступає як потужний інструмент комплексного аналізу транспортних споруд на основі об'єктивних критеріїв, що дає змогу оперативно формувати як короткострокові, так і довгострокові плани заходів з обстеження, ремонту та експлуатаційного утримання. Метод пріоритезації, що базується на аналітичному ієрархічному процесі, наразі проходить апробацію для використання у плануванні ремонтних робіт. Його подальший розвиток дозволить удосконалити механізми відбору об'єктів, зробивши їх більш гнучкими та адаптивними до різних сценаріїв управління інфраструктурою.

Удосконалення модулів оперативного та стратегічного планування у ПК «АЕСУМ» сприятиме підвищенню ефективності прийняття рішень у дорожньому господарстві, покращенню розподілу ресурсів і формуванню якісних аналітичних матеріалів. Розширення системи критеріїв оцінки значущості транспортних споруд відкриє можливості для динамічного налаштування вагових коефіцієнтів і використання гнучких підходів у пріоритезації, що забезпечить більш ефективне управління транспортною інфраструктурою.

Список літератури

1. Боднар Л. П. Програмний комплекс АЕСУМ. Сучасний стан та концепція подальшого розвитку. *Дороги і мости*. Київ, 2010. Вип. 12. С. 31–39.
2. Марусич Д. Життєвий цикл будинку. 2021. Режим доступу URL: <https://drive.google.com/file/d/1Nms0UNTI85RxCdTaoIxpKqoeULmgJjG8/view> (дата звернення: 04.03.2025).
3. ДБН В.2.3-6:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування. Київ, 2009. 63 с. (Інформація та документація).
4. ДСТУ 9181:2022. Настанова з оцінювання та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ, 2022. 52 с. (Інформація та документація).
5. Боднар Л. П., Завгородній С. С., Коваль П. М., Панібратець Л. Г., Яструбінецький В. Л. Дослідження впливу дефектів конструкцій автодорожніх мостів на їх несну здатність. *Дороги і мости*. 2020. Вип. 21. С. 236–249. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.236>.
6. Боднар Л. П., Степанов С. Н., Яструбінецький В. Л., Завгородній С. С. Формування програм ремонтів з урахуванням наявності дефектів підвищеної небезпеки на мостах. *Дороги і мости*. 2021. Вип. 23. С. 158–166. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.23.158>.
7. Боднар Л. П., Завгородній С. С., Яструбінецький В. Л. Аналіз типових проектів найбільш поширених залізобетонних прогонових будов мостів на автомобільних дорогах України. *Дороги і мости*. Київ, 2020. Вип. 22. С. 176–186. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.22.176>.
8. Боднар Л. П., Канін О. П., Степанов С. М., Панібратець Л. Г. Система критеріїв значущості мостів з можливістю налаштування їх вагових впливів. *Дороги і мости*. Київ, 2023. Вип. 27. С. 199–215. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.199>.
9. Saaty T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*. 2008. Vol. 1, No. 1. P. 83–98. URL: https://www.researchgate.net/profile/Muhammad-Abas/post/How-do-I-perform-AHP-on-a-hierarchy-having-more-than-two-levels/attachment/59d646d0c49f478072eaea6a/AS%3A273837772476419%401442299420290/download/saaty_2008.pdf (дата звернення: 04.03.2025).

References

1. Larysa Bodnar Software complex AESUM. Up-to-date state and the concept of further development. *Dorogi i mosti* [Roads and bridges]. Kyiv, 2010. Issue 12. P. 31–39 [in Ukrainian]
2. Marusych D. Zhyttievyi tsykl budynku. 2021. URL: <https://drive.google.com/file/d/1Nms0UNTI85RxCdTAoIxpKqoeULmgJjG8/view> (Last accessed: 04.03.2025) [in Ukrainian]
3. DBN V.2.3-6:2009 Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennia i vyprovuvannia (State Building Norms (DBN V.2.3-6:2009) Transport constructions. Bridges and pipes. Inspection and testing). Kyiv, 2009. 63 p. (information and documentation) [in Ukrainian].
4. DSTU 9181:2022 Nastanova z otsiniuvannia ta prohnozuvannia tekhnichnoho stanu avtodorozhnykh mostiv (Guidelines for evaluating and predicting the technical condition of highway bridge). Kyiv, 2022. 52 p. (informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
5. Larysa Bodnar, Serhii Zavorodniy, Petro Koval, Liudmyla Panibratets, Vitalii Yastrubynetskyi Research of the influence of defects of road bridge structures on their bearing capacity. *Dorogi i mosti* [Roads and bridges]. 2020. Issue 21. P. 236–249. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.236> [in Ukrainian].
6. Larysa Bodnar, Serhii Stepanov, Vitalii Yastrubynetskyi, Serhii Zavorodniy Repair programs development taking into account the presence of high-risk defects on bridges. *Dorogi i mosti* [Roads and bridges]. 2021. Issue 23. P. 158–166. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.23.158> [in Ukrainian].
7. Larysa Bodnar, Serhii Zavorodniy, Vitalii Yastrubynetskyi Analysis of typical designs of the most common reinforced concrete bridge span on the motor roads of Ukraine. *Dorogi i mosti* [Roads and bridges]. Kyiv, 2020. Issue 22. P. 176–186. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.22.176> [in Ukrainian].
8. Larysa Bodnar, Olexandr Kanin, Serhii Stepanov, Liudmyla Panibratets. System of criteria for the importance of bridges with the possibility of adjusting their weight influences. *Dorogi i mosti* [Roads and bridges]. Kyiv, 2023. Issue 27. P. 199–215. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.199> [in Ukrainian].
9. Saaty T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*. 2008. Vol. 1, No. 1. P. 83–98. URL: https://www.researchgate.net/profile/Muhammad-Abas/post/How-do-I-perform-AHP-on-a-hierarchy-having-more-than-two-levels/attachment/59d646d0c49f478072eaea6a/AS%3A273837772476419%401442299420290/download/saaty_2008.pdf (Last accessed: 04.03.2025) [in English].

Artem Bezugliy, Ph.D., Assoc. Prof., <https://orcid.org/0000-0003-3883-7968>

Volodymyr Kaskiv, Ph.D., Assoc. Prof., <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

Liudmyla Panibratets, <https://orcid.org/0000-0003-0683-9299>

Sergii Stepanov, <https://orcid.org/0000-0003-1220-4310>

Vladyslava Hriniv, <https://orcid.org/0009-0007-8107-9935>

Leonida Chaikovska, <https://orcid.org/0009-0006-4299-5140>

State Enterprise “National Institute for Infrastructure Development” (SE “NIDI”), Kyiv, Ukraine

**DETERMINATION OF PRIORITY INSPECTION AND REPAIR
URGENCY OF TRANSPORT STRUCTURES USING THE SOFTWARE COMPLEX
“ANALYTICAL EXPERT SYSTEM FOR BRIDGE MANAGEMENT”**

Abstract

Introduction. Transport structures are crucial elements of critical infrastructure that contribute to economic development and ensure the security of regions and the state as a whole. During wartime, transport structures have become vital for national defense, humanitarian evacuation, and export logistics. Most

transport structures on public roads were built under outdated design norms, which do not correspond to modern load requirements. Almost half of Ukraine's transport structures are over 60 years old, making their deterioration inevitable. The situation is further complicated by increased traffic loads and the accumulation of deferred repairs, leading to a decline in the technical condition of these structures. Maintaining transport structures in proper condition is primarily a matter of traffic safety and the efficient operation of transport infrastructure. The available data in the "Analytical Expert System for Bridge Management" (AESBM) software complex and its analytical modules make it a reliable and efficient management tool for maintaining transport structures.

Problem Statement. Ensuring stable transport connectivity is of great importance for the development and integration of Ukraine's economic system into global and European structures. Today, under wartime conditions, maintaining operational infrastructure is critical for the functioning of the state and the livelihood of the population, despite limited resources.

Objective. To provide an optimal approach to planning expenditures for the maintenance and repair of transport structures based on a comprehensive analysis of their current condition.

Materials and Methods. Analytical, statistical, and systematic analysis methods were applied. Data were obtained from the AESBM software complex.

Results. The paper presents the capabilities of AESBM in forming work plans for bridge inspections and subsequent repairs, considering various factors (general, calculated, and specific) under conditions of limited funding.

Conclusions. The use of AESBM enables optimal planning of priority and timely restoration work on transport structures, maintaining them in proper condition while ensuring the rational use of financial resources. It allows for rapid assessment and determination of inspection priorities, as well as planning restoration activities. Further development and widespread implementation of AESBM's modules for current and strategic planning will provide a more flexible approach to data preparation and optimal management decision-making.

Keywords: highway, bridge, inspection, AESBM, software complex "Analytical Expert System for Bridge Management", bridge rating, operational strategy, transport structure, technical condition, formalized expert assessment.

УДК 624.21:625.745.1

Каськів В. І., канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>Бабяк І. П., канд. техн. наук, старш. наук. співроб., <https://orcid.org/0000-0002-3732-2439>*Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна*

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТАЛЕВОЇ АРМАТУРИ ПЕРІОДИЧНОГО ПРОФІЛЮ В КОНСТРУКЦІЯХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД. ПИТАННЯ НОРМУВАННЯ

Анотація

Вступ. У зв'язку зі скасуванням в Україні у 2019 році стандарту ГОСТ 5781-82, що регулював використання арматури періодичного профілю для залізобетонних конструкцій, виникла проблема з виконанням проєктних і будівельно-монтажних робіт на мостах, оскільки не було передбачено альтернативи цій арматурі.

Застосування відповідних матеріалів регламентується чинним ДБН В.2.3-14:2006 «Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проєктування». Для тимчасового розв'язання цієї ситуації Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») ухвалило рішення про тимчасове відновлення чинності ГОСТ 5781-82 до моменту врегулювання питання.

Застосування відповідних матеріалів регламентується чинним ДБН В.2.3-14:2006 «Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проєктування». Для тимчасового розв'язання цієї ситуації Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») ухвалило рішення про тимчасове відновлення чинності ГОСТ 5781-82 до моменту врегулювання питання.

Проблематика. Після скасування ГОСТ 5781-82 єдиним нормативним документом, що регламентував виробництво арматури для залізобетонних конструкцій в Україні, залишався ДСТУ 3760:2019 «Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови».

Виникла необхідність у доопрацюванні положень цього стандарту, з подальшим урахуванням оновленої редакції ДСТУ 3760:2019 та внесенні змін до ДБН В.2.3-14:2006. Паралельно тривали дослідження можливості використання альтернативних видів арматури, відмінних від передбачених у ДСТУ 3760:2019.

Мета. Виконати аналіз положень ДБН В.2.3-14:2006 щодо вимог до арматурного прокату періодичного профілю для залізобетонних конструкцій мостів та труб. Дослідити стандарти, що регламентують арматурний прокат періодичного профілю та його технічні характеристики згідно з ДБН В.2.3-14:2006 і нормативною базою України до та після набуття чинності зміни № 1 ДБН В.2.3-14:2006 (01.12.2024). Визначити особливості використання арматурного прокату періодичного профілю у новій редакції будівельних норм.

Матеріали й методи. Дослідження базуються на аналізі нормативних, технічних документів, літературних джерел з питань застосування арматурного прокату періодичного профілю для залізобетонних конструкцій мостів та труб.

Результати. Під час дослідження проаналізовано вплив скасування ГОСТ 5781-82 на проєктування та будівництво мостів. Розглянуто вимоги до арматурного прокату періодичного профілю у ДБН В.2.3-14:2006 та його Зміні № 1, а також положення нормативних документів щодо сталі для армування бетону та прокату з арматурної сталі для залізобетонних конструкцій.

Висновки. Відповідно до ДБН В.2.3-14:2006 зі зміною № 1, для армування залізобетонних конструкцій мостів можна застосовувати арматуру періодичного профілю згідно з ДСТУ 9130:2021;

ДСТУ 3760:2019 зі змінами № 1, № 2; ДСТУ EN 10080:2009 (EN 10080:2005, IDT). Встановлений підхід щодо забезпечення деформативності арматурного прокату дає можливість застосовувати арматуру, яка відповідає будь-якому з цих стандартів. Те ж стосується і конструкцій, які розраховують на витривалість. Також, передбачено можливість використання нових арматурних сталей за відповідними регламентними технічними специфікаціями відповідно до Закону України «Про надання будівельної продукції на ринку».

Ключові слова: арматура, арматурний прокат, витривалість, втомна міцність, державні будівельні норми, залізобетон, конструкція, міст, періодичний профіль, стандарт.

Вступ

У зв'язку зі скасуванням в Україні у 2019 році ГОСТ 5781-82 «Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия» (ГОСТ 5781-82 «Сталь горячекатаная для армування залізобетонних конструкцій. Технічні умови») [1] на арматуру періодичного профілю для залізобетонних конструкцій, виникла ситуація, коли призупинилось виконання будівельно-монтажних робіт на мостах через відсутність альтернативи зазначеній у ГОСТ 5781-82 арматури. Така арматура донедавна масово застосовувалась як для виготовлення монолітних, так і збірних залізобетонних конструкцій [2, 3]. Застосування зазначеної арматури для проектування мостів та труб було регламентовано чинним ДБН В.2.3–14:2006 «Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування» [4]. Ці норми були основним документом, який містив принципи використання арматури для армування залізобетонних конструкцій мостів та труб. Відповідно до цих норм, можливим було використання різних видів, класів арматурного прокату. Проте, для конструкцій, які розраховують на витривалість, можливим було використання, практично, лише арматурного прокату згідно з ГОСТ 5781-82.

Чинність ГОСТ 5781-82 в Україні періодично скасовували. Проте, у зв'язку з відсутністю альтернативи, змушено відновлювали. Так, згідно з наказом Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») від 14.12.2015 № 185, було скасовано чинність в Україні міждержавного стандарту ГОСТ 5781-82 з 01 січня 2019 року. За цей період часу не було знайдено вирішення проблеми, яка виникла зі скасуванням ГОСТ 5781-82. Після припинення чинності ГОСТ 5781-82, фактично, зупинилось проектування і будівництво мостів та труб. До Державного підприємства «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ») (на той час Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут ім. М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), як до базової організації (з науково-технічного, дослідного, методичного та інформаційного забезпечення нормування проектування та будівництва об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, безпеки і доступності під час експлуатації) почали звертатись учасники будівництва за роз'ясненнями та інформацією про неминучу зупинку всіх процесів, пов'язаних із проектуванням та будівництвом транспортних споруд. У відповідь, ДП «ДерждорНДІ» було ініційовано звернення до Мінрегіонбуду та взято участь у нарадах Мінрегіонбуду за участі українських виробників арматурного прокату, проєктних, будівельних та інших організацій, за результатом яких було прийнято рішення відновити чинність документа на час розроблення змін до ДБН В.2.3-14:2006. Відповідно, чинність документа було відновлено з 08.08.2019 по 01.07.2021 згідно з наказом ДП «УкрНДНЦ» від 06.08.2019 № 236. Було встановлено термін, протягом якого буде чинним ГОСТ 5781-82, оскільки були сподівання вирішити цю проблему за цей час.

Саме для вирішення цієї проблеми на замовлення Державного агентства автомобільних доріг України (зараз Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України) ДП «ДерждорНДІ» (зараз «ДП НІРІ») розпочав роботу із розроблення змін до ДБН В.2.3-14:2006.

На той час, якщо не брати до уваги ГОСТ 5781-82, єдиним документом, згідно з яким українські виробники арматурного прокату виготовляли арматуру, був ДСТУ 3760:2019 «Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови» [5]. З урахуванням цього,

виникла необхідність також у доопрацюванні положень ДСТУ 3760:2019 та, після цього, врахувати положення оновленого ДСТУ 3760:2019 під час розроблення зміни до ДБН В.2.3-14:2006.

У подальшому, ДСТУ 3760:2019 було доопрацьовано. За результатом доопрацювання набула чинності зміна № 2 ДСТУ 3760:2019 [6]. Оскільки зміна № 1 ДБН В.2.3-14:2006 [7] не набула чинності до 01.07.2021, чинність ГОСТ 5781-82 вкотре була відновлена з 10.08.2021 до 01.04.2022 згідно з наказом ДП «УкрНДНЦ» від 05.08.2021 № 271.

Зважаючи на ситуацію, яка склалася, металева арматура згідно з ДСТУ 3760:2019 мала стати єдиною альтернативою арматурі згідно з ГОСТ 5781-82. Разом з тим, тривали пошуки можливості застосування іншої арматури, відмінної від арматури згідно з ДСТУ 3760:2019.

Мета й завдання роботи

Виконати аналіз положень ДБН В.2.3-14:2006 щодо вимог до арматурного прокату періодичного профілю для залізобетонних конструкцій мостів та труб. Дослідити стандарти, що регламентують арматурний прокат періодичного профілю та його технічні характеристики згідно з ДБН В.2.3-14:2006 і нормативною базою України до та після набуття чинності зміни № 1 ДБН В.2.3-14:2006 (01.12.2024). Визначити особливості використання арматурного прокату періодичного профілю у новій редакції будівельних норм [8].

Основні матеріали дослідження і отриманих результатів

Для конструкцій, що не розраховуються на витривалість, положення ДБН В.2.3-14:2006 дозволяли застосування арматури згідно з ГОСТ 5781-82 та ДСТУ 3760-98, з урахуванням обмежень, передбачених пунктом 3.33. Слід зазначити, що норми також передбачали можливість використання іншого арматурного прокату, однак його частка в загальному обсязі була незначною. Щодо конструкцій, що розраховуються на витривалість, у межах чинності ДБН В.2.3-14:2006 до останнього часу фактично можливо було застосовувати лише арматуру згідно з ГОСТ 5781-82. Необхідність забезпечення границі витривалості є обов'язковою умовою проєктування транспортних споруд, що прямо впливає з вимог, викладених у пункті 3.91 зазначених будівельних норм.

Застосування арматурного прокату згідно з ДСТУ 3760:2019 зі змінами № 1, № 2

У ДБН В.2.3-14:2006 використання арматури згідно з ДСТУ 3760-98, на заміну якого прийнято ДСТУ 3760:2019, було обмежено конструкціями, які не сприймають багаторазові повторні навантаження. Іншими словами, застосування арматурного прокату згідно з ДСТУ 3760-98 для армування цілого ряду конструкцій мостів не допускалося.

З часу набуття чинності ДСТУ 3760-98 до цього часу його декілька разів було переглянуто. У чинному ДСТУ 3760:2019 містяться положення, які стосуються характеристик витривалості арматури. Так, у підпунктах 6.2.1 та 6.2.3 пункту 6.2 «Характеристики, установлені за згодою виробника із замовником» ДСТУ 3760:2019, відповідно, зазначено: пункт 6.2.1 «Арматурний прокат класу А500С має витримувати без руйнування 2 млн. циклів навантаження за максимального напруження, що становить 60 % від значення границі плинності за таблицею 5. При цьому, розмах напружень циклу має становити 180 Н/мм². Періодичність випробовування – не менше ніж один раз на п'ять років для кожного діаметра.»; пункт 6.2.3 «Для арматурного прокату всіх класів, умовна границя пружності повинна бути не менша ніж 0,85 $\sigma_{0,2}$ (σ_t)». Бачимо, що встановлено втомну міцність для певних зазначених умов, проте, ці характеристики встановлені лише за згодою виробника із замовником і не обов'язкові для усієї арматури, яку виготовляють за ДСТУ 3760:2019. Відповідно, у зв'язку із відсутністю обов'язковості гарантованої величини втомної міцності арматури у ДСТУ 3760:2019 було неможливо передбачити її використання, зокрема, у нормах на проєктування мостів та труб. Для цього, необхідно було спочатку внести зміни до ДСТУ 3760:2019, де встановити, зокрема, обов'язковість вимог до границі витривалості. Після внесення змін до ДСТУ 3760:2019 необхідно було внести зміни до ДБН В.2.3-14:2006.

Під час напрацювання зміни до ДСТУ 3760:2019, яка б установлювали обов'язковість вимог до границі витривалості арматури, набула чинності зміна № 1 ДСТУ 3760:2019 [10], де навіть ті

недостатні вимоги до витривалості арматури, встановлені у пунктах 6.2.1, 6.2.3 ДСТУ 3760:2019, були скасовані. Відповідно, контроль втомної міцності арматури став неможливим, що виключало її використання в конструкціях, які розраховують на витривалість.

Разом з тим, проведена робота з виробниками арматурного прокату дала можливість знайти рішення для забезпечення вимог щодо витривалості арматури.

Для цього, у розробленій зміні № 2 ДСТУ 3760:2019 пункт 6.1 доповнено підпунктом 6.1.11: «Прокат класу А500С та А500Е, призначений для будівництва мостів, труб, автомобільних доріг (зазначається в замовленні або контракті), має витримувати без руйнування 2 млн циклів навантаження за максимального напруження, що становить 60 % (300 Н/мм²) від значення границі плинності за таблицею 5. При цьому розмах напружень циклу має бути 180 Н/мм². Періодичність випробувань – один раз на рік».

Для розширення можливості контролю властивостей арматури зміною № 2 ДСТУ 3760:2019 додано можливість визначати втомну міцність окрім ДСТУ 4042-2001 [11], за документом ДСТУ ISO 15630-1:2022 (ISO 15630-1:2019, IDT) [12].

Зміна № 2 ДСТУ 3760:2019 чинна з 01.08.2022.

Застосування арматурного прокату згідно з ДСТУ 9130:2021 «Прокат гарячекатаний з арматурної сталі для залізобетонних конструкцій. Технічні умови» [13]

З 01.04.2022 набув чинності ДСТУ 9130:2021 зі скасуванням ГОСТ 5781-82.

Аналіз ДСТУ 9130:2021 показує, що арматурний прокат згідно з ДСТУ 9130:2021 достатньо близький за вимогами до арматурного прокату згідно з ГОСТ 5781-82. Зокрема, має подібний профіль, геометричні розміри. Це, у свою чергу, є значною перевагою, оскільки дозволяє застосовувати пов'язані із цим напрацювання щодо конструювання під час проєктування залізобетонних конструкцій.

Застосування арматурного прокату згідно з ДСТУ EN 10080:2009 «Сталь для армування бетону. Зварювана арматурна сталь. Загальні технічні умови (EN 10080:2005, IDT)» [14]

З 01.12.2012 в Україні чинний ДСТУ EN 10080:2009 (EN 10080:2005, IDT). Цей документ встановлює загальні технічні умови постачання і визначення нормованих характеристик зварюваного арматурного прокату (арматурної сталі), який застосовують для армування залізобетонних конструкцій, і постачається як готові вироби, зокрема, у формі прутків (стрижнів), а також мотків. У стандарті встановлено вимоги до процесу виплавляння і виготовлення, характеристик прокату: зварюваності і хімічного складу; механічних властивостей; геометричних розмірів і маси (охоплюючи допуски); зчеплення і геометрії поверхні. Також, встановлено процедури з підтвердження відповідності: заводський виробничий контроль, початкові типові випробовування, безперервний нагляд за заводським виробничим контролем і аудиторські випробовування, оцінювання якості.

Що стосується витривалості, то у 8.3.2.1.2 зазначено: «Якщо технічні умови на продукцію вимагають виконання вимог до втоми, один раз у рік 5 проб потрібно відібрати від різних прутків або мотків одного діаметру. Відбирання проб проводять у такий спосіб, щоб охопити максимальну кількість і номенклатуру діаметрів у діапазоні діаметрів виробника протягом 5 років». Як бачимо, вимоги до контролю витривалості встановлено.

Застосування арматурного прокату згідно з ДСТУ 3760:2019 зі змінами № 1, № 2; ДСТУ 9130:2021 та ДСТУ EN 10080:2009 (EN 10080:2005, IDT) відповідно до ДБН В.2.3-14:2006 зі зміною № 1

Відповідно до ДБН В.2.3-14:2006 зі зміною № 1, для армування залізобетонних конструкцій мостів тепер можна застосовувати арматуру періодичного профілю відповідно до таких документів:

- ДСТУ 9130:2021;
- ДСТУ 3760:2019 зі змінами № 1, № 2;
- ДСТУ EN 10080:2009 (EN 10080:2005, IDT).

Застосування арматурного прокату унормовано зміною № 1 із максимальним збереженням даних, наявних у ДБН В.2.3-14:2006 та необхідних для розрахунків та конструювання під час проектування. Умови використання арматури виписано у відповідних пунктах та наведено характеристики у таблицях. Так, зокрема, відповідно до пункту 3.33: «Марки сталі для арматурного прокату залізобетонних мостів і труб, які установлюється з розрахунку, в залежності від умов роботи елементів конструкцій необхідно приймати відповідно до табл. 3.12 та 3.13, з урахуванням 3.91 та 3.133, при цьому знак «плюс» означає можливість застосування зазначеної марки сталі в даних умовах. Правила застосування арматурного прокату, що відповідає ДСТУ EN 10080, наведено в ДСТУ EN 10080».

Для оптимального вибору арматури виписано вимоги до арматури, яку потрібно застосовувати для конструкцій, які розраховують на витривалість та, окремо, для інших випадків.

Так, у пункті 3.33 зазначено: «Дозволено застосування як робочої арматури арматурного прокату (арматури), що відповідає ДСТУ EN 10080, ДСТУ 3760, ДСТУ 9130 у випадку забезпечення показників, що наведені у 3.33.1, а для конструкцій, які розраховують на витривалість — додатково наведених у 3.91».

У пункті 3.33.1 зазначено: «Арматура повинна мати достатню деформативність, визначувану відношенням тимчасового опору розриванню прокату з арматурної сталі до границі текучості (границі плинності) f_t / f_y (або $f_t / f_{0,2}$) $\geq 1,08$ і відносним подовженням за максимального зусилля $\delta_{\max} \geq 5,0$ %:

де f_t — тимчасовий опір розриванню прокату з арматурної сталі;
 f_y — границя текучості (границя плинності) прокату з арматурної сталі;
 $f_{0,2}$ — умовна границя текучості (границя плинності) прокату з арматурної сталі;
 $\delta_{\max}$ — відносне подовження за максимального зусилля».

Тут використано підхід, який дозволяє застосовувати арматуру, яка відповідає будь-якому з стандартів ДСТУ EN 10080:2009 (EN 10080:2005, IDT), ДСТУ 3760:2019 зі змінами № 1, № 2, ДСТУ 9130:2021.

Щодо конструкцій, які розраховують на витривалість, то у пункті 3.91 зміною № 1 [7] введено такі вимоги до розрахунку на витривалість: «Під час розрахунку на витривалість максимальне напруження в арматурі не повинно перевищувати 60 % від значення границі текучості (границі плинності). У цьому разі розмах напружень циклу не має перевищувати 150 МПа, кількість циклів навантаження має становити не менше двох мільйонів».

Також, передбачено можливість використання нових арматурних сталей на випадок, якщо не буде можливості використовувати передбачені нормами. У такому разі, можна використати пункт норм 3.33, де зазначено, що застосування як робочої розраховуваної арматури нових арматурних сталей допустимо за відповідними регламентними технічними специфікаціями відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 2 грудня 2022 року № 1348 «Про затвердження Порядку застосування національних стандартів для будівельної продукції, що надається на ринку та не охоплюється або не повністю охоплюється національними стандартами для цілей застосування Закону України «Про надання будівельної продукції на ринку» (у редакції від 09.06.2022)) [15].

Висновки

Під час дослідження проаналізовано положення ДБН В.2.3-14:2006 в частині вимог до арматурного прокату періодичного профілю для залізобетонних конструкцій мостів та труб, стандарти на арматурний прокат періодичного профілю, характеристики арматурного прокату періодичного профілю для залізобетонних конструкцій мостів у ДБН В.2.3-14:2006 та стандартах України до та після набуття чинності зміни № 1 ДБН В.2.3-14:2006 (01.12.2024). Встановлено особливості застосування арматурного прокату періодичного профілю у ДБН В.2.3-14:2006 зі зміною № 1.

Відповідно до ДБН В.2.3-14:2006 зі зміною № 1, для армування залізобетонних конструкцій мостів можна застосовувати арматуру періодичного профілю згідно з ДСТУ 9130:2021; ДСТУ 3760:2019 зі змінами № 1, № 2; ДСТУ EN 10080:2009 (EN 10080:2005, IDT). Встановлений підхід щодо забезпечення деформативності арматурного прокату (3.33.1 ДБН В.2.3-14:2006 зі зміною № 1) дає можливість застосовувати арматуру, яка відповідає будь-якому з цих стандартів. Те ж стосується і конструкцій, які розраховують на витривалість (3.91 ДБН В.2.3-14:2006 зі зміною № 1).

Зважаючи на попередні редакції стандарту ДСТУ 3760, використовувати арматуру для конструкцій, які розраховують на витривалість можна лише таку, яка відповідає вимогам ДСТУ 3760:2019 зі змінами № 1, № 2 з урахуванням положень ДБН В.2.3-14:2006 зі зміною № 1.

Арматурний прокат згідно з ДСТУ 9130:2021 достатньо близький за вимогами до арматурного прокату згідно з ГОСТ 5781-82. Зокрема, має подібний профіль, геометричні розміри. Це, в свою чергу, є значною перевагою, оскільки дозволяє застосовувати пов'язані із цим напрацювання щодо конструювання під час проектування залізобетонних конструкцій.

Отже, з набранням чинності Зміни № 1 до ДБН В.2.3-14:2006 під час проектування залізобетонних конструкцій мостів і труб стало можливим застосування арматурного прокату, що виготовляється в Україні відповідно до національних нормативних документів. Крім того, нормами передбачено можливість використання нових типів арматурних сталей на підставі відповідних технічних специфікацій, складених згідно із Законом України «Про надання будівельної продукції на ринку».

Список літератури

1. ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия (ГОСТ 5781-82 Сталь горячекатаная для армування залізобетонних конструкцій. Технічні умови). М., 1990. 15 с. (Інформація та документація).
2. Бабяк І. П. Віхоть С. І. Дослідження арматури періодичного профілю А-Шв та перспективи її застосування для плит прогонових будов мостів. «Дороги і мости». Київ, 2023. Вип. 27. С. 216–227. URL: http://dorogimosti.org.ua/files/upload/216-227_Babiak_Vikhot.pdf.
3. Коваль П. М., Фаль А. Є., Стоянович С. В. Ефективні конструкції залізобетонних збірно-монолітних прогонових будов автодорожніх мостів з використанням попередньо напружених балок. Вісник НУ «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. Львів, 2010. Вип. 664. С. 44–52. URL: <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/ef56ae0d-3e10-40b4-bf50-469b5804f8de/content>.
4. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування. (Інформація та документація). Київ, 2006. 359 с. (Інформація та документація).
5. ДСТУ 3760:2019. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. Київ, 2019. 22 с. (Інформація та документація).
6. ДСТУ 3760:2019. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. Зміна № 2. Київ, 2022. 2 с. (Інформація та документація).
7. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування. Зміна № 1. Київ, 2024. 14 с. (Інформація та документація).
8. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування зі зміною № 1. Київ, 2024. 153 с. (Інформація та документація).
9. ДСТУ 3760-98. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. Київ, 1998. 14 с. (Інформація та документація).
10. ДСТУ 3760:2019. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. Зміна № 1. Київ, 2021. 5 с. (Інформація та документація).
11. ДСТУ 4042-2001. Прокат арматурний. Метод випробувань на втому. Київ, 2001. 9 с. (Інформація та документація).

12. ДСТУ ISO 15630-1:2022. Сталі для армування та попереднього напруження бетону. Методи випробування. Частина 1. Арматурні прутки, стрижні та дріт (ISO 15630-1:2019, IDT). Київ, 2022. 32 с. (Інформація та документація).

13. ДСТУ 9130:2021. Прокат гарячекатаний з арматурної сталі для залізобетонних конструкцій. Технічні умови. Київ, 2021. 19 с. (Інформація та документація).

14. ДСТУ EN 10080:2009. Сталь для армування бетону. Зварювана арматурна сталь. Загальні технічні умови (EN 10080:2005, IDT)». Київ, 2009. 57 с. (Інформація та документація).

15. Про затвердження Порядку застосування національних стандартів для будівельної продукції, що надається на ринку та не охоплюється або не повністю охоплюється національними стандартами для цілей застосування Закону України «Про надання будівельної продукції на ринку»: Постанова Кабінету Міністрів України від 02.12.2022 № 1348, редакція від 09.06.2022 // База даних Законодавство України / Кабінет Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1348-2022-%D0%BF#Text> (дата звернення: 28.02.2024).

References

1. HOST 5781-82. Stal horiachekatanaia dlia armyrovanyia zhelezobetonnykh konstrktsyi. Tekhnicheskyye usloviya (HOST 5781-82 Hot-rolled steel for reinforcing reinforced concrete structures. Specifications). Moscow, 1990. 15 p. (Information and documentation) [in Russian].

2. Babiak I. P. Vikhot S. I. Doslidzhennia armatury periodychnoho profilu A-IIIv ta perspektyvy yii zastosuvannya dlia plyt prohonovykh budov mostiv (Research of A-IIIv periodic profile reinforcement and its application prospects for slabs of spans of bridges). *Dorohy i mosty* (Roads and bridges). Kyiv, 2023. Vyp. 27. P. 216–227. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.216> [in Ukrainian].

3. Koval P. M., Fal A. Ye., Stoianovych S. V. Efektyvni konstruktсии zalizobetonnykh zbirno-monolitnykh prohonovykh budov avtodorozhnykh mostiv z vykorystanniam poperedno napruzhenykh balok (Effective designs of reinforced concrete prefabricated monolithic span structures of highway bridges using prestressed beams). *Teoriia i praktyka budivnytstva* (visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika») (Theory and Practice of Construction (Bulletin of the National University «Lviv Polytechnic»)). Lviv, 2010. Vyp. 664. P. 44–52. URL: <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/ef56ae0d-3e10-40b4-bf50-469b5804f8de/content> [in Ukrainian].

4. DBN V.2.3-14:2006. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannya (State Building Norms (DBN V.2.3-14:2006) Transport constructions. Bridges and Culverts. Design rules). Kyiv, 2006. 359 p. (information and documentation) [in Ukrainian].

5. DSTU 3760:2019. Prokat armaturnyi dlia zalizobetonnykh konstruktсии. Zahalni tekhnichni umovy. (State Standard of Ukraine (DSTU 3760:2019) Rolled products for reinforcement of ferroconcrete structures. General specification). Kyiv, 2019. 22 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

6. DSTU 3760:2019. Prokat armaturnyi dlia zalizobetonnykh konstruktсии. Zahalni tekhnichni umovy. Zmina № 2 (State Standard of Ukraine (DSTU 3760:2019) Rolled products for reinforcement of ferroconcrete structures. General specification. Amendment No. 2). Kyiv, 2022. 2 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

7. DBN V.2.3-14:2006. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannya. Zmina № 1 (State Building Norms (DBN V.2.3-14:2006) Transport constructions. Bridges and Culverts. Design rules. Amendment No. 1). Kyiv, 2024. 14 p. (information and documentation) [in Ukrainian].

8. DBN V.2.3-14:2006. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannya (zi zminoiu № 1) (State Building Norms (DBN V.2.3-14:2006) Transport constructions. Bridges and Culverts. Design rules (with amendment No. 1). Kyiv, 2024. 153 p. (information and documentation) [in Ukrainian].

9. DSTU 3760-98. Prokat armaturnyi dlia zalizobetonnykh konstruktсии. Zahalni tekhnichni umovy. (State Standard of Ukraine (DSTU 3760-98) Rolled products for reinforcement of ferroconcrete structures. General specifications). Kyiv, 1998. 14 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

10. DSTU 3760:2019. Prokat armaturnyi dlia zalizobetonnykh konstrukttsii. Zahalni tekhnichni umovy. Zmina № 1 (State Standard of Ukraine (DSTU 3760:2019) Rolled products for reinforcement of ferroconcrete structures. General specification. Amendment No. 1). Kyiv, 2021. 5 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
11. DSTU 4042-2001. Prokat armaturnyi. Metod vyprobuvan na vtomu (State Standard of Ukraine (DSTU 4042-2001) Steel bars for reinforcement of concrete. Fatigue strength tests). Kyiv, 2001. 9 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
12. DSTU ISO 15630-1:2022. Stali dlia armuvannia ta poperednoho napruzhenia betonu. Metody vyprobuвання. Chastyna 1. Armaturni prutky, stryzhni ta drit (ISO 15630-1:2019, IDT) (State Standard of Ukraine (DSTU ISO 15630-1:2022 (ISO 15630-1:2019, IDT) Steel for the reinforcement and prestressing of concrete — Test methods. Part 1: reinforcing bars, rods and wire) Kyiv, 2022. 32 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
13. DSTU 9130:2021. Prokat hariachekatanyi z armaturnoi stali dlia zalizobetonnykh konstrukttsii. Tekhnichni umovy (State Standard of Ukraine (DSTU 9130:2021) Hot-rolled products from armature steel for reinforcement of ferroconcrete constructions. Specification). Kyiv, 2022. 20 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
14. DSTU EN 10080:2009. Ctal dlia armuvannia betonu. Zvariuvana armaturna stal. Zahalni tekhnichni umovy (EN 10080:2005, IDT) (State Standard of Ukraine (DSTU EN 10080:2009 (EN 10080:2005, IDT) Steel for the reinforcement of concrete. Weldable reinforcing steel - General) Kyiv, 2009. 57 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
15. (Pro zatverdzhennia Poriadku zastosuvannia natsionalnykh standartiv dlia budivelnoi produktsii, shcho nadaetsia na rynku ta ne okhophliuietsia abo ne povnistiu okhophliuietsia natsionalnymy standartamy dlia tsilei zastosuvannia Zakonu Ukrainy «Pro nadannia budivelnoi produktsii na rynku»: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 02.12.2022 No. 1348, redaktsiia vid 09.06.2022 // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Kabinet Ministriv Ukrainy). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1348-2022-%D0%BF#Text> (Last accessed: 28.02.2024) [in Ukrainian].

Volodymyr Kaskiv, Ph.D., Assoc. Prof., <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

Ihor Babyak, Ph.D., Sen. Research, <https://orcid.org/0000-0002-3732-2439>

State Enterprise «National Institute for Development Infrastructure» (SE «NIDI»), Kyiv, Ukraine

APPLICATION OF METAL REINFORCEMENT OF PERIODIC PROFILE IN TRANSPORT STRUCTURES. STANDARDIZATION ISSUES

Abstract

Introduction. In 2019, Ukraine abolished the GOST 5781-82 standard, which regulated the use of deformed reinforcing steel for reinforced concrete structures. This caused challenges in the design and construction of bridges, as there was no alternative specified for such reinforcement.

The use of appropriate materials is governed by the current DBN V.2.3-14:2006 “Transport Facilities. Bridges and Culverts. Design Rules”. As a temporary solution, the State Enterprise “Ukrainian Research and Training Center for Standardization, Certification, and Quality” (SE “UkrNDNC”) decided to temporarily reinstate GOST 5781-82 until the issue is resolved.

Problem Statement. After the repeal of GOST 5781-82, the only regulatory document governing the production of reinforcement for reinforced concrete structures in Ukraine remained DSTU 3760:2019 “Reinforcing Steel for Reinforced Concrete Structures. General Specifications”.

There arose a need to revise the provisions of this standard, considering its updated edition and the need to amend DBN V.2.3-14:2006. Simultaneously, research was conducted into the feasibility of using alternative types of reinforcement not covered by DSTU 3760:2019.

Objective. To analyze the provisions of DBN V.2.3-14:2006 regarding requirements for deformed reinforcing steel for reinforced concrete bridge and culvert structures. To examine the standards regulating such reinforcement and its technical characteristics under DBN V.2.3-14:2006 and the Ukrainian regulatory framework before and after the enforcement of Amendment No. 1 (effective from 01.12.2024). To identify the features of using deformed reinforcing steel under the new version of the building code.

Materials and Methods. The research is based on the analysis of regulatory and technical documents, as well as literary sources on the use of deformed reinforcing steel for reinforced concrete bridges and culverts.

Results. The study analyzed the impact of GOST 5781-82 cancellation on bridge design and construction. The requirements for deformed reinforcing steel in DBN V.2.3-14:2006 and its Amendment No. 1 were examined, along with other regulatory documents concerning steel for concrete reinforcement and rolled steel for reinforced concrete.

Conclusions. According to DBN V.2.3-14:2006 with Amendment No. 1, deformed reinforcing steel in accordance with DSTU 9130:2021; DSTU 3760:2019 with Amendments No. 1 and No. 2; and DSTU EN 10080:2009 (EN 10080:2005, IDT) may be used in bridge reinforcement. The established approach to ensuring reinforcement ductility allows for the use of steel meeting any of these standards. This also applies to structures designed for durability. Additionally, the use of new reinforcement steels is permitted under relevant regulatory technical specifications in accordance with the Law of Ukraine “On the Provision of Construction Products on the Market”.

Keywords: reinforcement, reinforcing steel, durability, fatigue strength, state building codes, reinforced concrete, structure, bridge, deformed reinforcing steel, standard.

УДК 624.21/8

Овчаренко О. А., канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0003-1906-7021>Фігаров В. С., <https://orcid.org/0000-0003-0478-3893>*Харківський національний автомобільно-дорожній університет (ХНАДУ), м. Харків, Україна*

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОЄКТУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ПАЛЬОВО-ПЛИТНИХ ФУНДАМЕНТІВ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Анотація

Вступ. Сучасне будівництво мостових конструкцій потребує вирішення різнопланових геотехнічних задач і розробки нових типів конструктивно надійних та економічно обґрунтованих фундаментів, у тому числі в складних інженерно-геологічних умовах. У світовій практиці будівництва мостових та інших споруд в останні десятиріччя однією з прогресивних розробок є комбінований пальово-плитний фундамент, де навантаження від споруди розподіляються між палями і плитою ростверку.

Проблематика. Одним із актуальних питань у практиці проєктування мостових споруд в Україні є розроблення економічно обґрунтованих і раціональних конструктивних рішень фундаментних систем, що особливо важливо у перспективі повоєнного відновлення цивільної інфраструктури країни. Так, комбіновані пальово-плитні фундаменти, які зарекомендували себе як альтернатива пальовим фундаментам зі значною економією бюджету на будівництво, ніколи не застосовувалися у проєктах мостів на території України.

Мета. Дослідити теоретичні передумови, наявні методи та світовий досвід проєктування комбінованих пальово-плитних фундаментів і оцінити можливість їх застосування в українській практиці проєктування та будівництва мостових споруд.

Результати. Протягом останніх десятиріч питаннями пальово-плитних фундаментів займалися зарубіжні та вітчизняні вчені, результатом чого є низка спрощених і детальних методів аналізу та проєктування, у тому числі із застосуванням сучасних потужних програмних комплексів, та, як наслідок, загальносвітова тенденція зростання кількості об'єктів із застосуванням такого типу фундаментів, у тому числі у мостових спорудах.

Висновки. Дослідження комбінованих пальово-плитних фундаментів мостових споруд та розвиток наукових основ їх розрахунку й проєктування є актуальним напрямом у механіці ґрунтів та фундаментобудуванні в українській практиці, а також у повоєнному відновленні України.

Ключові слова: мостові конструкції, осідання, паля, пальово-плитний фундамент, плита.

Вступ

Проєктування фундаментів мостових конструкцій це складний процес, який потребує врахування низки чинників, таких як вертикальні та горизонтальні навантаження (сили, моменти сил тощо), взаємодія між конструкцією мосту та фундаментом, інженерно-геологічні умови та інші.

Фундаменти мостових конструкцій поділяють на фундаменти мілкового закладання (стовпчасті фундаменти, плитні фундаменти тощо) та фундаменти глибокого закладання (переважно пальові фундаменти) [1].

Комбінований пальово-плитний фундамент це система, яка виконує функції передачі навантажень від споруди на ґрунтовий масив і складається з трьох складових, які мають несні функції: фундаментна плита, палі та ґрунтова основа. У випадках, коли плитні фундаменти не задовільняють проєктні вимоги з точки зору осідань у певних інженерно-геологічних умовах, доцільне використання пальових фундаментів. Проте, пальовий фундамент є дороговартісним проєктом рішенням. Так, комбінований пальово-плитний фундамент є обґрунтованим варіантом з конструктивної та економічної точок зору: додавання обмеженої кількості паль може збільшити

несну здатність системи та зменшити величини осідань порівняно з плитним фундаментом, та суттєво знизити вартість порівняно палювим.

Вибір ефективних рішень таких фундаментів залежить від багатьох чинників: особливостей ґрунтових умов, параметрів паль і кроку між ними, жорсткості плити, моделі основи і характеру взаємодії між палями, плитою і ґрунтом та ін.

Впродовж останніх десятиріч питаннями пальово-плитних та плитно-пальових фундаментів займалися вітчизняні та зарубіжні вчені, такі як Бойко І. П., Ван Імпе В., Віджжані Ч., Голубков В. М., Катценбах Р., Никитенко М. І., Носенко В. С., Поулос Г., Рендольф М., Ройль О., Самородов О. В., Сахаров В. О., Тугасенко Ю. Ф., Френке Е. та інші. Незважаючи на те, що наукові дослідження цієї теми ведуть з середини минулого сторіччя, найбільш ґрунтовні та точні результати були досягнуті починаючи з 1990-х років за допомогою комп'ютерного моделювання в спеціалізованих програмних комплексах. Результатом виконаних досліджень є ряд споруд по всьому світу, збудованих із застосуванням комбінованих пальово-плитних фундаментів: висотні будівлі Messeturm, Taunusturm, European Central Bank, мостові споруди для ділянки трас швидкісних поїздів Ганновер-Вюрцбург та багато інших.

Слід зазначити, що застосування комбінованих пальово-плитних фундаментів не є розповсюдженим в українській практиці геотехнічного проектування, більш того, даний тип фундаментів ніколи не застосовувався у проєктах мостових споруд. Причиною цього є відсутність необхідної нормативної бази, а також відповідного досвіду проектування серед широкого загалу українських інженерів.

Дана стаття розглядає теоретичні передумови, наявні методи та світовий досвід проектування комбінованих пальово-плитних фундаментів з огляду на можливість їх застосування в українській практиці проектування та будівництва мостових споруд.

Основна частина

Комбінований пальово-плитний фундамент (КППФ) це геотехнічна композитна конструкція, яка поєднує несну здатність фундаментних елементів (плити і паль) з урахуванням взаємодії між фундаментними елементами і ґрунтом [2].

Всього при роботі фундаментних конструкцій, що складаються з паль та плити, можуть відбуватись чотири типи взаємодії між фундаментом та ґрунтовим масивом (**рис. 1**): паля – ґрунт (взаємодія по типу 1)), плита – ґрунт (взаємодія по типу 2)), паля – паля (взаємодія по типу 3)), плита – паля (взаємодія по типу 4)).

При комбінованому пальово-плитному фундаменті, роботу якого відображено на **рис. 1 г**, окрім паль в роботу залучена фундаментна плита, що додає до взаємодії фундаменту з ґрунтовим масивом по типах «паля – ґрунт» і «паля – паля» (типи 1 і 3 відповідно) ще й взаємодію плити з ґрунтовим масивом «плита – ґрунт» (тип 2) і взаємодію плити з палями «плита – паля» (тип 4).

Основним критерієм оцінки взаємодії елементів є пальово-плитний коефіцієнт, який полягає у відношенні суми навантаження, що сприймає пальова складова, до загального навантаження від споруди, та описаний рівністю (2). Якщо цей коефіцієнт складає 0, то пальово-плитна система працює, як плитний фундамент, якщо 1 — як пальовий фундамент. Для того, щоб пальово-плитна система працювала, як комбінований пальово-плитний фундамент, повинна бути задоволена тотожність (3):

$$P_{tot} = P_r + \sum P_p, \quad (1)$$

де P_{tot} — загальне навантаження від споруди;
 P_r — навантаження, що сприймається плитою;
 $\sum P_p$ — сума навантажень, що сприймаються пальовою складовою.

$$\alpha_{pr} = \frac{\sum P_p}{P_{tot}}, \quad (2)$$

де α_{pr} — пальово-плитний коефіцієнт.

$$0 < \alpha_{pr} < 1. \quad (3)$$

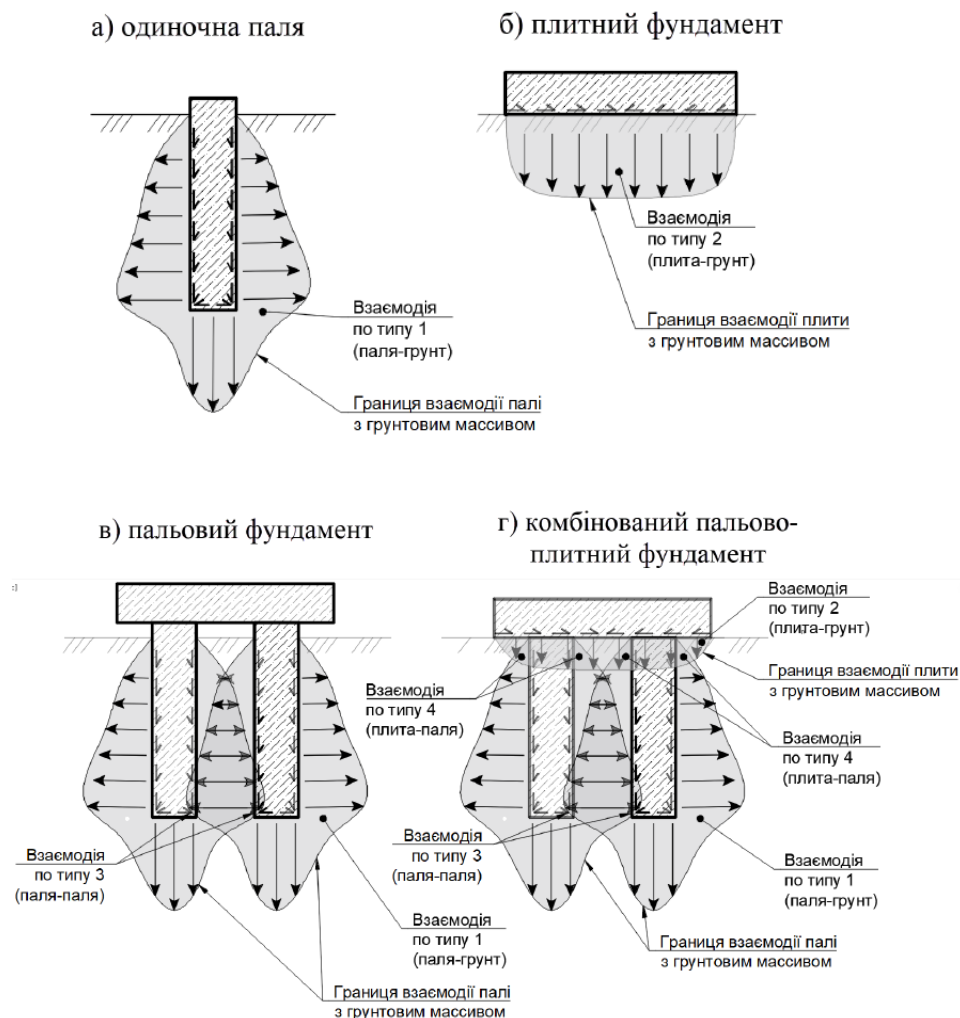


Рисунок 1 — Типи взаємодії між елементами фундаменту та ґрунтовим масивом

Кількісно роботу пильово-плитної системи можна описати залежністю пильово-плитного коефіцієнта до відношення осідання комбiнованого пильово-плитного фундаменту (S_{pr}) та осідання плитного фундаменту (S_r). Графічно цю залежність відображено на **рис. 2**.

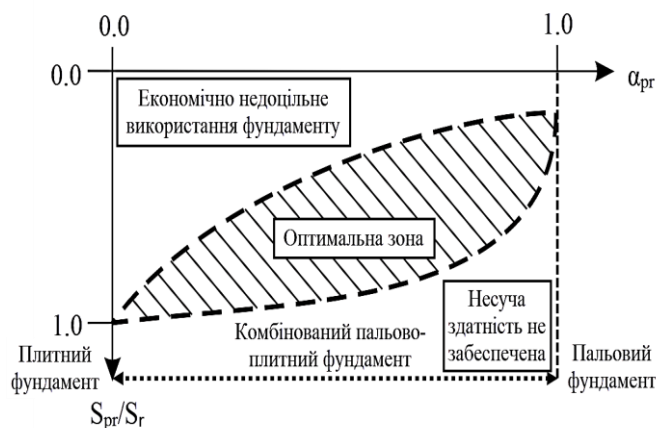


Рисунок 2 — Кількісне відображення роботи пильово-плитного фундаменту [2]

Основні переваги комбінованих пальово-плитних фундаментів

Серед основних переваг КППФ виділяють наступні:

- зменшення осідань та нахилу;
- підвищення несної здатності фундаментів;
- зниження згинального зусилля в плиті;
- зниження витрат;
- зменшення використовуваного матеріалу;
- зменшення викидів CO₂.

Класи пальово-плитних фундаментів та філософія їх проєктування

Розрізняють два класи пальово-плитних фундаментів [3]:

1. «Малі» пальово-плитні фундаменти, де основною причиною додавання паль є підвищення коефіцієнта міцності (зазвичай це стосується плит шириною від 5 м до 15 м).

2. «Великі» пальово-плитні фундаменти, несна здатність яких достатня щоб витримати прикладене навантаження з прийнятним запасом міцності, але палі потрібні для зменшення осідання або диференційованого осідання. У таких випадках ширина плити є великою порівняно з довжиною паль.

У [4] чітко визначені три різні філософії проєктування пальово-плитних фундаментів:

- «Класичний підхід», при якому палі сконструйовані як група, щоб нести основну частину навантаження, враховуючи при цьому певний внесок плити, насамперед у граничну несну здатність.
- «Повзучі палі», де палі розроблені для роботи під час навантаження, яке спричиняє значну повзучість, як правило, 70 – 80 % від граничної несної здатності. Передбачена достатня кількість паль, щоб зменшити контактний тиск між плитою та ґрунтом до рівня нижче тиску попереднього ущільнення ґрунту.
- Контроль диференційованого осідання, при якому палі розташовуються стратегічно, щоб зменшити диференціальне осідання, а не суттєво зменшити загальне середнє осідання.

Крім того, існує більш екстремальний варіант «повзучих паль», у якому використовується повна несна здатність паль, тобто деякі або всі палі працюють на 100 % своєї граничної несної здатності. Це породжує концепцію використання паль у першу чергу для зменшення осідань, у той час визнаючи, що вони також сприяють збільшенню граничної несної здатності всієї фундаментної системи.

Основні питання при розрахунках

Як і будь-яка фундаментна система, розрахунок пальово-плитного фундаменту вимагає врахування ряду питань, включаючи наступні:

1. Несна здатність з урахуванням дії вертикальних та бічних навантажень, та навантажень від дії моменту.
2. Максимальне осідання.
3. Диференціальні осідання.
4. Моменти та зсув плити для розрахунку плити.
5. Пальові навантаження та моменти для розрахунку паль.

У більшості доступної літератури увага акцентується на несній здатності та осіданні під дією вертикальних навантажень. Хоча це і є критично важливим аспектом, проте, інші питання також повинні бути розглянуті. Наприклад, у деяких випадках вимоги до паль можуть регулюватися перекидними моментами та прикладеними горизонтальними навантаженнями (наприклад, дія вітру), а не вертикальними постійними та тимчасовими [5].

Класифікація методів проєктування

За останні десятиріччя була розроблена низка методів проєктування пальово-плитних фундаментів, і деякі з них були підсумовані у [6]. Було визначено три широкі класи методів проєктування:

- Спрощені методи розрахунку.
- Наближені комп'ютерно-орієнтовані методи.
- Деталізовані комп'ютерно-орієнтовані методи.

До спрощених методів належать методи Поулоса та Девіса [7], Рендольфа [8], Ван Імпе та Клерка [9], та Берленда [10]. Усі вони передбачають ряд спрощень щодо моделювання ґрунтового профілю та умов навантаження на плиту.

За методом Поулоса-Девіса-Рендольфа (ПДР), який набув широкого розповсюдження, оцінка вертикальної несної здатності пальово-плитного фундаменту виконується за допомогою простих підходів, де гранична несна здатність може бути прийнята як менша з наступних двох величин:

- Сума несної здатності плити та паль.
- Гранична несна здатність блоку, який складається з паль та плити, а також частини плити, яка знаходиться за межами зовнішнього контуру паль.

Цей метод дозволяє швидко розрахувати залежність між кількістю паль та середнім осіданням фундаменту, а також оцінити можливість застосування підходу «повзучих паль».

Для оцінки використання паль з метою зменшення осідань, Берлендом [11] був запропонований метод оцінки впливу паль на осідання плити шляхом аналізу взаємодії навантаження-осідання під дією тривалого навантаження.

Спрощені методи розрахунку дозволяють оцінити окремі параметри пальово-плитних фундаментів та перспективність їх застосування у певних умовах, але для прийняття проєктних рішень треба застосовувати більш надійні, комп'ютерно-орієнтовані методи.

До наближених комп'ютерно-орієнтованих методів належать підходи «смуга на пружинах» та «плита на пружинах».

При підході «смуга на пружинах» (GASP), плита моделюється як серія опорних смуг, а палі — як пружини відповідної жорсткості. Метод Поулоса [10] є прикладом такого підходу. Цей метод потребує ряду спрощень для всіх чотирьох видів взаємодій у пальово-плитному фундаменті та обмежує використання нелінійних властивостей елементів лише вздовж довшого напрямку полос.

При підході «плита на пружинах» (GARP), плита моделюється як еластична пластина, палі — як пружини, а ґрунт — як еластичний простір. Методи Кленсі та Рендольфа [12], Поулоса [13], Віджжані [14] та інших є прикладами даного підходу. Незважаючи на ряд обмежень та спрощень, Поулосом [5] була встановлена задовільна збіжність результатів використовуючи ці методи із результатами за деталізованими комп'ютерно-орієнтованими методами.

Деталізовані комп'ютерно-орієнтовані методи дозволяють в повному обсязі враховувати всі типи взаємодії в пальово-плитному фундаменті. Ці методи побудовані на аналізі напружено-еластичної взаємодії дискретних елементів системи, яка складається із фундаменту та ґрунтового масиву. До деталізованих комп'ютерно-орієнтованих методів належать наступні:

- Методи граничних елементів, при яких плита, палі та контактний шар ґрунту є дискретними в границях визначеного середовища і використовують теорію еластичності для визначення параметрів пальово-плитного фундаменту. Такі методи були розроблені Баттерфілдом та Банерье [15], Брауном та Віснером [16] та ін.

- Методи, які поєднують граничні елементи для паль та скінченні елементи для плит, наприклад метод Френке [17];

- Спрощений аналіз методом скінченних елементів.

- Тривимірний аналіз методом скінченних елементів. Дослідження в цьому напрямку проводили Жуанг та ін. [18], Лі [19] та ін. Методику застосування тривимірного простору скінченних елементів (нелінійне середовище) для розрахунку пальово-плитних фундаментів розробив Катценбах та ін. [2]. Використання даного підходу звільняє від спрощень, які приймалися у описаних вище методах.

Таким чином, сучасні методи проєктування дають можливість виконати повний спектр необхідних розрахунків для оцінки надійності та проєктування комбінованих пальово-плитних фундаментів мостових конструкцій.

Порядок застосування методів проєктування на практиці

На практиці, проєктування пальово-плитного фундаменту раціонально проводити у три етапи:

1. Метод ПДР — для оцінювання приблизно необхідної кількості паль, щоб задовольнити загальну несну здатність і вимоги до осідання.

2. Спрощений підхід — для оцінювання максимального навантаження, яке може витримати плита без паль. Це забезпечить засіб оцінювання розташування паль для певної товщини плити, а також вимоги до таких паль.

3. Деталізоване моделювання для фінального проєктування фундаменту методом скінченних елементів у потужних програмних комплексах, таких як PLAXIS, ANSYS, ABAQUS, SOFISTIK, MIDAS та FLAC 3D, для отримання детальних результатів осідання та диференціального осідання за різних комбінацій навантажень, а також моделювання поведінки плити та паль [5].

Розташування паль буде залежати від схеми навантаження та наявності або відсутності концентрованих навантажень від колон. Як правило, пальі необхідні за відносно великих навантажень від колон, коли товщина плити недостатня для забезпечення необхідного опору зсуву та моменту, або коли місцеве осідання є надмірним. Крім того, наявність високих бічних навантажень, наприклад, від дії вітру, може вимагати розміщення паль біля країв плити, навіть якщо при нормальних експлуатаційних навантаженнях осідання біля країв незначне [5].

Для проєктування пальово-плитних фундаментів мостових конструкцій важливо отримати якісну оцінку геотехнічних параметрів ґрунтового профілю. У багатьох випадках це може включати використання відповідних кореляцій між значеннями результатів стандартного пенетраційного випробування (standard penetration test, SPT) або статичного зондування (cone penetration test, CPT) та модулем пружності і міцністю ґрунту. Декур [20] надає деякі корисні кореляції з даними SPT, і вони також узагальнені Поулосом [22], який описує ряд практичних застосувань пальово-плитних фундаментів.

Норми і нормативні документи

Методи розрахунку комбінованих пальово-плитних фундаментів не представлені в українських державних будівельних нормах та Єврокодах. Зазвичай для розрахунку використовується посібник ISSMGE Combined Pile-Raft Foundation Guideline, розроблений Катценбахом та ін. Наразі в Республіці Індія розроблений проєкт будівельних норм з пальово-плитних фундаментів «Draft Indian Standard Design and construction of combined piled raft foundations — Code of practice», який буде прийнятий найближчим часом.

Висновки

Протягом останніх десятиріч була розроблена низка підходів до проєктування пальово-плитних фундаментів та набраний банк досвіду проєктування із застосуванням потужних програмних комплексів, таких як PLAXIS, ANSYS, ABAQUS, SOFISTIK, MIDAS, FLAC 3D та інших, результатом чого є ряд споруд по всьому світу, у тому числі мостових, збудованих із застосуванням цієї геотехнічної системи.

З огляду на економічні переваги комбінованих пальово-плитних фундаментів та важливість повоєнного відновлення цивільної інфраструктури України, дослідження цього типу фундаментів у мостових спорудах та розвиток наукових основ їх розрахунку й проєктування є актуальним і перспективним напрямом у механіці ґрунтів та фундаментобудуванні в українській практиці.

Список літератури

1. Poulos, H. G. and Ameratunga, J. A practical approach to bridge foundation design. *Australian Geomechanics Journal*, 2022.
2. Katzenbach, R. and Choudhury, D. ISSMGE Combined Pile-Raft Foundation Guideline. Technische Universität Darmstadt. Darmstadt, Germany, 2013.
3. Viggiani, C. Analysis and Design of Piled Foundations. *1st Arrigo Croce Lecture, Rivista Italiana de Geot.*, 2001. 47–75.
4. Randolph, M. F. Design Methods for Pile Groups and Piled Rafts. *Report, 13 ICSMFE*. New Delhi, 1994. 61–82.
5. Poulos, H.G. Method of analysis of piled raft foundations. Coffey Geoscience Pty, Ltd & University of Sydney, Australia. 2001.
6. Poulos, H. G., Small, J. C., Ta, L. D., Sinha, J. and Chen, L. Comparison of Some Methods for Analysis of Piled Rafts. *Proc. 14 ICSMFE*. Hamburg, 1997. 1119–1124.
7. Poulos, H. G. and Davis, E.H. Pile Foundation Analysis and Design. Wiley, New York, 1980.

8. Randolph, M. F. Design of Piled Foundations. Cambridge Univ. Eng. Dept., Res. Rep. Soils TR143. 1983.
9. Van Impe, W. F. and Clerq, L. A Piled Raft Interaction Model. *Geotechnica*, 1995. No.73, 1–23.
10. Burland, J. B. Piles as Settlement Reducers. Keynote Address. *18th Italian Congress on Soil Mechanics*, Pavia, Italy, 1995.
11. Poulos, H. G. Analysis of Piled Strip Foundations. *Comp. Methods & Advances in Geomechs.* Rotterdam, 1991. 183–191.
12. Clancy, P. and Randolph, M. F. Analysis and Design of Piled raft Foundations. *Int. J. NAM Geomechs*, 1993.
13. Poulos, H.G. An Approximate Numerical Analysis of Pile-Raft Interaction. *Int. J. NAM Geomechs*, 1994. 73–92.
14. Viggiani, C. Pile Groups and Piled Rafts Behaviour. *Deep Founds. on Bored and Auger Piles, BAP III*. Rotterdam, 1998. 77–90.
15. Butterfield, R. and Banerjee, P.K. The Elastic Analysis of Compressible Piles and Pile Groups. *Geotechnique*, 1971, 21(1). 43–60.
16. Brown, P. T. and Wiesner, T. J. The Behaviour of Uniformly Loaded Piled Strip Footings. *Soils and Foundations*, 1975, 15(4). 13–21.
17. Franke, E., Lutz, B. and El-Mossallamy, Y. Measurements and Numerical Modelling of High-Rise Building Foundations on Frankfurt Clay'. *Geot. Spec. Pub. 40, ASCE*. 1994. 1325–1336.
18. Zhuang, G. M., Lee, I. K., Zhao, X. H. Interactive Analysis of Behavior of Raft-Pile Foundations. *Proc. Geo-Coast '91*. Yokohama, 1991. 759–764.
19. Lee, I. K. Analysis and Performance of Raft and Raft-Pile Systems. Keynote Lect. *3rd Int. Conf. Case Hist. in Geot. Eng.* St. Louis (also *Res. Rep. R133, ADFA*. Univ. NSW, Australia), 1993.
20. Decourt, L. Predictions of Load-Settlement Relationships for Foundations on the Basis of SPT-T. *Ciclo de Conf. Int. "Leonardo Zeevaert"*. UNAM, Mexico, 1995. 85–104.
21. Poulos, H. G. Pile-Raft Interaction – Alternative Methods of Analysis. *Developments in Theor. Geomechanics*. Rotterdam, 2000. 445–468.

References

1. Poulos, H.G. and Ameratunga, J. A practical approach to bridge foundation design. *Australian Geomechanics Journal*, 2022 [in English].
2. Katzenbach, R. and Choudhury, D. ISSMGE Combined Pile-Raft Foundation Guideline. Technische Universität Darmstadt. Darmstadt, Germany. 2013 [in English].
3. Viggiani, C. Analysis and Design of Piled Foundations. *1st Arrigo Croce Lecture, Rivista Italiana de Geot*, 2001. 47–75 [in English].
4. Randolph, M.F. Design Methods for Pile Groups and Piled Rafts. *Report, 13 ICSMFE*. New Delhi, 1994. 61–82 [in English].
5. Poulos, H.G. Method of analysis of piled raft foundations. Coffey Geoscience Pty, Ltd & University of Sydney, Australia, 2001 [in English].
6. Poulos, H.G., Small, J.C., Ta, L.D., Sinha, J. and Chen, L. Comparison of Some Methods for Analysis of Piled Rafts. *Proc. 14 ICSMFE*. Hamburg, 1997. 1119–1124 [in English].
7. Poulos, H. G. and Davis, E. H. Pile Foundation Analysis and Design. Wiley, New York, 1980 [in English].
8. Randolph, M. F. Design of Piled Foundations. Cambridge Univ. Eng. Dept., Res. Rep. Soils TR143, 1983 [in English].
9. Van Impe, W. F. and Clerq, L. A Piled Raft Interaction Model. *Geotechnica*, 1995, No. 73. 1–23. [in English].
10. Burland, J. B. Piles as Settlement Reducers. Keynote Address. *18th Italian Congress on Soil Mechanics*. Pavia, Italy, 1995 [in English].
11. Poulos, H. G. Analysis of Piled Strip Foundations. *Comp. Methods & Advances in Geomechs*. Rotterdam, 1991. 183–191 [in English].
12. Clancy, P. and Randolph, M. F. Analysis and Design of Piled raft Foundations. *Int. J. NAM Geomechs*. 1993 [in English].

13. Poulos, H. G. An Approximate Numerical Analysis of Pile-Raft Interaction. *Int. J. NAM Geomechs*, 1994. 73–92 [in English].
 14. Viggiani, C. Pile Groups and Piled Rafts Behaviour. *Deep Foundations on Bored and Auger Piles, BAP III*. Rotterdam, 1998. 77–90 [in English].
 15. Butterfield, R. and Banerjee, P. K. The Elastic Analysis of Compressible Piles and Pile Groups. *Geotechnique*, 1971, 21(1). 43–60 [in English].
 16. Brown, P. T. and Wiesner, T. J. The Behaviour of Uniformly Loaded Piled Strip Footings. *Soils and Foundations*, 1975, 15(4). 13–21 [in English].
 17. Franke, E., Lutz, B. and El-Mossallamy, Y. Measurements and Numerical Modelling of High-Rise Building Foundations on Frankfurt Clay'. *Geot. Spec. Pub. 40, ASCE*. 1994. 1325–1336 [in English].
 18. Zhuang, G. M., Lee, I. K., Zhao, X. H. Interactive Analysis of Behavior of Raft-Pile Foundations. *Proc. Geo-Coast '91*. Yokohama, 1991. 759–764 [in English].
 19. Lee, I. K. Analysis and Performance of Raft and Raft-Pile Systems. Keynote Lect. *3rd Int. Conf. Case Hist. in Geot. Eng.* St. Louis (also *Res. Rep. R133, ADFA*. Univ. NSW, Australia), 1993 [in English].
 20. Decourt, L. Predictions of Load-Settlement Relationships for Foundations on the Basis of SPT-T. *Ciclo de Conf. Int. "Leonardo Zeevaert"*. UNAM, Mexico, 1995. 85–104 [in English].
 21. Poulos, H. G. Pile-Raft Interaction – Alternative Methods of Analysis. *Developments in Theor. Geomechanics*. Rotterdam, 2000. 445–468 [in English].
-

Oleksii Ovcharenko, Ph.D., Assoc. Prof., <https://orcid.org/0000-0003-1906-7021>

Vladyslav Fitarov, <https://orcid.org/0000-0003-0478-3893>

Kharkiv National Automobile and Highway University (KHNADU), Kharkiv, Ukraine

ANALYSIS OF DESIGN METHODS FOR COMBINED PILED RAFT FOUNDATIONS AND PROSPECTS OF THEIR APPLICATION IN BRIDGE STRUCTURES

Abstract

Introduction. Modern construction of bridge structures requires solving diverse geotechnical problems and developing new types of structurally reliable and economically reasonable foundations, including in complex geological conditions. In the world practice of construction of bridges and other structures in recent decades, one of the progressive developments is the combined piled raft foundation, where the loads from the structure are distributed between the piles and the raft.

Problem statement. One of the current issues in the practice of bridge structures design in Ukraine is the development of economically reasonable and rational design solutions for foundation systems, which is especially important in the perspective of the post-war restoration of the country's civil infrastructure. Thus, combined piled raft foundations, which have proven themselves as an alternative to pile foundations with significant savings in the construction budget, have never been used in bridge projects in Ukraine.

Purpose. To investigate the theoretical prerequisites, existing methods, and world experience in design of combined piled raft foundations and assess the possibility of their application in the Ukrainian practice of design and construction of bridge structures.

Results. Over the past decades, foreign and domestic scientists have been studying the issues of piled raft foundations, resulting in a number of simplified and detailed analysis and design methods, including those using modern powerful software packages, and, as a result, a global trend of increasing the number of facilities using this type of foundation, including in bridge structures.

Conclusions. The study of combined piled raft foundations for bridge structures and the development of scientific basics for their calculation and design is a relevant direction in soil mechanics and foundation construction in Ukrainian practice, as well as in the post-war reconstruction of Ukraine.

Keywords: piled raft foundation, settlement, raft, pile, bridge structures.

УДК 624.21

Стоянович С. В., канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-1363-7356>Полюга Р. І., канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0003-3729-0577>*Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури (НАОМА), м. Київ, Україна*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ
МОНОЛІТНОЇ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНОЇ ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ МОСТУ****Анотація**

Вступ. В Україні все більше набувають популярності залізобетонні монолітні прогонові будови із застосування пост напружених систем. За результатами останніх досліджень, наявного досвіду застосування пост напруження при будівництві мостів можна виділити основні переваги таких рішень в порівнянні зі збірними попередньо напруженими конструкціями, а саме збільшення довжини прогонів та зменшення витрат матеріалів на їх влаштування.

Проблематика. Для досягнення більшої ефективності конструкцій прогонових будов із застосуванням пост напруження, які б прослужили запроектований строк, використовуючи всі свої переваги, важливо отримати комплексну інформацію про конструкцію, її технічний стан. Останні дослідження таких прогонових будов, що проводилися в Україні не дають змогу отримати більш якісну оцінку про роботу цих конструкцій цілому без детального дослідження їхніх характеристик при динамічних навантаженнях.

Тому питання вивчення динамічного впливу на монолітні залізобетонні прогонові будови влаштовані із застосуванням пост напружених систем є актуальним і потребує додаткових досліджень із метою вдосконалення та раціоналізації таких конструктивних рішень.

Мета. Дослідження динамічних характеристик (власних частот, декременту коливань та динамічного коефіцієнта) конструкції монолітної нерозрізної попередньо напруженої прогонової будови моста з натягом на бетон (пост напруженої системи).

Матеріали і методи. Під час написання статті використані матеріали випробувань залізобетонної прогонової будови моста через р. Десна на автомобільній дорозі загального користування державного значення М-01 Київ – Чернігів – Нові Яриловичі (на м. Гомель), південний під'їзд до м. Чернігова на км 11 + 414.

Використані наступні методи досліджень: аналізування інформації, математичне моделювання, методи натурних і теоретичних досліджень.

Результати. На основі проведеного дослідження прогонової будови мосту встановлено чотири форми коливань і частоти під дією динамічного навантаження. Найменш стабільні коливання відбуваються за першою формою. Коливання за цією формою збуджуються при швидкому русі транспорту та швидко згасають. Найбільш стабільні коливання прогонової будови (декремент коливань за даною формою не перевищує 0,04) має четверта форма коливань з частотою 5,91 Гц – ця форма коливань майже не чутлива до умов рухливості на кінцях прогонової будови і тому згасання коливань відбувається дуже повільно.

Представлено результати визначення динамічного коефіцієнта при різних швидкісних режимах руху одиночних автомобілів. При швидкості автомобілів від 10 км/год до 50 км/год значення коефіцієнта збільшується та становить від 1,07 – 1,23.

Висновки. За результатами аналізу отриманих даних виконання динамічних випробувань залізобетонної монолітної попередньо напруженої (пост напруженої системи) нерозрізної прогонової будови моста встановлено частоти основних форм власних коливань, значення динамічних коефіцієнтів для найбільш напружених конструктивних елементів прогонової будови.

Встановлено, що значення динамічних коефіцієнтів зі зростанням швидкості руху збільшуються та не перевищують нормативні значення.

Ключові слова: власні форми коливань, динамічний коефіцієнт, динамічні випробування, пост-напружені системи, прогонова будова.

Вступ

У мостобудуванні залізобетонні прогонові будови впродовж всього часу їхнього застосування постійно вдосконалюються. Враховуючи зростання маси транспортних засобів та інтенсивності їх руху, а також дефекти, що виникають у процесі експлуатації мостів, виникає необхідність під час проєктування нових і ремонтування існуючих прогонових будов у застосуванні покращених матеріалів і нових конструктивних рішень.

В Україні все більше набувають популярності залізобетонні монолітні прогонові будови з застосування пост напружених систем. За результатами останніх досліджень [1-5], наявного досвіду застосування пост напруження при будівництві мостів можна виділити основні переваги таких рішень в порівнянні зі збірними попередньо напруженими конструкціями, а саме збільшення довжини прогонів та зменшення витрат матеріалів на їх влаштування.

Для досягнення більшої ефективності конструкцій, які б прослужили запроєктований строк, використовуючи всі свої переваги, важливо отримати комплексну інформацію про конструкцію, її технічний стан. Ці дані можна отримати під час обстеження конструкцій та їх випробовування статичним і динамічним навантаженнями.

Аналізуючи останні дослідження, що проводилися в Україні [1 – 5], залізобетонних монолітних прогонових будов мостів з застосуванням пост напружених систем більшість випробувань виконувалось статичним навантаженням, що не дає змогу отримати більш якісну оцінку про роботу таких конструкцій в цілому без детального дослідження їхніх характеристик при динамічних навантаженнях.

В статті [6] авторами наведені результати досліджень монолітної залізобетонної прогонової будови влаштованої з застосуванням пост напруженої системи, на дію динамічних навантажень. Авторами описана методологія та результати виконання випробування прогонової будови з використанням імпульсного навантаження, що згідно з ДСТУ 8748 [7] відноситься до модального контролювання і є одним із видів динамічного випробування мостів. У результаті натурних і розрахункових досліджень отримали форми, частоти власних коливань прогонової будови, а також оцінено вплив наявних дефектів на жорсткість прогонової будови естакади та визначено її технічний стан.

Тому, враховуючи вище наведене, питання вивчення динамічного впливу на монолітні залізобетонні прогонові будови влаштовані із застосуванням пост напружених систем є актуальним і потребує додаткових досліджень з метою вдосконалення та раціоналізації таких конструктивних рішень.

Метою роботи є дослідження динамічних характеристик (власних частот, декременту коливань та динамічного коефіцієнту) конструкції монолітної нерозрізної попередньо напруженої прогонової будови моста з натягом на бетон (пост напруженої системи).

Основна частина

Об'єктом досліджень була нерозрізна залізобетонна монолітна попередньо напружена прогонова будова в осях 1 – 5 моста через р. Десна на автомобільній дорозі загального користування державного значення М-01 Київ – Чернігів – Нові Яриловичі (на м. Гомель), південний під'їзд до м. Чернігова на км 11+414.

У статті [5] наведений опис конструкції прогонової будови, а також проведено оцінювання та прогнозування її технічного стану, наведені результати досліджень параметрів просторової роботи та напружено-деформованого стану на основі натурних статичних випробувань.

У поперечному напрямку прогонова будова влаштована з двох балок суцільного перерізу, крок балок — 5,65 м, балки об'єднані між собою плитою проїзної частини, армування балок виконане попередньо напруженими пучками з натягом на бетон (технологія «пост-напруження»). По довжині балки прогонової будови мають змінну висоту. За статичною схемою прогонова будова виконана нерозрізною, влаштована з чотирьох прогонів за схемою 33 м + 39 м + 39 м + 33 м. Розрахункові тимчасові навантаження на споруду — А-15, НК 100.

Загальний вигляд прогонової будови наведено на **рис. 1**.



Рисунок 1 — Загальний вигляд прогонової будови моста на стадії будівництва [5]

Під час випробування прогонової будови динамічним навантаженням реєструвалися вертикальні прискорення в рівні проїзної частини в середині прогону.

Збудження коливань прогонової будови відбувалося в результаті проїзду одиночного завантаженого автомобіля по осі проїзної частини з різними швидкостями (**рис. 2**). Також було виконано реєстрацію динамічних реакцій від дії транспортного потоку при загальному режимі руху транспорту по мосту. Загальні та місцеві деформації (прогини та напруження) реєструвалися електричними перетворювачами деформацій, підсилювалися, перетворювалися в цифровий формат та записувалися в пам'ять комп'ютера (**рис. 3**). Прискорення реєструвалися сеймоприймачем Piezoelectric Accelerometer Seismic DeltaTron® Accelerometer Type 8340 (**рис. 3**) та також записувалися в ПК за допомогою системи НВМ Quantum X з подальшою обробкою ПО Catman AP.

На випробування проїзд випробувального навантаження відбувався в одному напрямку.



Рисунок 2 — Загальний вигляд проїзду транспортного засобу через перешкоду для посилення імпульсу

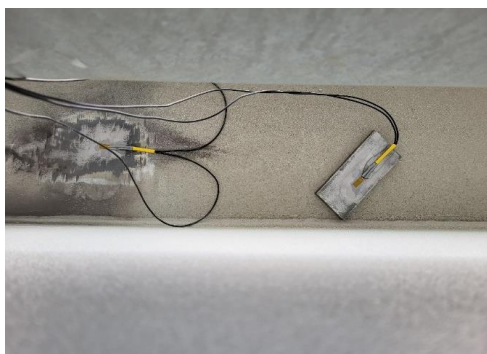
Враховуючи складний характер результуючих коливань прогонової будови, складові частоти результуючої діаграми динамічної реакції визначали шляхом гармонічного аналізу з визначенням амплітудного спектру частот, а також шляхом модального аналізу просторової розрахункової схеми в системі SCAD. Частоти власних коливань визначали за результатами аналізу ділянок діаграм вільних коливань конструкції (після з'їзду навантаження).



а)



б)



в)



г)

а) електронний сейсмоприймач; б) датчик переміщень; в, г) тензодатчики.

Рисунок 3 — Загальний вигляд вимірювальних приладів

Найбільш характерні діаграми (ділянки вільних коливань) та їх амплітудні спектри частот представлені на **рис. 4**. Результати визначення частот власних коливань представлено в **табл. 1**, а їхні форми на **рис. 5**.

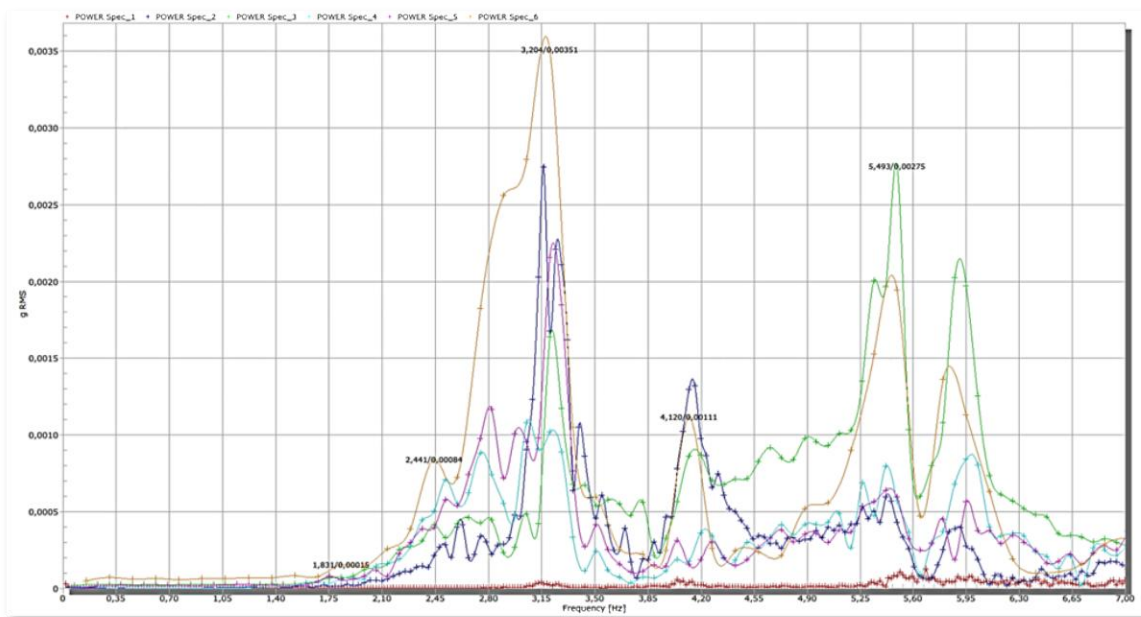
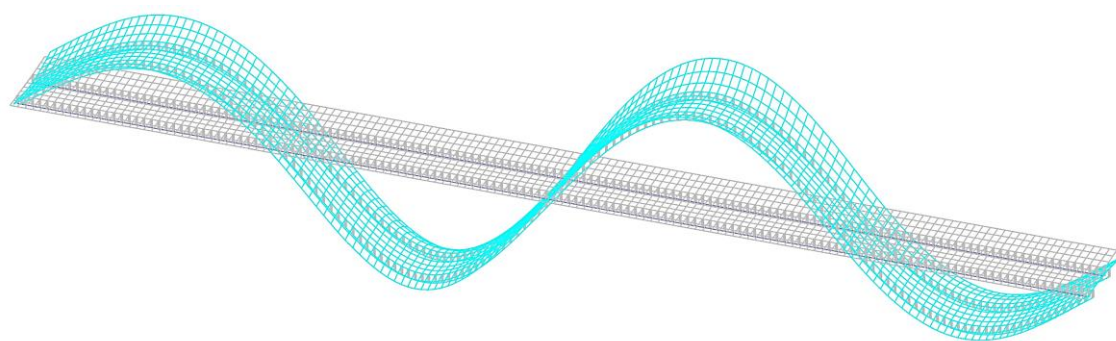
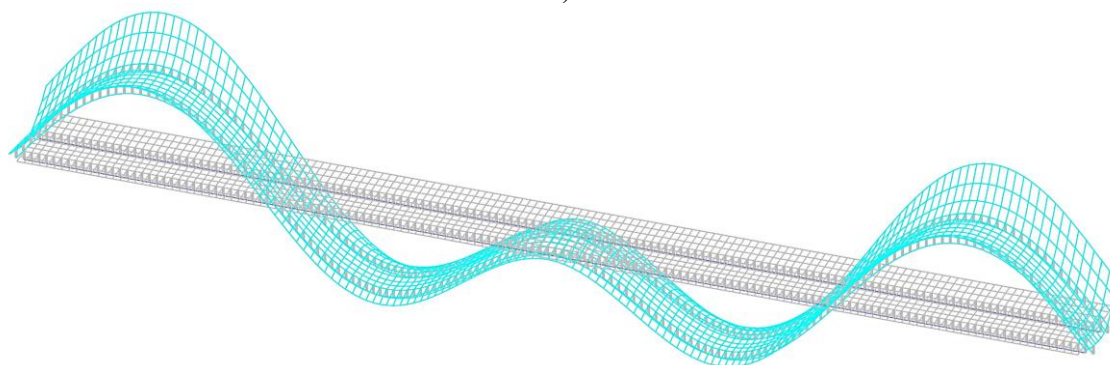


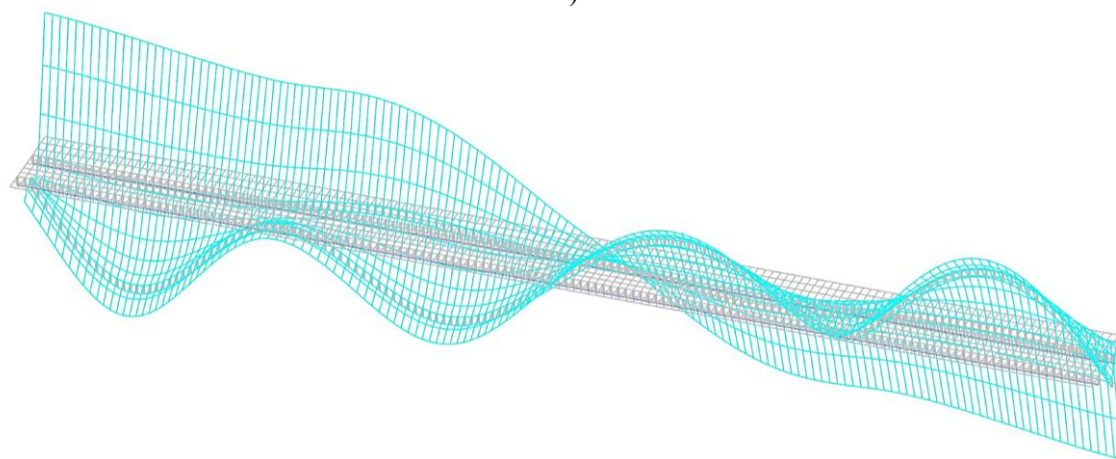
Рисунок 4 — Спектрограма амплітуд частот коливань конструкції при проїзді транспортного засобу



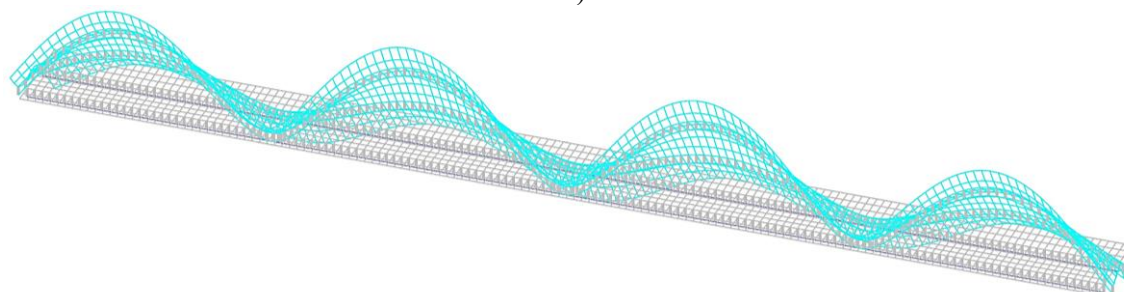
а)



б)



в)



г)

- а) перша форма; в) третя форма;
б) друга форма; г) четверта форма.

Рисунок 5 — Форми власних коливань

Таблиця 1

Частоти коливань та їх декременти

Форма коливань	Частота, Гц	Відхилення, %	Декремент
Перша	3,14	2,59	0,16
Друга	4,13	2,53	0,08
Третя	5,44	1,11	0,07
Четверта	5,91	1,35	0,04

Найменш стабільні коливання відбуваються за першою формою. Коливання за цією формою збуджуються при швидкому русі транспорту та швидко згасають. Під час руху навантаження коливання прогонової будови відбуваються і за формами з більш високими частотами, які визначаються крайніми прольотами та різними формами закручування поперечника — ці форми ще під час перебування навантаження на конструкції переходять одна в одну та зникають після з'їзду транспорту з прогонової будови.

Найбільші стабільні коливання прогонової будови (декремент коливань за даною формою не перевищує 0,04) має четверта форма коливань з частотою 5,91 Гц — ця форма коливань майже не чутлива до умов рухливості на кінцях прогонової будови і тому згасання коливань відбувається дуже повільно. Близькість значень частот за всіма визначеними формами видно і з **табл. 1**.

У **табл. 2** представлено результати визначення динамічного коефіцієнта при різних швидкісних режимах руху одиночних автомобілів.

Таблиця 2

Значення динамічних коефіцієнтів при різних швидкісних режимах

Швидкість, км/год	Динамічний коефіцієнт
10	1,07
15	1,09
20	1,09
25	1,10
30	1,10
35	1,10
40	1,15
45	1,22
50	1,23

Вцілому, відповідно до **табл. 1**, динамічні коефіцієнти мають досить не великі значення, збільшуються із зростанням швидкості руху та не перевищують нормативні значення.

Висновки

За результатами аналізу отриманих даних виконаних динамічних випробувань залізобетонної монолітної попередньо напруженої (пост напруженої системи) нерозрізної прогонової будови моста встановлено частоти основних форм власних коливань і значення динамічних коефіцієнтів для найбільш напружених конструктивних елементів прогонової будови.

Встановлено, що значення динамічних коефіцієнтів зі зростанням швидкості руху збільшуються та не перевищують нормативні значення.

Список літератури

1. Коваль П. М., Сташук П. М., Ковальчик Я. І. Дослідження тріщиностійкості монолітної попередньо напруженої естакади методом акустичної емісії. *Дороги і мости*. Київ, 2010. № 12. С. 56–62.
2. Коваль П. М., Сташук П. М., Ковальчик Я. І. Робота залізобетонного монолітного попередньо напруженого нерозрізного моста під навантаженням. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2011. № 22. С. 658–665.
3. Ковальчик Я. І., Сташук П. М., Фаль А. Є., Бабяк І. П. Аналіз термонапруженого стану монолітної попередньо напруженої естакади. *Вісник НУ «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва*. Львів, 2015. С. 123–134.
4. Стоянович С. В., Полюга Р. І. Дослідження напружено-деформованого стану залізобетонної монолітної попередньо напруженої прогонової будови шляхопроводу. *Дороги і мости*. Київ, 2023. Вип. 28. С. 221–233. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.221>.
5. Стоянович С. В., Полюга Р. І. Дослідження залізобетонної прогонової будови мосту із застосуванням системи пост-напруження. *Вісник Національної академії образотворчого мистецтва і архітектури*. 2024. Вип. 2. С. 27–33. DOI: <https://doi.org/10.32782/naoma-bulletin-2024-2-5>.
6. Редченко В. П., Завгородній С. С. Динамічні випробування мостів імпульсним навантаженням. *Дороги і мости*. Київ, 2023. Вип. 28. С. 185–194. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.185>.
7. ДСТУ 8748:2017 Настанова щодо проведення динамічних випробувань автодорожніх мостів. Київ, 2018. 22 с. (Інформація та документація).

References

1. Koval P. M., Stashuk P. M., Kovalchik Ya. I. Doslidzhennia trishchynostiikosti monolitnoi poperedno napruzhenoi estakady metodom akustychnoi emisii [Study of crack resistance of monolithic prestressed overpass by acoustic emission method]. *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2010. Issue 12. P. 56–62 [in Ukrainian].
2. Koval, P. M., Stashuk, P. M., & Kovalchik, Ya. I. (2011). Robota zalizobetonnoho monolitnoho poperedno napruzhenoho nerozriznoho mosta pid navantazhenniam [Operation of a reinforced concrete monolithic prestressed continuous bridge under load]. *Resursoekonomni materialy, konstruktсии, budivli ta sporudy: zbirnyk naukovykh prats* [Resource-saving materials, constructions, buildings and structures], (22), 658–665 [in Ukrainian].
3. Kovalchik Ya. I., Stashuk P. M., Fal A. Ye., Babiak I. P. Analiz termonapruzhenoho stanu monolitnoi poperedno napruzhenoi estakady [Analysis of the thermal stress state of a monolithic prestressed overpass]. *Visnyk NU «Lvivska politekhnikha»*. *Teoriia i praktyka budivnytstva*. Lviv, 2015. P. 123–134 [in Ukrainian].
4. Stoianovych, S.V., & Poliuha, R.I. (2023). Doslidzhennia napruzhenodeformovanoho stanu zalizobetonnoi monolitnoi poperedno napruzhenoi prohonovoi budovy shliakhoprovodu [Study of the stressed and deformed state of the reinforced concrete monolithic prestressed span structure of the overpass]. *Dorohy i mosty: zbirnyk naukovykh prats* [Roads and bridges: collection of scientific papers], (28), 221–233. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.221> [in Ukrainian].
5. Stoianovych, S., & Poliuga, R. (2024). Research of a reinforced concrete pre-stressed bridge structure using a post-tension system. *Bulletin of the National Academy of Fine Arts and Architecture*, No. 2 (2024), 27–33. DOI: <https://doi.org/10.32782/naoma-bulletin-2024-2-5> [in Ukrainian].
6. Vasyl Redchenko, Serhii Zavhorodnii. Dynamic testing of bridges with impulse loading. *Dorohy i mosti* [Roads and bridges]. Kyiv, 2023. Issue 28. P. 185–194. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.185> [in Ukrainian].
7. DSTU 8748:2017 Nastanova shchodo provedennia dynamichnykh vyprobuvan avtodorozhnikh mostiv [State Standard of Ukraine (DSTU 8748:2017) Guidelines for dynamic testing of road bridges]. Kyiv, 2018. 22 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Sergii Stoianovych, *Ph.D., Assoc. Prof.*, <https://orcid.org/0000-0002-1363-7356>

Roman Poliuga, *Ph.D., Assoc. Prof.*, <https://orcid.org/0000-0003-3729-0577>

National Academy Of Fine Arts And Architecture (NAFAA), Kyiv, Ukraine

RESEARCH OF THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A REINFORCED CONCRETE MONOLITHIC PRE-STRESSED BRIDGE SPAN STRUCTURE

Abstract

Introduction. In Ukraine, reinforced concrete monolithic span structures using post-tensioned systems are becoming more and more popular. According to the results of recent studies and existing experience in the use of post-tensioning in bridge construction, the main advantages of such solutions compared to prefabricated pre-stressed structures can be identified, namely, an increase in the length of spans and a decrease in the cost of materials for their installation.

Problems Statement. To achieve greater efficiency of post-tensioned span structures that would last the designed term, using all their advantages, it is important to obtain comprehensive information about the structure, its technical condition. Recent studies of such span structures conducted in Ukraine do not allow for a more qualitative assessment of the operation of these structures as a whole without a detailed study of their characteristics under dynamic loads.

Therefore, the issue of studying the dynamic impact on monolithic reinforced concrete span structures arranged with the use of post-tensioned systems is relevant and requires additional research in order to improve and rationalize such structural solutions.

Purpose. Research of dynamic characteristics (natural frequencies, oscillation decrement and dynamic coefficient) of a monolithic continuous prestressed span bridge structure with tension on concrete (post-tensioned system).

Materials and Methods. When writing the article, the materials of the tests of the reinforced concrete span structure of the bridge across the Desna River on the public highway of state importance M-01 Kyiv – Chernihiv – Novi Yarylovychi (to the city of Gomel), the southern entrance to the city of Chernihiv at km 11+414 were used.

The following research methods were used: information analysis, mathematical modeling, methods of full-scale and theoretical research.

Results. Based on the conducted study of the bridge span structure, four vibration forms and frequencies under the action of dynamic loading were established. The least stable vibrations occur according to the first form. Vibrations according to this form are excited by the fast movement of transport and quickly fade away. The largest stable vibrations of the span structure (the decrement of vibrations according to this form does not exceed 0.04) have the fourth vibration form with a frequency of 5.91 Hz - this vibration form is almost insensitive to the conditions of mobility at the ends of the span structure and therefore the damping of vibrations occurs very slowly.

The results of determining the dynamic coefficient at different speed modes of movement of single cars are presented. At car speeds from 10 km/h to 50 km/h, the value of the coefficient increases and ranges from 1.07 to 1.23.

Conclusion. According to the results of the analysis of the obtained data from the dynamic tests of the reinforced concrete monolithic prestressed (post-stressed system) continuous span structure of the bridge, the frequencies of the main forms of natural vibrations and the values of dynamic coefficients for the most stressed structural elements of the span structure were established. It was established that the values of dynamic coefficients increase with increasing speed and do not exceed the standard values.

Keywords: span, post-tensioned systems, dynamic tests, dynamic coefficient, natural forms of oscillations.

УДК 624.21

Мінюкова А. Д.¹, <https://orcid.org/0000-0002-1830-0189>Сташук П. М.², канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0001-5221-7015>¹Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна²Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗОВНІШНЬОГО ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНОГО АРМУВАННЯ ДЛЯ ПІДСИЛЕННЯ МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Анотація

Вступ. Залізобетонні мостові конструкції зазнають значних навантажень у процесі експлуатації, що призводить до їх фізичного зносу, утворення тріщин та поступового зниження несної здатності. Одним із методів продовження терміну служби мостів без їхньої повної реконструкції є використання зовнішнього попереднього напруженого армування, яке дозволяє підвищити жорсткість конструкції та рівномірно розподілити навантаження, мінімізуючи деформації.

Проблематика. Більшість мостів, що експлуатуються в Україні, були збудовані в 60-80-х роках ХХ століття відповідно до нормативних вимог того періоду. Проектні навантаження та інтенсивність руху, передбачені під час їх будівництва, значно нижчі за сучасні реальні умови. Зростання інтенсивності руху, поява великовагового транспорту та фізичне старіння матеріалів призводять до перевантаження мостів, що викликає деформації прогонових будов, збільшення прогинів, появу тріщин у бетоні, корозію арматури, зниження жорсткості конструкцій та значні витрати на капітальний ремонт.

Мета. Оцінити ефективність застосування зовнішнього попереднього напруженого армування для підвищення довговічності залізобетонних мостових конструкцій на основі експериментальних даних.

Результати. Дослідження показало, що застосування методу зовнішнього попереднього напруженого армування зменшує розтягувальні напруження у бетоні, що підвищує тріщиностійкість конструкції, підвищує жорсткість мосту та забезпечує стабільність анкерних блоків, що підтверджує надійність кріплення натягнутих елементів. Використання зовнішнього попереднього напруженого армування дозволяє підвищити клас навантаження мосту без необхідності його капітальної реконструкції.

Висновки. Застосування зовнішнього попереднього напруженого армування є ефективним рішенням для відновлення та продовження експлуатації залізобетонних мостових конструкцій. Метод дозволяє рівномірно перерозподілити навантаження, зменшити деформації та підвищити довговічність конструкції без значних фінансових витрат. Для досягнення максимального ефекту необхідно проводити інженерний моніторинг стану мосту, моделювання напружено-деформованого стану та контроль якості робіт при натягу арматурних пучків.

Ключові слова: довговічність залізобетонних конструкцій, зовнішнє попереднє напруження, напружено-деформований стан, підсилення мостів, реконструкція мостів.

Вступ

Мости відіграють ключову роль у транспортній інфраструктурі, однак із часом їх експлуатаційні характеристики погіршуються через втомні процеси, корозію арматури, збільшення інтенсивності руху та маси транспортних засобів. Відбувається фізичне зношення, що обмежує термін їх служби. Бетонні конструкції поступово деградують внаслідок зносу матеріалів, надмірних навантажень та інших факторів навколишнього середовища, а їх початкові характеристики поступово погіршуються, що впливає на довговічність та безпеку конструкцій. Крім фізичного зносу, відбувається моральне відставання мостів від зростаючих вимог транспорту в зв'язку зі збільшенням нормативних розрахункових навантажень і швидкостей руху [1, 2, 3]. Особливо це стосується мостів

з попередньо напруженого бетону, де було зафіксовано випадки руйнування конструкції через корозію сталевих тросів або канатів, які є частиною попередньо натягнутих елементів. Ці троси прокладаються всередині бетонної конструкції і піддаються попередньому натягу для підвищення її несної здатності та зниження тріщиноутворення. Корозія цих елементів може значно ослабити конструкцію, що підкреслює важливість регулярного технічного обслуговування [4, 5, 6].

Необхідність в посиленні виникає внаслідок недостатньої несної здатності конструкції моста через фізичний знос або невідповідності збільшеним вимогам вантажопідйомності. Посилення виробляють окремих елементів або всього моста, зберігаючи незмінними габарити мосту. Своєчасне посилення або реконструкція мостів дозволяють збільшити їх термін служби.

Метод зовнішнього попереднього напруження є одним із методів зміцнення зношених мостів, який збільшує несну здатність існуючої конструкції шляхом встановлення арматури на зовнішню зону розтягування конструкції та безпосередньо зусилля натягу. Метод широко використовується завдяки таким перевагам, як запобігання корозії арматурних стержнів і відновлення прогину шляхом закриття тріщин у зоні розтягування [7].

Основна частина

Метод зовнішнього попереднього напруженого армування можна застосовувати як до звичайного залізобетону, так і до попередньо напруженого залізобетону. Проте ефект і мета його використання будуть дещо різними залежно від типу конструкції.

Для звичайного залізобетону основною проблемою є утворення тріщин у зоні розтягування, що значно знижує довговічність конструкції. Це відбувається через нерівномірний розподіл напружень, що призводить до поступового руйнування матеріалу. Зовнішнє попередньо напружене армування дозволяє перерозподілити напруження таким чином, що зовнішні натягнуті елементи створюють стиск у розтягненій зоні, зменшуючи розтягувальні напруження і знижуючи ризик тріщиноутворення. Завдяки цьому конструкція стає більш стійкою до навантажень і довговічною. Такий підхід значно підвищує несну здатність прогонової будови і продовжує строк служби моста без необхідності заміни елементів.

У конструкціях, що вже мають попереднє напруження, з часом може відбутися релаксація напружень у арматурі або зменшення ефективного попереднього напруження через повзучість і усадку бетону. Це призводить до втрати несної здатності та підвищеного ризику пошкоджень. Зовнішнє попередньо напружене армування допомагає відновити і збільшити початковий рівень напружень, що запобігає перевантаженню конструкції та її подальшому руйнуванню. Цей метод широко застосовується під час реконструкції мостів, які втратили свої проєктні характеристики, дозволяючи ефективно продовжити їхній строк експлуатації.

Зовнішнє попередньо напружене армування є особливо ефективним для підсилення старих конструкцій, зокрема звичайних залізобетонних мостів, що мають ознаки пошкодження. Для нових конструкцій, де спочатку застосовується попереднє напруження, зовнішнє попередньо напружене армування може використовуватися для підвищення запасу міцності або адаптації конструкцій до збільшених навантажень. Таким чином, метод зовнішнього попереднього напруженого армування можна застосовувати для обох типів залізобетону, але з різною метою: для компенсації слабких місць звичайного залізобетону або для підсилення вже напружених конструкцій.

Підсилення конструкцій виконується відповідно до норм [8] і розраховується за граничними станами першої та другої груп.

Граничний стан конструкції — це такий неприпустимий стан, при якому вона перестає відповідати експлуатаційним вимогам. Розрахунок за методикою граничних станів дозволяє гарантувати, що під час будівництва або експлуатації не буде досягнуто жодного з цих станів. Граничні стани поділяються на дві групи.

До першої групи належать стани, при яких конструкція стає повністю непридатною для подальшої експлуатації. Це може статися через втрату несної здатності споруди (підгрупа 1-А) або через значні деформації матеріалу, повзучість бетону, надмірне утворення тріщин (підгрупа 1-Б), що робить подальшу експлуатацію неможливою. Для запобігання цим станам проводяться розрахунки на міцність і витривалість прогонових будов.

Граничні стани другої групи не вимагають припинення експлуатації конструкції, проте можуть суттєво ускладнювати її використання через значні переміщення, неприпустиме розкриття тріщин у бетоні або інші дефекти. Щоб уникнути цих проблем, проводяться розрахунки на утворення, розкриття та закриття тріщин, а також на деформації (прогини) прогонових будов.

Розглянемо практичний приклад. Під час капітального ремонту мосту через Русанівську протоку виконувався науково-технічний супровід та інструментальні вимірювання натягу пучків канатів зовнішнього попереднього напруженого армування.

Міст через Русанівську протоку був побудований у 1964 році та після понад 60 років експлуатації зазнав значного фізичного зносу. Міст розрахований на пропуск 2-х смуг метропоїздів (по одному в кожному напрямку), 4-х смуг автомобільного руху (по дві у кожному напрямку) з габаритом їздового полотна 14 м і одного тротуару, шириною 2,2 м. Міст розрахований на пропуск навантаження Н-18, НК-80 за нормами СН 200-62. Основні геометричні характеристики автодорожньої частини моста:

- повна довжина – 348,2 м;
- ширина проїзної частини – 14,0 м;
- ширина тротуару – 2,2 м;
- геометрична схема – $11,36 + 2 \times 52,30 + 52,9 + 51,7 + 2 \times 52,3 + 11,36$ м.

В плані міст розташований на прямій. Прогонові будови 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6 і 6-7 довжиною 52,3 м складаються з членованих по довжині коробчастих балок із сухими стиками за індивідуальним проектом. Блоки виготовлені методом відбитку, стягнуті насухо попередньо напруженою високоміцною арматурою. Балки для проїзду автомобільного транспорту об'єднані між собою по плиті проїзної частини. Матеріал прогонових будов — бетон марки М-500, напружена арматура — пучки за ЧМТУ/ЦНІІЧМ 65-58, звичайна арматура — ВСт5 ГОСТ 380-60, ГОСТ 5781-58 і ВСт3 ГОСТ 380-60, ГОСТ 2590-57. Кожна коробчаста балка складається з 17 збірних блоків, які поєднуються між собою по всій довжині прогону. Кожен блок складається з нижньої плити, 2-х вертикальних стінок і верхньої плити з вутами. Пучки напруженої арматури, розташовані відкрито всередині коробок і в подальшому омонолічені бетоном.

Зміст роботи полягав у контролі напружено-деформованого стану балки прогонової будови та анкерних ділянок на стадії натягу додаткового напруженого армування. Вимірювання місцевих деформацій на стиснених та розтягнених гранях балок прогонової будови у трьох перерізах (1/2 та 1/4 довжини прогону) при роботах із натягу нових пучків напруженого армування з визначенням зміни напружень обтиснення бетону, порівняння результатів із розрахунками. Вимірювання будівельного підйому (прогину) балок прогонової будови у трьох перерізах (1/2 та 1/4 довжини прогону) при роботах із натягу нових пучків напруженого армування із використанням високоточного вимірювального обладнання, порівняння результатів із розрахунками.

Процес натягу пучків канатів у мостових конструкціях — це технологічна операція, яка використовується в методі зовнішнього попереднього напруження для підсилення мостових конструкцій. Вона полягає у прикладенні напруження до зовнішніх арматурних елементів (канатів, тросів, стрижнів), які закріплюються на кінцях прогонових будов або через анкерні пристрої. Основна мета — зменшити розтягувальні напруження в бетоні та підвищити несну здатність конструкції, шляхом перерозподілу внутрішніх сил. Процес включає встановлення анкерних блоків і закріплення канатів (пучків арматури). Канати закріплюють в анкерних блоках, які зазвичай монтують на кінцях прогонів або на спеціальних консолях моста. Для підсилення використовують пучки з кількох сталевих канатів. Вони можуть бути:

- Зовнішніми — встановленими поза конструкцією моста.
- Внутрішніми — розміщеними в спеціальних каналах у бетоні.

Вимірювання місцевих деформацій на стиснених та розтягнених гранях балок прогонової будови у трьох перерізах (1/2 та 1/4 довжини прогону) при натягуванні пучків канатів виконували із використанням програмно-технічного комплексу НВМ (Німеччина). В якості первинного перетворювача використовувати тензорезистори з базою вимірювання 100 мм. Точність вимірювання місцевих деформацій складає $\pm 1 \times 10^{-6}$ відносних одиниць.

Схема розташування точок вимірювання місцевих деформацій в поперечному перерізі балки представлена на **рис. 1**.

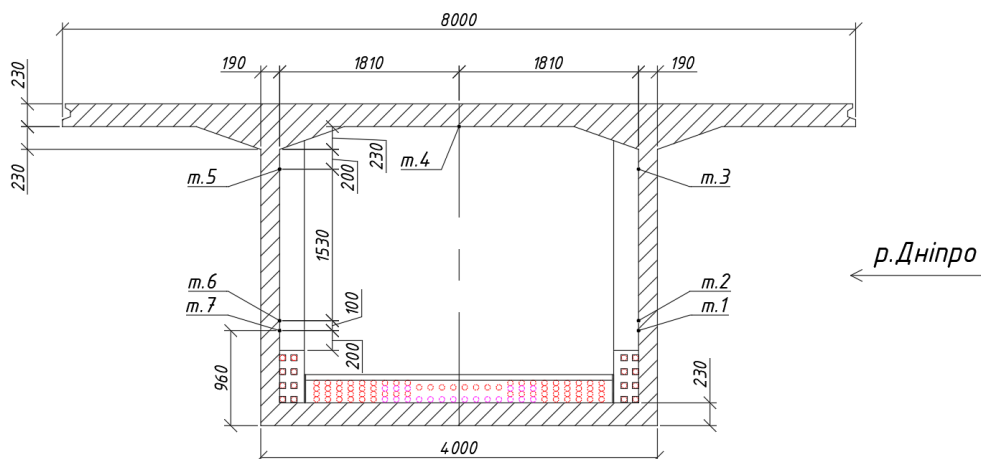


Рисунок 1 — Схема розташування точок вимірювання місцевих деформацій в поперечному перерізі балки

Вимірювання будівельного підйому (прогину) балок прогонової будови в $\frac{1}{2}$ довжини прогону під час натягування пучків канатів виконували із використанням цифрового нівеліру SOKIA SDL50 (рис. 2). Для вимірювання нівелір встановлювали у сусідньому прогоні.



а)



б)

Рисунок 2 — Цифровий нівелір SOKIA SDL50 для вимірювання будівельного підйому встановлений у балці сусідньої прогонової будови

Вимірювання деформацій зсуву на анкерних блоках прогонових будов під час натягування пучків канатів виконували із використанням механічних мікроіндикаторів з ціною поділки 0,001 мм, встановлених на штативах висотою 500 мм, що були нерухомо заанкерені в «старий» бетон анкерних блоків (рис. 3).



а)



б)

Рисунок 3 — Вимірювання деформацій зсуву на анкерних блоках прогонових будов

Результати інструментальних досліджень деформацій прогонової будови під час натягування пучків канатів. Результати вимірювання будівельного підйому (прогину) в 1/2 довжини прогонів 1-2, 2-3 при натягуванні пучків канатів представлено на **рис. 4** та **рис. 5**.

Згідно результатів інструментальних вимірювань, загальний будівельний підйом балки 1 від натягу пучків канатів в прогоні 1-2 становить 6 мм, а в прогоні 2-3 — 9 мм. Будівельний підйом — це показник зміни геометрії конструкції внаслідок напруженого стану після натягу зовнішньої арматури. Збільшення будівельного підйому підтверджує, що після натягування пучків жорсткість конструкції зросла та збільшилась тріщиностійкість. Менший прогин означає менше навантаження на бетон, що сприяє зниженню ризику утворення тріщин. Величина підйому корелює з жорсткістю балки: чим вищий підйом, тим ефективніше працює натягнуте зовнішнє армування.

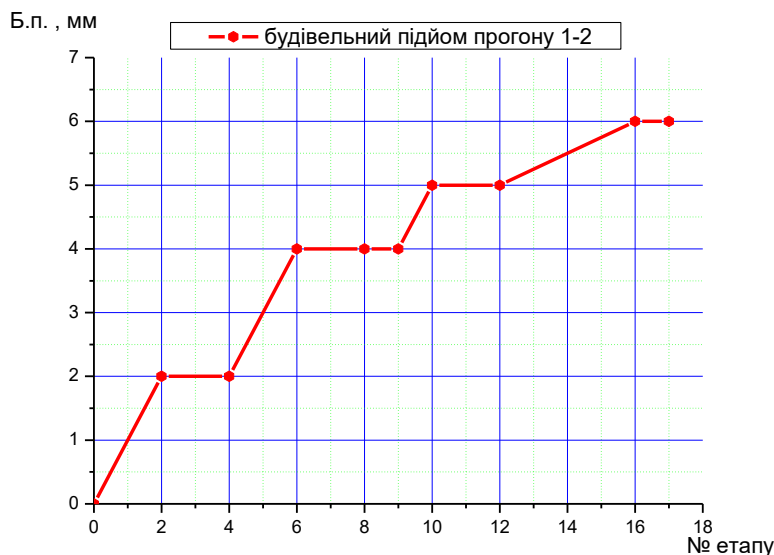


Рисунок 4 — Графік зміни будівельного підйому в 1/2 довжини прогону 1-2 балки 1 на етапах натягу пучків канатів

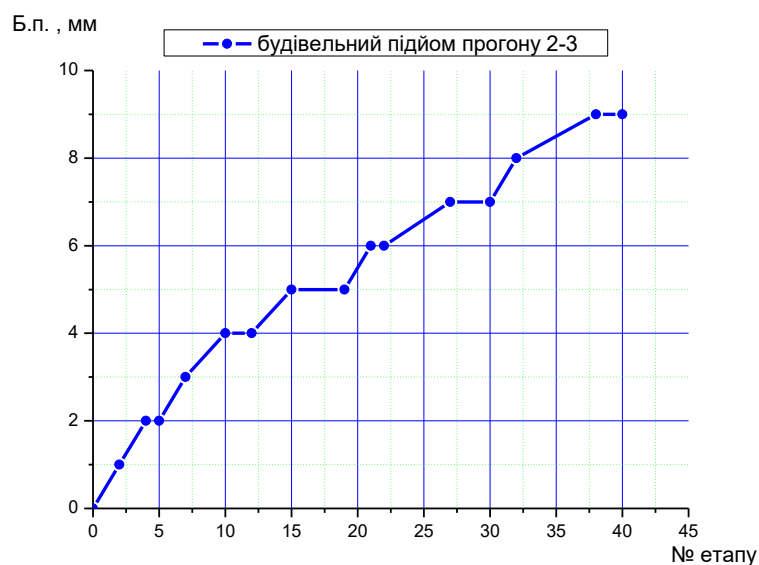
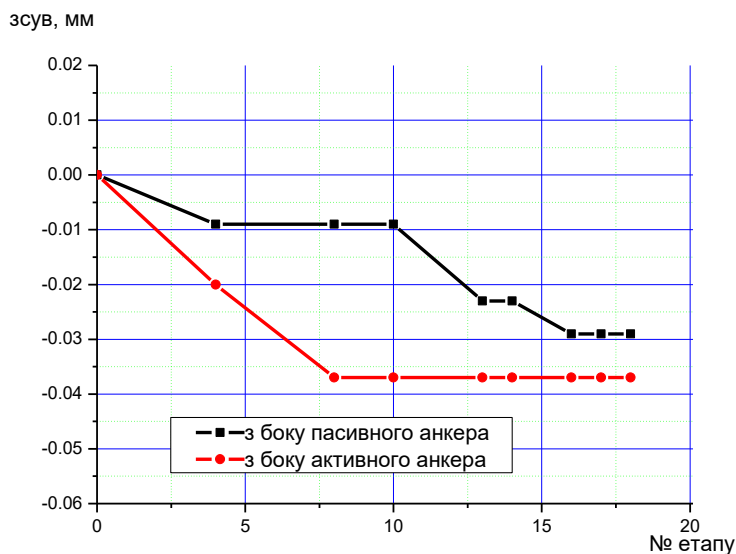
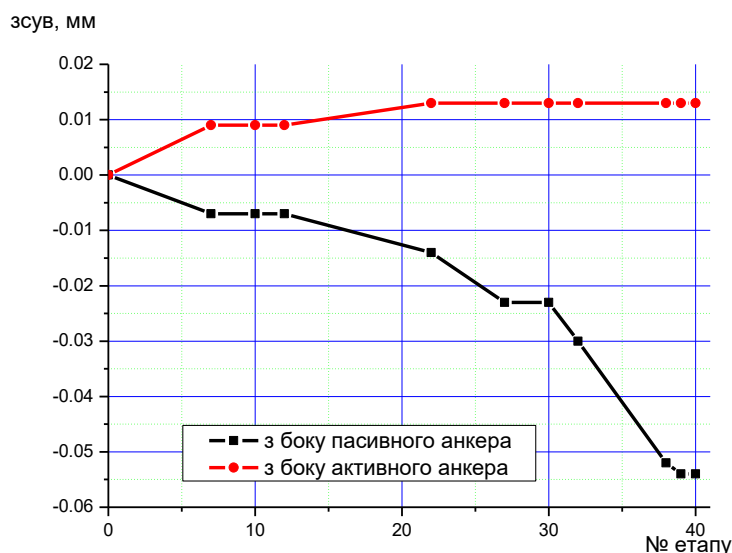


Рисунок 5 — Графік зміни будівельного підйому в 1/2 довжини прогону 2-3 балки 1 на етапах натягу пучків канатів

Аналіз деформацій зсуву на анкерних блоках. Анкерні блоки є критичними елементами в системі зовнішнього попереднього напруження, оскільки вони закріплюють натягнуті канати. Будь-які значні зсуви або зміщення анкерів можуть свідчити про недостатню жорсткість кріплення або ризик втрати напруженого стану. На графіку **рис. 6 (а, б)** представлені результати вимірювання деформацій зсуву на анкерних блоках прогонових будов при натягуванні пучків канатів прогонах 1-2 і 2-3.



а)



б)

Рисунок 6 — Графік зміни деформацій зсуву на анкерних блоках прогонової будови 1-2 (а) і прогонової будови 2-3 (б)

Величина зсуву залишається в межах нормативних допусків, що свідчить про стабільність анкерів після натягування. Незначні деформації анкерних блоків вказують на надійність кріплення пучків канатів і підтверджують ефективність їх передачі зусилля на балкову конструкцію. Відсутність критичних зміщень свідчить, що зовнішнє попереднє напруження не спричинило небажаних локальних деформацій у місцях закріплення канатів.

Результати випробувань підтвердили ефективність методу зовнішнього попереднього напруження та правильність прийнятих проектних рішень при капітальному ремонті споруди, оскільки після натягування пучків канатів відбулося зменшення розтягувальних напружень у бетоні, що суттєво покращило тріщиностійкість конструкції та знизило ризик її передчасного руйнування. Графіки будівельного підйому показали, що жорсткість мосту зросла, а прогини в середній частині прогонів зменшилися на 6–9 мм, що позитивно впливає на його експлуатаційну надійність. Водночас вимірювання деформацій анкерних блоків довели, що кріплення натягнутих канатів залишається стабільним і не зазнало критичних зміщень, що підтверджує надійність конструкції після підсилення. Зменшення напружень у бетоні, рівномірний розподіл деформацій та підвищення жорсткості дозволяють не лише продовжити строк служби мосту, а й адаптувати його до підвищених навантажень, що є вагомим аргументом для використання цього методу в реконструкції інших інфраструктурних об'єктів.

Висновки

У зв'язку зі зростанням навантаження на транспортні споруди та фізичним зношенням мостів, застосування методу зовнішнього попередньо напруженого армування є ефективним рішенням для продовження терміну служби мостових конструкцій. Метод зовнішнього попередньо напруженого армування дозволяє збільшити клас навантаження мостів за рахунок перерозподілу напружень. Для цього використовується попередньо напружена арматура, яка: зменшує розтягувальні напруження в бетоні, знижуючи ризик утворення тріщин; збільшує жорсткість конструкції, зменшуючи прогини при дії транспортних навантажень; підвищує опір динамічним навантаженням, що особливо важливо для мостів з інтенсивним рухом.

Використання методу зовнішнього попереднього напруження є перспективним способом посилення зношених бетонних мостів, що дозволяє значно підвищити їхню несну здатність та продовжити строк служби. Метод може бути рекомендований для мостів із напруженим станом балок, які зазнали значного фізичного зносу без руйнування несних елементів. Однак для досягнення максимального ефекту важливо проводити комплексний аналіз конструкції до і після зміцнення, використовуючи сучасні методи комп'ютерного моделювання, а також забезпечувати регулярний моніторинг і обслуговування конструкцій.

Список літератури

1. Jung, W. T., Park, J. S., Kang, J. Y., Park, H. B. Strengthening effect of prestressed near-surface-mounted CFRP tendon on reinforced concrete beam. *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2018, 9210827.
2. Park, H. B., Park, J. S., Kang, J. Y., Jung, W. T. Fatigue Behavior of Concrete Beam with Prestressed Near-Surface Mounted CFRP Reinforcement According to the Strength and Developed Length. *Materials* 2019, 12, 51.
3. Jung, W. T., Park, J. S., Kang, J. Y., Keum, M. S. Flexural behavior of concrete beam strengthened by near-surface mounted CFRP reinforcement using equivalent section model. *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2017, 2017, 1–16.
4. Kim, S. H., Park, S. Y., Park, Y. H., Jeon, S. J. Friction characteristics of post-tensioning tendons in full-scale structures. *Eng. Struct.* 2019, 183, 389–397.
5. Kim, S. H., Park, S. Y., Jeon, S. J. Long-term characteristics of prestressing force in post-tensioned structures measured using smart strand. *Appl. Sci.* 2020, 10, 4084.
6. Potson, R. W., Frank, K. H., West, J. S. Enduring strength. *Civ. Eng. ASCE* 2003, 73, 58–63.
7. Lee, B. J. Park, J. K., Kim, M. Y., Shin, H. M., Park, C. H. Experimental study on flexural behavior of PSC I girder and the effect of external prestressing. *J. Korea Concr. Inst.* 2007, 19, 755–762.
8. ДБН В.2.3-14:2006 Мости та труби. Правила проектування. Київ, 2006. 48 с. (Інформація та документація).
9. РВ.3.2-03450778-832:2013 Рекомендації з проектування монолітних попередньо-напружених мостів з напруженням на бетон (пост-напружені системи). Київ, 2013.

10. РВ.3.2-218-03450778-741:2008 Рекомендації з підсилення конструкцій мостів під навантаженням, в т.ч. з регулюванням зусиль. Київ, 2008.
11. Більченко А. В., Кіслов О. Г., Синьковська О. В., Ігнатенко А. В. Довговічність залізобетонних конструкцій є основою життєвого циклу мостових споруд. *Дороги і мости*, 2015. С. 25–31.
12. Страхова Н. Є., Голубев В. О., Ковальов П. М., Тодіріка В. В. Експлуатація і реконструкція мостів. 2-е вид., випр. К., 2002. 408 с., іл. за редакцією Лантуха-Лященко А. І.
13. ДСТУ 9181:2022 Настанова з оцінювання та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ, 2022. 32 с. (Інформація та документація).
14. Лантух-Лященко А. І. Модель визначення надійності прогонової будови в умовах неповної інформації. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип. 62. К. 2001.
15. Лантух-Лященко А. І. Оцінка надійності споруди за моделлю марковського випадкового процесу з дискретними станами. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип. 57. 1999. С. 183–188.
16. Дегтяр В. Г., Лантух-Лященко А. І. До проблеми оцінки зносу елементів моста. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип. 59. Український транспортний університет. К., 2000. С. 12–20.
17. ДБН В.2.3-22:2009. Мости та труби. Основні вимоги проектування (Інформація та документація).
18. Борщов, В. І., Закора, О. Л. Мости і труби. Підручник. Том 2. Залізобетонні мости. Дніпро: Вид-во ДНУЗТ, 2012. 393 с.
19. Попович, М. М., Миронюк, О. С., Борщов, В. І. Підсилення залізобетонних балкових прогінних будов з використанням шпренгелів і попередньо напружених стрижнів.

References

1. Jung, W. T., Park, J. S., Kang, J. Y., Park, H. B. Strengthening effect of prestressed near-surface-mounted CFRP tendon on reinforced concrete beam. *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2018, 9210827 [in English].
2. Park, H. B., Park, J. S., Kang, J. Y., Jung, W. T. Fatigue Behavior of Concrete Beam with Prestressed Near-Surface Mounted CFRP Reinforcement According to the Strength and Developed Length. *Materials* 2019, 12, 51 [in English].
3. Jung, W. T., Park, J. S., Kang, J. Y., Keum, M. S. Flexural behavior of concrete beam strengthened by near-surface mounted CFRP reinforcement using equivalent section model. *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2017, 2017, 1–16 [in English].
4. Kim, S. H., Park, S. Y., Park, Y. H., Jeon, S. J. Friction characteristics of post-tensioning tendons in full-scale structures. *Eng. Struct.* 2019, 183, 389–397 [in English].
5. Kim, S. H., Park, S. Y., Jeon, S. J. Long-term characteristics of prestressing force in post-tensioned structures measured using smart strand. *Appl. Sci.* 2020, 10, 4084 [in English].
6. Potson, R. W., Frank, K. H., West, J. S. Enduring strength. *Civ. Eng. ASCE* 2003, 73, 58–63 [in English].
7. Lee, B. J., Park, J. K., Kim, M. Y.; Shin, H. M., Park, C. H. Experimental study on flexural behavior of PSC I girder and the effect of external prestressing. *J. Korea Concr. Inst.* 2007, 19, 755–762 [in English].
8. ДБН В.2.3-14:2006 Мости та труби. Правила проєктування. (State Building Norms (DBN V.2.3-14:2006) Bridges and Pipes. Design Rules). Kyiv, 2006. (Information and documentation) [in Ukrainian].
9. РВ.3.2-03450778-832:2013 Рекомендaтsii з проєктування монолітих попередньо-напружених мостів з напруженням на бетон (post-naпружені системи). (Recommendations for the design of monolithic post-tensioned bridges with concrete stress). Kyiv, 2013 [in Ukrainian].
10. РВ.3.2-218-03450778-741:2008 Рекомендaтsii з підсилення конструктsii мостів під

navantazhenniam, v t. ch. z rehuliuvanniam zusyl' (Recommendations for strengthening bridge structures under load, including tension regulation). Kyiv, 2008 [in Ukrainian].

11. Bilchenko, A. V., Kislov, O. H., Synkovska, O. V., Ihnatenko, A. V. Dovichichnist zalizobetonnykh konstrukttsii ye osnovoiu zhyttievoho tsykliu mostovykh sporud. (Durability of reinforced concrete structures is the basis of the life cycle of bridge structures). Kyiv, 2016 [in Ukrainian].

12. Strakhova, N. Ye., Holubiev, V. O., Kovaliov, P. M., Todirika V.V. Ekspluatatsiia i rekonstrukttsiia mostiv, 2-e vyd., vypr. K., 2002. 408 p., il. Za redaktsiiu Lantukha-Liaschenka A. I. (Operation and reconstruction of bridges, 2nd ed., revised. K., 2002. 408 p., ill. Edited by Lantukh-Liaschenko A. I.) [in Ukrainian].

13. DSTU 9181:2022 Nastanova z otsiniuvannia ta prohnozuvannia tekhnogo stanu avto-dorozhnikh mostiv. Kyiv, 2022. 32 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

14. Lantukh-Liaschenko, A. I. Model' vyznachennia nadiinosti prohonovoi budovy v umovakh nepovnoi informatsii. *Avtomobil'ni dorohy i dorozhne budivnytstvo*. Vyp. 62. K.: 2001. (Model for determining the reliability of the span structure under incomplete information. Collection of "Roads and Road Construction". Issue 62. Kyiv: 2001) [in Ukrainian].

15. Lantukh-Liaschenko, A. I. Otsinka nadiinosti sporudy za modelem markovskogo vypadkovoho protsesu z dyskret-nymy stanamy. *Avtomobil'ni dorohy i dorozhne budivnytstvo*. Vyp. 57. 1999. P. 183–188. (Reliability assessment of the structure using a model of a Markov random process with discrete states. Collection of "Roads and Road Construction". Issue 57. 1999. P. 183–188) [in Ukrainian].

16. V. H. Dehtiar, A. I. Lantukh-Liaschenko. Do problemy otsinky znozu elementiv mosta. *Avtomobil'ni dorohy i dorozhne budivnytstvo*. Vyp. 59. Ukrain's'kyi transportnyi universytet. K.: 2000. (On the problem of assessing the wear of bridge elements. V. H. Dehtiar, A. I. Lantukh-Liaschenko. Collection of "Roads and Road Construction". Issue 59. Ukrainian Transport University. Kyiv: 2000) [in Ukrainian].

17. DBN V.2.3-22:2009 Bridges and Culverts. Basic Design Requirements [in Ukrainian].

18. Borshchov V. I., Zakora O. L. Bridges and Culverts. Textbook. Volume 2. Reinforced Concrete Bridges. Dnipro: DNURT Publishing House, 2012. 393 p. [in Ukrainian].

19. Popovych M. M., Myroniuk O. S., Borshchov V. I. Strengthening of Reinforced [in Ukrainian].

Anna Miniukova¹, <https://orcid.org/0000-0002-1830-0189>

Pavlo Stashuk², Ph.D., <https://orcid.org/0000-0001-5221-7015>

¹National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

²State Enterprise "National Institute for Development Infrastructure" (SE "NIDI"), Kyiv, Ukraine

RESEARCH ON THE EFFECTIVENESS OF EXTERNALLY PRE-STRESSED REINFORCEMENT FOR STRENGTHENING BRIDGE STRUCTURES

Abstract

This study explores the effectiveness of external prestressed reinforcement as a method for enhancing the durability of reinforced concrete bridge structures. Over time, many bridges experience significant deterioration due to increased traffic loads, aging materials, and environmental factors, leading to reduced load-bearing capacity. External prestressed reinforcement offers a solution to extend the service life of bridges without full reconstruction. The research demonstrates that this method improves the structural rigidity of the bridge, redistributes loads more evenly, and reduces deformations, contributing to the overall longevity and reliability of the structure. Experimental data indicates that external prestressed reinforcement enhances crack resistance, increases bridge stiffness, and ensures the stability of anchor blocks. By applying this technique, it is possible to increase the load capacity of a bridge without the need for costly capital

repairs. The findings suggest that this approach is an effective and economical solution for strengthening and maintaining bridges, particularly those built in previous decades, and that ongoing monitoring and quality control are crucial for optimizing its application.

Introduction. Reinforced concrete bridge structures experience significant loads during operation, leading to physical deterioration, crack formation, and a gradual decrease in load-bearing capacity. One method for extending the service life of bridges without full reconstruction is the use of external prestressed reinforcement. This method enhances the rigidity of the structure and ensures a more uniform distribution of loads, minimizing deformations.

Problem Statement. Most bridges currently in use in Ukraine were built in the 1960s–1980s according to the regulatory requirements of that period. The design loads and traffic intensity considered during their construction are significantly lower than today's actual conditions. Increased traffic intensity, the emergence of heavy vehicles, and the physical aging of materials lead to bridge overloading, causing span deformations, increased deflections, crack formation in concrete, reinforcement corrosion, reduced structural rigidity, and high capital repair costs.

Materials and methods. The material for the article is based on the experience of using external prestressed reinforcement for strengthening bridge structures in Ukraine, including the example of the overhaul of the bridge across the Rusaniv Strait in Kyiv. The following research methods were used: analysis of data from scientific sources, analysis of regulatory documents, and measurement of shear deformations on the anchor blocks of span structures.

Objective. To assess the effectiveness of external prestressed reinforcement in improving the durability of reinforced concrete bridge structures based on experimental data.

Results. The study showed that the use of external prestressed reinforcement reduces tensile stresses in concrete, enhancing crack resistance, increasing bridge stiffness, and ensuring the stability of anchoring blocks, which confirms the reliability of the tensioned element fastening. The application of external prestressed reinforcement allows for an increase in the bridge's load-bearing capacity without requiring major reconstruction.

Conclusions. The use of external prestressed reinforcement is an effective solution for restoring and extending the service life of reinforced concrete bridge structures. This method enables a uniform redistribution of loads, reduces deformations, and enhances the durability of the structure without significant financial costs. To achieve maximum efficiency, engineering monitoring of the bridge condition, modeling of the stress-strain state, and quality control during the tensioning of reinforcement bundles are necessary.

Keywords: external prestressing, bridge strengthening, durability of reinforced concrete structures, stress-strain state, bridge reconstruction.

УДК 625.745.1

Онищенко А. М., *д-р техн. наук, проф.*, <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>Виноградов В. О., <https://orcid.org/0009-0006-8358-4962>*Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна***ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИКОВИХ
ДЕФОРМАЦІЙНИХ ШВІВ НА МОСТАХ****Анотація**

Вступ. Щебенево-мастикові деформаційні шви є важливим елементом мостових конструкцій, що дозволяє компенсувати температурні та механічні деформації, забезпечуючи їх довговічність і надійність. Ці матеріали поєднують високу міцність та стійкість до агресивних зовнішніх умов, що робить їх оптимальним вибором для сучасних мостів. Однак для ефективної експлуатації таких швів необхідно враховувати ряд факторів, які можуть впливати на їхню роботу, включаючи кліматичні умови та інтенсивність транспортних навантажень.

Проблематика. Проблематика експлуатації щебенево-мастикових деформаційних швів на мостах полягає в ряді факторів, що можуть впливати на їхню ефективність та довговічність. Перш за все, це механічні навантаження від інтенсивного руху транспорту, які спричиняють знос матеріалів, а також температурні коливання, які можуть призводити до розширення чи стиснення швів, що в свою чергу негативно впливає на їх цілісність. Крім того, агресивні атмосферні умови, такі як волога, заморозки та хімічні реагенти, застосовувані на дорогах, можуть прискорювати деградацію матеріалу. Недостатній контроль за станом деформаційних швів або несвоєчасне їх обслуговування можуть призвести до серйозних ушкоджень мостових конструкцій, що загрожує безпеці транспорту та збільшує витрати на ремонт. Тому важливо розробляти ефективні методи моніторингу, обслуговування та ремонту цих швів, а також враховувати специфічні умови експлуатації під час проектування та використання щебенево-мастикових матеріалів.

Мета. Метою даної статті є дослідження особливостей експлуатації щебенево-мастикових деформаційних швів на мостах, вивчення факторів, що впливають на їх ефективність та довговічність, а також розгляд основних проблем, пов'язаних із їх використанням. Зокрема, мета полягає в аналізі впливу навантажень, температурних змін та агресивних атмосферних умов на стан швів, а також у розробці рекомендацій щодо оптимізації їх експлуатації та технічного обслуговування для забезпечення безпеки та надійності мостових конструкцій.

Висновки. Щебенево-мастикові деформаційні шви є ефективним рішенням для компенсації температурних та механічних деформацій на мостах, забезпечуючи їх довговічність і стабільну роботу. Основними факторами, що впливають на ефективність швів, є інтенсивний транспортний рух, температурні коливання, а також агресивні атмосферні умови. Недостатній моніторинг та несвоєчасне обслуговування можуть призвести до деградації швів і серйозних пошкоджень мостових конструкцій, що загрожує безпеці транспорту. Для забезпечення надійної експлуатації щебенево-мастикових швів необхідно регулярно проводити їх технічний огляд та своєчасно здійснювати ремонтні роботи. Використання сучасних методів моніторингу та обслуговування дозволить максимально продовжити термін служби деформаційних швів та покращити безпеку мостових споруд.

Ключові слова: деформаційні шви, довговічність мостів, експлуатація мостів, матеріали для швів, механічні навантаження, мости, мостові споруди, температурні деформації, щебенево-мастикові шви.

Вступ

Мости, як важливі елементи транспортної інфраструктури, відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки та ефективності руху транспорту. Оскільки вони перебувають під постійним впливом навантажень, температурних змін, а також механічного зносу, питання їх довговічності та

надійності є вкрай важливими. Одним із важливих конструктивних елементів мостових споруд є деформаційні шви, які забезпечують можливість руху конструкцій мосту при змінах температури, а також компенсують деформації, що виникають внаслідок впливу транспорту та природних факторів.

Одним із найбільш поширених матеріалів для заповнення деформаційних швів є щебенево-мастикові суміші, які поєднують в собі властивості щебеню та мастики. Ці матеріали отримали визнання завдяки своїй високій міцності, довговічності та стійкості до впливу атмосферних явищ, агресивних середовищ і механічних навантажень. Щебенево-мастикові шви відрізняються від традиційних гумових чи полімерних варіантів більшою стійкістю до зношування та механічного впливу, що робить їх оптимальним вибором для умов, де експлуатуються інтенсивні транспортні потоки або де можливі значні температурні коливання.

Однак, незважаючи на численні переваги, правильна експлуатація таких швів потребує ретельного контролю та регулярного обслуговування. Використання щебенево-мастикових матеріалів не знижує необхідність у належному догляді, оскільки вплив різних факторів, таких як механічні навантаження, температурні коливання, вологість та забруднення, може призвести до їх деградації. Урахування всіх цих аспектів є важливим для забезпечення довготривалої і безпечної експлуатації мостів.

У цьому контексті важливо вивчити особливості експлуатації щебенево-мастикових деформаційних швів, враховуючи специфіку їх використання в різних кліматичних і навантажувальних умовах. Зрозуміння механізмів їх роботи, а також факторів, які впливають на їх ефективність та термін служби, є необхідним для створення ефективних програм обслуговування та ремонту мостових конструкцій. Ця стаття має на меті детально розглянути основні аспекти експлуатації щебенево-мастикових деформаційних швів, аналізувати можливі проблеми та запропонувати рекомендації щодо їх використання в сучасних умовах.

Основна частина

Одним з основних факторів, який визначає характеристики щебенево-мастикових швів, є температурні коливання. Врахування цього фактору є критично важливим, оскільки великі температурні зміни можуть спричинити серйозні деформації мостових конструкцій.

Li et al. [1] досліджують вплив температурних коливань на ефективність щебенево-мастикових деформаційних швів на мостах, підкреслюючи важливість точних розрахунків для визначення граничних температурних змін, при яких шви можуть зберегти свою функціональність. Вони відзначають, що застосування спеціальних мастик з підвищеною термостійкістю може значно покращити довговічність швів в умовах температурних коливань.

Щебенево-мастикові шви також повинні бути здатними витримувати механічні навантаження, які виникають через рух транспорту та постійну експлуатацію мосту. Врахування цього фактору є важливим для забезпечення стійкості швів до зносу і тріщиноутворення.

Smith [2] у своїй статті зосереджується на проектуванні щебенево-мастикових швів з урахуванням механічних навантажень, зокрема, великих динамічних навантажень, які створюються важким транспортом. Він рекомендує використовувати спеціально адаптовані матеріали, які можуть витримувати не тільки статичні, але й динамічні навантаження, що виникають під час експлуатації мостів.

Проектування щебенево-мастикових швів також повинно враховувати сейсмічні навантаження, особливо для мостів у сейсмоактивних регіонах. Механізм компенсації деформацій повинен бути адаптований до змін, які можуть виникнути під час землетрусів.

Jones та Taylor [3] у своєму дослідженні пропонують методи оцінки сейсмічних навантажень, що дозволяють проектувати щебенево-мастикові шви, які можуть витримувати високі коливання та зберігати свою стабільність в умовах сейсмічних поштовхів. Вони пропонують використання еластичних матеріалів для виготовлення швів, що підвищують їх здатність до поглинання енергії під час сейсмічних подій.

Щебенево-мастикові шви, як і будь-які інші компоненти мостових конструкцій, можуть зазнавати зносу через різні фактори, включаючи механічні навантаження, погодні умови та агресивне

середовище (наприклад, вплив хімічних реагентів на шви у зимовий період). Для забезпечення довговічності таких швів важливо використовувати спеціалізовані матеріали, що стійкі до зносу та атмосферних впливів.

Xu et al [4] досліджують вплив агресивних погодних умов та механічних навантажень на довговічність щебенево-мастикових швів, надаючи рекомендації щодо вибору оптимальних матеріалів, що здатні забезпечити стабільність конструкцій протягом багатьох років.

Щебенево-мастикові деформаційні шви відіграють важливу роль у забезпеченні надійності та безпеки мостових конструкцій, особливо в умовах значних температурних коливань, механічних навантажень та впливу навколишнього середовища. Вони забезпечують компенсування деформацій мостових споруд, що виникають внаслідок розширення та стиснення матеріалів під час змін температури, а також через вплив на них зовнішніх навантажень. Однак, як і будь-яка інша конструктивна частина мосту, щебенево-мастикові шви потребують належної експлуатації для забезпечення їхньої довговічності та ефективності.

Щебенево-мастикові шви проєктуються для компенсації деформацій, спричинених температурними змінами. Враховуючи кліматичні умови України, де існують значні сезонні коливання температури, ці шви повинні витримувати як зимові морози, так і літню спеку. При цьому важливо, щоб матеріали швів були стійкими до тривалих циклів нагріву та охолодження.

Ковальчук та ін. [5] відзначають, що найбільші проблеми з щебенево-мастиковими швами можуть виникнути через несвоєчасне технічне обслуговування, що призводить до пошкодження швів через тривалі температурні коливання. Вони рекомендують проводити регулярні перевірки та оновлення мастики для забезпечення її еластичності та стійкості до температурних змін.

Щебенево-мастикові шви на мостах повинні витримувати значні механічні навантаження, особливо в умовах інтенсивного руху транспорту. Для забезпечення надійності цих швів важливо правильно проєктувати їх так, щоб вони могли адаптуватися до змінних навантажень, не порушуючи загальної стабільності мосту.

Григорчук В.В. [6] зазначає, що для ефективної експлуатації щебенево-мастикових швів важливо враховувати не тільки статичні навантаження, а й динамічні навантаження, які виникають від руху транспорту. Регулярні технічні огляди та зміна мастики дозволяють зберігати належний стан швів, що є важливим для збереження конструкції мосту в цілому.

Щебенево-мастикові шви піддаються різноманітним агресивним факторам, таким як волога, сіль, хімічні речовини, що використовуються для очищення доріг у зимовий період. Внаслідок цього можуть виникати проблеми з їхньою стійкістю, включаючи корозію металевих частин, втрату еластичності матеріалів та інші проблеми.

У своїй статті автор [7] підкреслює важливість використання спеціальних матеріалів для щебенево-мастикових швів, що мають підвищену стійкість до агресивних хімічних речовин. Вони повинні мати високу водостійкість і здатність витримувати дії хімічних реагентів, які використовуються для обробки доріг в зимовий період.

Для забезпечення належної експлуатації щебенево-мастикових швів необхідно проводити регулярний догляд та обслуговування. Це включає перевірку стану швів, виявлення пошкоджень, заміну зношених матеріалів та виконання ремонтних робіт у разі потреби.

У роботі [8] вказується на важливість розробки спеціальних програм для обслуговування щебенево-мастикових швів, що включають регулярні перевірки та заходи для запобігання пошкодженням. Зокрема, він наголошує на необхідності своєчасної заміни мастики для запобігання її втраті еластичності та виникненню тріщин.

Довговічність щебенево-мастикових швів значною мірою залежить від якості матеріалів, що використовуються при їхньому влаштуванні. Важливо застосовувати мастики та щебінь, які мають високу стійкість до зносу і здатні витримувати високі навантаження.

Василенко О.В. та інші [9] досліджують вплив різних матеріалів на довговічність щебенево-мастикових швів і рекомендують використовувати матеріали, що забезпечують високу міцність і водостійкість. Вони також зазначають, що недостатня увага до якості матеріалів може призвести до швидкого зносу швів і необхідності їхнього раннього ремонту.

Висновки

Щебенево-мастикові деформаційні шви є важливим елементом сучасних мостових конструкцій, який забезпечує компенсацію температурних і механічних деформацій, підвищуючи їх довговічність та надійність. Завдяки своїм унікальним властивостям, таким як висока міцність, стійкість до механічного зношування та впливу агресивних атмосферних умов, щебенево-мастикові матеріали довели свою ефективність у різних кліматичних зонах та при різних навантаженнях.

Для забезпечення стабільної та безпечної роботи деформаційних швів впродовж усього строку експлуатації необхідно враховувати низку чинників, що впливають на їхні технічні характеристики, зокрема температурні коливання, інтенсивність транспортного потоку та рівень зволоження. Ефективна експлуатація передбачає систематичний моніторинг технічного стану, своєчасне технічне обслуговування та виконання ремонтних заходів з метою запобігання розвитку дефектів і забезпечення довговічності мостових споруд.

Таким чином, зважаючи на всі переваги та потенційні виклики, щебенево-мастикові деформаційні шви залишаються важливим інструментом у забезпеченні безпеки та функціональності мостів. Використання сучасних технологій обслуговування та увага до деталей під час проєктування та експлуатації дозволяють максимізувати ефективність цього матеріалу та забезпечити надійність мостових конструкцій на довгі роки.

Список літератури

1. Li, J., Wang, Z., & Zhang, L. (2018). Temperature Effects on Expansion Joints in Bridge Engineering. *Journal of Bridge Engineering*, 23(8), 1103–1111.
2. Smith, A. (2016). Designing Expansion Joints for Bridge Applications under Heavy Traffic Loads. *International Journal of Pavement Engineering*, 17(2), 157–165.
3. Jones, R., & Taylor, M. (2017). Seismic Performance of Bridge Expansion Joints. *Engineering Structures*, 135, 129–137.
4. Xu, L., Li, Z., & Zhang, Y. (2019). Durability of Asphalt Concrete Expansion Joints in Bridge Structures. *Construction and Building Materials*, 223, 682–690.
5. Ковальчук А. С., Бондар В. П. (2018). Вплив температурних коливань на роботу деформаційних швів у мостових спорудах. *Будівельні матеріали та конструкції*, 5(4), 112–118.
6. Григорчук В. В. (2017). Особливості експлуатації деформаційних швів на мостах з урахуванням механічних навантажень. *Транспортні технології*, 12(6), 61–67.
7. Кобзарь Л. Ю. (2019). Вплив агресивних факторів навколишнього середовища на щебенево-мастикові шви мостів. *Будівництво і архітектура*, 2(8), 34–42.
8. Шевченко М. І. (2020). Технічне обслуговування та ремонт щебенево-мастикових швів. *Мостові та інженерні споруди*, 7(1), 85–92.
9. Василенко О. В., Дмитрієв А. О. (2018). Матеріали для щебенево-мастикових швів та їх вплив на довговічність мостових споруд. *Наукові праці університету*, 18(3), 123–130.

References

1. Li, J., Wang, Z., & Zhang, L. (2018). Temperature Effects on Expansion Joints in Bridge Engineering. *Journal of Bridge Engineering*, 23(8), 1103–1111 [in English].
2. Smith, A. (2016). Designing Expansion Joints for Bridge Applications under Heavy Traffic Loads. *International Journal of Pavement Engineering*, 17(2), 157–165 [in English].
3. Jones, R., & Taylor, M. (2017). Seismic Performance of Bridge Expansion Joints. *Engineering Structures*, 135, 129–137. [in English].
4. Xu, L., Li, Z., & Zhang, Y. (2019). Durability of Asphalt Concrete Expansion Joints in Bridge Structures. *Construction and Building Materials*, 223, 682–690 [in English].
5. Kovalchuk A. S., Bondar V. P. (2018). Vplyv temperaturnykh kolyvan na robotu deformatsiynykh shviv u mostovykh sporudakh. (Influence of temperature fluctuations on the operation of expansion joints in bridge structures). *Budivelni materialy ta konstruktzii*, 5(4), 112–118 [in Ukrainian].
6. Hryhorchuk V. V. (2017). Osoblyvosti ekspluatatsii deformatsiynykh shviv na mostakh z urakhuvanniam mekhanichnykh navantazhen. (Features of operation of expansion joints on bridges with regard to mechanical loads). *Transportni tekhnolohii*, 12(6), 61–67 [in Ukrainian].

7. Kobzar L. Yu. (2019). Vplyv ahresyvnykh faktoriv navkolyshnoho seredovyscha na shchebenevo-mastykovi shvy mostiv. (Influence of aggressive environmental factors on crushed stone mastic joints of bridges) *Budivnytstvo i arkhitektura*, 2(8), 34–42 [in Ukrainian].

8. Shevchenko M. I. (2020). Tekhnichne obsluhovuvannia ta remont shchebenevo-mastykovykh shviv. (Maintenance and repair of crushed stone mastic joints). *Mostovi ta inzhenerni sporudy*, 7(1), 85–92 [in Ukrainian].

9. Vasylenko O. V., Dmytriiev, A. O. (2018). Materialy dlia shchebenevo-mastykovykh shviv ta yikh vplyv na dovhovichnist mostovykh sporud. (Materials for crushed stone mastic joints and their influence on the durability of bridge structures). *Naukovi pratsi universytetu*, 18(3), 123–130 [in Ukrainian].

Artur Onyshchenko, D.Sc., Prof., <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

Vladyslav Vynogradov, <https://orcid.org/0009-0006-8358-4962>

National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

PECULIARITIES OF OPERATION OF CRUSHED STONE-MASTIC EXPANSION JOINTS ON BRIDGES

Abstract

Introduction. Crushed stone mastic expansion joints are an important element of bridge structures that compensate for temperature and mechanical deformations, ensuring their durability and reliability. These materials combine high strength and resistance to aggressive external conditions, making them the optimal choice for modern bridges. However, for the effective operation of such joints, it is necessary to take into account a number of factors that can affect their performance, including climatic conditions and the intensity of traffic loads.

Problems. The problem of operation of crushed stone mastic expansion joints on bridges is caused by a number of factors that can affect their efficiency and durability. First of all, these are mechanical loads from heavy traffic, which cause wear and tear of materials, as well as temperature fluctuations, which can lead to expansion or contraction of the joints, which in turn negatively affects their integrity. In addition, aggressive atmospheric conditions such as moisture, frost, and chemicals used on roads can accelerate material degradation. Insufficient control over the condition of expansion joints or untimely maintenance can lead to serious damage to bridge structures, which threatens traffic safety and increases repair costs. Therefore, it is important to develop effective methods for monitoring, maintaining and repairing these joints, as well as to take into account specific operating conditions when designing and using crushed stone mastic materials.

Objective. The purpose of this article is to investigate the peculiarities of operation of crushed stone mastic expansion joints on bridges, to study the factors that affect their efficiency and durability, as well as to consider the main problems associated with their use. In particular, the goal is to analyze the impact of loads, temperature changes and aggressive atmospheric conditions on the condition of the joints, as well as to develop recommendations for optimizing their operation and maintenance to ensure the safety and reliability of bridge structures.

Conclusions. Crushed stone mastic expansion joints are an effective solution for compensating for temperature and mechanical deformations on bridges, ensuring their durability and stable operation. The main factors affecting the effectiveness of the joints are heavy traffic, temperature fluctuations, and aggressive atmospheric conditions. Insufficient monitoring and untimely maintenance can lead to degradation of the joints and serious damage to bridge structures, which threatens traffic safety. To ensure the reliable operation of crushed stone mastic joints, it is necessary to regularly inspect them and carry out timely repairs. The use of modern monitoring and maintenance methods will maximize the service life of expansion joints and improve the safety of bridge structures.

Keywords: crushed stone mastic joints, expansion joints, bridges, bridge operation, materials for joints, mechanical loads, temperature deformations, bridge durability, bridge structures.

УДК 625.745.1

Гаркуша М. В., канд. техн. наук., доц., <https://orcid.org/0000-0002-5388-0561>

Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ СПРЯЖЕННЯ Б'ЄФІВ ДОРОЖНІХ ВОДОПРОПУСКАЛЬНИХ СПОРУД З МЕТАЛЕВИХ ГОФРОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Анотація

Вступ. Дорожні водопропускальні споруди з металевих гофрованих конструкцій (далі — МГК) незважаючи на понад сторічну історію застосування, в Україні є досить новим видом споруд та набувають широкого застосування в транспортному будівництві як альтернатива традиційним сталевим або бетонним мостовим конструкціям. Загальновідомими перевагами, які виправдовують вибір такого рішення, є в основному короткий строк і відносно низька вартість будівництва, будівництво за умови дотримання відповідного технологічного режиму не викликає особливих проблем. Однак сучасний процес проектування та будівництва дорожніх водопропускальних споруд з МГК є недосконалим та постійно поліпшується. Деякі особливості місцевості вимагають будівництво дорожньої водопропускальної труби з крутим ухилом, що збільшує швидкість води та створює потік високої енергії на виході дорожньої водопропускальної труби. Ця високоенергетична вода може розмивати природне русло. Найбільш ефективним способом гасіння надмірної кінетичної енергії водного потоку є гасіння за допомогою гідравлічного стрибка. Проведено аналіз особливості спряження б'єфів для дорожніх водопропускальних труб в умовах плоскої задачі, визначено вплив ряду факторів на довжину гідравлічного стрибка та наведено методологічний підхід до вирішення завдань спряження б'єфів.

Проблематика. Встановлено, що існує необхідність в уточненні існуючих підходів спряження б'єфів дорожніх водопропускальних споруд з металевих гофрованих конструкцій з урахуванням світових підходів.

Мета. Мета наукової роботи полягає у дослідженні спряження б'єфів дорожніх водопропускальних труб в умовах плоскої задачі, визначено вплив ряду чинників на довжину гідравлічного стрибка та наведено методологічний підхід до вирішення завдань спряження б'єфів.

Результати. Проведено аналіз досвіду експлуатації та особливостей роботи водопропускальних споруд із металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах. Досліджено особливості спряження б'єфів для дорожніх водопропускальних труб в умовах плоскої задачі. Встановлено методологічний підхід до вирішення завдань спряження б'єфів.

Висновки. Найбільш ефективним способом гасіння надмірної кінетичної енергії водного потоку є гасіння за допомогою гідравлічного стрибка.

Однак, попри наявні дослідження з кінематики потоку в зоні формування гідравлічного стрибка та його стійкості, питання впливу конструктивних елементів гасників активного типу на керування потоком у зоні розтікання, особливо в умовах відносно широких і вузьких русел, залишаються недостатньо вивченими.

У зв'язку з тим, що на ділянці двомірний у плані бурхливий потік трансформується в тривимірний з високим рівнем анізотропної турбулентності для дослідження такого типу завдань, на сучасному етапі, можливий лише статистичний підхід із застосуванням методів теорії математичного планування експерименту.

Під час формування потоку із заданими гідравлічними характеристиками доцільно використовувати принцип управління — цілеспрямований вплив на потік конструктивними елементами нижнього б'єфу.

Використання рівняння руху рідини в диференціальній формі дозволяє отримати рівняння досконалого гідравлічного стрибка у вигляді, явного відносно шуканої другої сполученої глибини в разі шорстких водоводів з похилим дном.

Аналіз рівняння загального розв'язку гідравлічного стрибка показав, що вплив сил зовнішнього тертя і похилу дна на висотні розміри гідравлічного стрибка можна враховувати окремо, незалежно один від одного.

Виконаний аналіз сучасного стану проблеми дозволяє зробити висновок про недосконалість існуючих методик розрахунку спряження б'єфів та необхідність удосконалення існуючих підходів розрахунку.

Ключові слова: автомобільні дороги, гідротехнічні споруди, гідравлічний стрибок, дорожні водопропускальні труби.

Актуальність роботи

Останнім часом відбувається погіршення стану транспортних споруд, у тому числі побудованих і за типовими проєктами, що зумовлено впливом навколишнього середовища, фізичним зносом і старінням матеріалів та конструкцій, підвищенням осьових навантажень, збільшенням транспортного потоку тощо [1 – 4].

Дорожні водопропускальні споруди з металевих гофрованих конструкцій (далі — МГК) є перспективним видом транспортних споруд, використання яких вимагає мінімальних витрат на транспортування елементів споруди, невеликих витрат матеріалів та трудовитрат на будівельному майданчику, маючи при цьому великі переваги з альтернативними конструкціями та нерідко застосовуються як малі та середні мости [5].

Крім того, одним із напрямків застосування металевих гофрованих конструкцій є ремонт існуючих малих мостів і дорожніх водопропускальних труб [1].

Згідно з даними «Аналітичної експертної системи управління мостами» Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України всього на дорогах загального користування обліковується станом на 01.05.2020 — 16 155 мостів [6] та 129 053 дорожніх водопропускальних труб, що становить в середньому, при мережі доріг загального користування 169 739 км, кількість близько однієї (0,8) дорожньої водопропускальної труби на один кілометр [1], що робить їх наймасовішими транспортними спорудами та одними з найважливіших конструктивних елементів автомобільних доріг [5]. Більше 10 000 мостів на дорогах загального користування не відповідають сучасним нормам (63,5 %), з них 4 204 моста — на дорогах державного значення та 6 061 міст на дорогах місцевого значення [6]. Не менше ніж 29 % дорожніх водопропускальних труб вимагають ремонтних заходів. Основними їх дефектами є тріщини кілець та їх просідання, порушення гідроізоляції стиків між кільцями, корозія елементів споруди, руйнування лотка і укріплень тощо [1].

Згідно літературних джерел [2] у США близько 40 % загальної кількості транспортних споруд, що входять до складу дорожньої мережі потребують термінового ремонту. В Європі є багато мостових споруд, які потребують термінової модернізації або реконструкції або навіть заміни [2]. Частим результатом зносу конструкції є значне зниження навантажувальної здатності, часто внаслідок дії руйнівних природних сил, таких як повінь, неправильне обслуговування або пізня реакція на виниклі пошкодження.

Однією з причин передчасного руйнування дорожньої водопропускальної споруд з МГК є корозія металу, а також відсутність сучасних підходів аналізу та врахування корозійного пошкодження водопропускальної труби на її подальшу надійність та довговічність [5].

Важливість транспортних споруд, пов'язана, наприклад, з їх стратегічним розташуванням, викликає необхідність пошуку сучасних будівельних рішень, що поєднують швидке виконання, низьку вартість і задовільний строк служби [2].

Поверхневий стік дорожніх водопропускальних споруд впливає не лише на ерозію ґрунтів, а й руйнування транспортної споруди в цілому. Дорожні водопропускальні споруди переважно працюють у безнапірному або рідше в напівнонапірному режимі течії, в нижньому б'єфі дорожніх водопропускальних споруд з МГК залежно від умов протікання водного потоку при раптовому розширенні русла спряження потоків може здійснюватися або вільним розтіканням двовимірного у плані бурхливого потоку, або збійним перебігом струменя, що повільно розтікається [5, 7 – 9]. Обидва способи спряження впливають на деформацію дна відвідного русла в нижньому б'єфі, що спричинює місцеві розмиви дна і берегів відвідного русла та становлять

небезпеку для стійкості дорожніх водопропускальних споруд з МГК, та може призвести до руйнування всієї споруди [7, 9 – 11].

У випадку вільного розтікання бурхливого потоку значному розмиву може піддаватися дно русла по всій його ширині [8]. Варто зазначити, що розмив, як правило, виникає внаслідок нерівномірності величини пропускної витрати, під час збійної течії транзитний струмінь, зберігає надмірну кінетичну енергію на значній відстані від вихідного перерізу споруди, що надає йому високу розмивну здатність. Глибокий розмив, не зважаючи, що ширина транзитного струменя відносно невелика, загрожує руслу в будь-якій точці дна поперечного перерізу відвідного русла з огляду на те, що транзитний струмінь може змінити своє положення в плані, також значні деформації русла виникають у зоні бічних водоворотних зон [8]. Потік в зоні розтікання володіє швидкостями, що в кілька разів перевищують нерозмивну швидкість для ґрунтів дна русла [5, 8] та насиченості його донними і залученими наносами та сміттям, малим підтопленням із боку нижнього б'єфу [7 – 11], що негативно впливає не лише на експлуатацію та утримання споруди, але й на безпеку та життєдіяльність людей в тому числі і на екологічну ситуацію в регіоні [5].

Запобігання небезпечним деформаціям русла в нижньому б'єфі дорожньої водопропускальної споруди досягають за рахунок зміцнення відвідного русла або влаштування гасників надлишкової кінетичної енергії потоку, що забезпечують розтікання потоку в плані [5, 8].

Крім того, під час аналізування причин таких руйнувань встановлено, що однією з причин руйнувань також є недостатня вивченість місцевого стоку або недооблік його особливостей, що веде до неузгодженості водного режиму та пропускної спроможності дорожніх водопропускальних споруд [5]. Це викликає необхідність передбачити заходи щодо захисту конструктивних елементів у нижньому б'єфі споруди від абразивного зносу, занесення великоуламковим матеріалом, забезпечити перепустку плаваючих тіл [5].

Для запобігання розмиву споруди з боку нижнього б'єфу, що працює в таких умовах, передбачається влаштування гасників надлишкової кінетичної енергії потоку [5]. Аналіз конструкцій водопропускальних споруд показав, що в більшості випадків ширина русла в нижньому б'єфі в кілька разів більша ширини водопропускальної споруди (шляху потоку в споруді), що зумовлює просторовий характер руху потоку в ньому і крайню нерівномірність розподілу питомих витрат. Характер просторового руху водного потоку в нижньому б'єфі, що розширюється, залежить, у першу чергу, від глибини води в ньому і гідравлічних характеристик потоку у вихідному перерізі зі споруди. Залежно від побутової (природної) глибини потоку у відвідному руслі можливі три форми спряження потоку, що виходить із споруди з побутовим потоком у широкому нижньому б'єфі [7, 9 – 11]:

- спряження за типом затопленого струменя;
- спряження за типом збійної течії;
- спряження за типом вільного розтікання.

Існуючі технічні рішення конструкцій нижнього б'єфу мають недостатню ефективність, що спричинено принциповою відмінністю в умовах протікання потоку в нижньому б'єфі — на ділянці розтікання має місце двовимірний потік, а на ділянці гасіння надлишкової кінетичної енергії двовимірний потік трансформується на тривимірний високотурбулентний потік [9 – 11]. Розрахунок конструктивних елементів гасників, як правило, ведеться на пропуск однієї розрахункової витрати води, що визначається за даними гідрологічних спостережень, гідрологічні розрахунки базуються на імовірнісному підході, тому є наближеними, а значить, існує і ймовірність перевищення витрат, що пропускається над розрахунковим [5].

Тому, проведення досліджень оптимізації конструкції нижнього б'єфу з урахуванням даних факторів є актуальним та необхідним [5, 9 – 11].

Отже, актуальність цього дослідження полягає в необхідності дослідження спряження б'єфів дорожніх водопропускальних споруд з металевих гофрованих конструкцій.

Викладення основного дослідження

Розрахунок спряження б'єфів, особливо, за схиловими дорожніми водопропускальними трубами є досить складною задачею, тому що на ділянці вільного розтікання має місце двовимірний

потік, а на ділянці гасіння надлишкової кінетичної енергії двовимірний потік перетворюється на тривимірний турбулентний потік. Це робить практично неможливим дати точний теоретичний розв'язок про рух води в нижньому б'єфі дорожньої водопропускальної труби, а отже, і розрахувати місце розташування та геометричні розміри конструкції гасника надлишкової кінетичної енергії та призначити розміри та тип конструкції кріплення дна відвідного русла [12].

Потік води на ділянці спряження за допомогою гідравлічного стрибка в умовах плоскої задачі може бути віднесений до розряду двовимірних потоків з високим рівнем анізотропної турбулентності [12].

Зважаючи на надзвичайну складність процесів, що проходять у гідравлічному стрибку розв'язок задач пов'язаних з визначенням лінійних розмірів гідравлічного стрибка носить емпіричний або напівемпіричний характер.

Раніше багато дослідників зосереджувалися на властивостях гідравлічного стрибка в горизонтальному прямокутному руслі [13]. Умови течії хвилеподібних стрибків були класифіковані, а основні характеристики течії були досліджені Chanson, H. і Montes, J. [14], Chanson, H. і Montes, J. [15] і Ohtsu, I. [16], Chanson, H. [17] подав огляд порівняно недавніх досягнень у вивченні турбулентних гідравлічних стрибків за допомогою лабораторних експериментів. Chanson, H. і Montes, J. [18] досліджували властивості повітряно-водяного потоку в шарі зсуву, що розвивається. Дослідження Valiani, A. [19] застосував інтегральний баланс лінійного і кутового моментів у стаціонарному гідравлічному стрибку. Авторами [20] продемонстровано, що терміни Бусінеска не впливають на результат розташування стрибка, використовуючи модель четвертого порядку. Molls, T. та Molls, F. [21] розв'язали 1D і 2D рівняння Сен-Венана гідравлічного стрибка за допомогою явної двокрокової числової схеми.

У загальному випадку, при розгляді стрибкового спряження в похилому шорсткому руслі використовують або емпіричні залежності або рівняння кількості руху, для замикання якого застосовують ті чи інші статистичні гіпотези або статистичні моделі [12].

Розглядаючи схему спряження в похилому гладкому руслі, дослідники зазвичай використовували рівняння кількості руху. Основна проблема виникала щодо ваги відсіку рідини, між розрахунковими перерізами і лінією дна.

Більш ранні дослідження гідравлічних стрибків були у похилих прямокутних руслах та застосовувалися у водозливах, та включали похилу поверхню вгору за течією та горизонтальну поверхню вниз за течією. Перший теоретичний підхід був представлений Ellms, R. [22]. Перше систематичне дослідження було проведено Bakhmeteff, B. і Matzke, A. [23]. Kindsvater, C. E. [24] класифікував стрибки на чотири категорії на основі положення місця стрибка. Дослідження типу D-стрибка були проведені Rajaratnam, N. [25], Ohtsu, I. та Yasuda, Y. [26], а також Gunal, M. і Narayanan, R. [27]. Автори [28] продемонстрували, що висота першої хвилі для хвилястого гідравлічного стрибка не залежить від нахилу русла. Beirami, M. та Chamani, M. R. [29] припустили, що ефектами масштабу можна знехтувати для стрибків із малими початковими глибинами.

Коефіцієнт наповнення у оцінюється як:

$$y = \frac{h}{D}, \quad (1)$$

де h — глибину потоку;

D — діаметр труби.

Спрощене рівняння для оцінки числа Фруда [13]:

$$Fr = \frac{Q}{(gDh^4)^{1/2}}, \quad \text{де } 0,2 < y < 0,95. \quad (2)$$

Gargano, R. та Hager, W. H. [12] запропонували емпіричну формулу для першої вершини хвилі h_{1c} :

$$h_{1c} / D = (1,20Fr_1y_1 - 0,10), \quad \text{де } Fr_1 > 1. \quad (3)$$

Викликає стан затримки потоку, який виникає, коли глибина потоку після стрибка h_{j2} більше діаметра труби D . Задача гідравлічного стрибка починається з принципу імпульсу, щоб вивести рівняння для прямого розрахунку стрибка, між глибиною потоку перед стрибком h_{j1} і глибиною потоку після стрибка h_{j2} виражається як:

$$\rho Q V_1 + \rho g Y_{c1} A_1 = \rho Q V_2 + \rho g Y_{c2} A_2 - L_j \frac{A_1 + A_2}{2} \rho g \sin \alpha, \quad (4)$$

де 1 і 2 — індекси, що відносяться до перерізів потоку до і після стрибка відповідно;
 ρ — густина води;
 Y_c — відстань від поверхні води до центру тягаря розглянутого поперечного перерізу.

Сили тертя ігнорувалися, оскільки вони малі порівняно з потоками імпульсу і силами тиску.

Вагомий вплив на розміри гідравлічного стрибка має шорсткість русла [12]. Виняткова складність процесу, що протікає, призвело до того, що всі розрахункові залежності були отримані, як правило, на основі експериментальних досліджень [12].

Задача визначення висотних розмірів стрибкового спряження в гладкому горизонтальному призматичному руслі привернула одну з найбільших уваг дослідників.

У результаті досліджень основне рівняння гідравлічного стрибка отримало вигляд:

$$\frac{\alpha_0 Q^2}{g \omega_1} + y_1 \omega_1 = \frac{\alpha_0 Q^2}{g \omega_2} + y_2 \omega_2, \quad (5)$$

де ω_1 і ω_2 — відповідно площі поперечного перерізу потоку в секціях h_1 і h_2 ;
 y_1 та y_2 — глибина занурення центрів ваги площ поперечного перерізу ω_1 і ω_2 відповідно;
 Q — розрахункова витрата.

Вираз (5) можна виразити через параметр кінетичності $Пк$.

У роботі [12] розглянуто можливість роз'язання даного рівняння для тих типів русел, площа поперечного перерізу, яких відповідає такій залежності:

$$\frac{Пк_1}{Пк_2} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{x_0} = \eta^{x_0}, \quad \frac{\omega_2}{\omega_1} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^m = \eta^m, \quad \frac{y_2}{y_1} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^n = \eta^n, \quad (6)$$

і позначає відношення $\frac{By}{w} \mu$, тоді після нескладних перетворень рівняння стрибка може бути представлено в наступному вигляді:

$$\varepsilon_1 = \left[\frac{1}{\mu} \frac{(\eta^{m+n} - 1)}{(\eta^m - 1)} \frac{1}{\eta^m} \right]^{\frac{1}{x_0}}, \quad (7)$$

де числові значення величин $\bar{\mu}$; m ; n ; x_0 для різних типів русел приведені в [12].

Дане рівняння встановлює зв'язок між величинами ξ_1 і η .

Цивіним М. Н. [12] встановлено, що при однакових значеннях величини спряженої глибини η числові значення відносної глибини ξ_1 відрізняються досить незначно. Так при $\eta = 10$ розбіжність між величинами ε , розрахованими для трикутного і прямокутного русел, становить всього 3,3 %, у той час як параметр кінетичності $Пк$ трикутного русла виявився більше $Пк$ прямокутного русла у 12,2 рази.

Слід зазначити, що дослідження Ellms, R. [22], Bakhmeteff, B. і Matzke, A. [23]. Kindsvater, C. E. [24], Rajaratnam, N. [25], Ohtsu, I. та Yasuda, Y. [26], Gunal, M. і Narayanan, R. [27], Beirami, M. та Chamani, M. R. [29] стосувалися прямокутного каналу, мало уваги приділено гідравлічному стрибку в круглому каналі, внаслідок своєї складності. Stahl, H. та Hager, W. H., Reinauer, R. та Hager, W. H. і Gargano, R. та Hager, W. H. [12] досліджували формування гідравлічного стрибка в горизонтальній круглій трубі. Вони запропонували емпіричні рівняння для висоти та довжини стрибка. Існують дві

основні відмінності між гідравлічними стрибками в круглій трубі та в прямокутній: коефіцієнт наповнення вище за течією відіграє більш важливу роль у першому, ніж у другому, і круговий потік може бути заглушений наявністю гідравлічних стрибків. Дослідження властивості течії гідравлічного стрибка в похилій круглій трубі приділено дуже мало уваги.

Розв'язання рівняння щодо другої спряженої глибини можливе лише для прямокутного русла:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right], \quad (8)$$

де h_1 — початкова глибина;

h_2 — послідовна глибина;

Fr_1 — число Фруда вище за течією, оцінене на початковій ділянці глибини.

Числове моделювання турбулентних течій пов'язане зі значними труднощами, точного обчислення динаміки вихору, визначення миттєвого положення та конфігурації вільної поверхні, ефекта турбулентності та залучення повітря [12]. Гідравлічний стрибок вивчався за допомогою математичних моделей, заснованих на рівняннях N-S (Нав'є – Стокса), методів відстеження вільної поверхні, таких як метод об'єму рідини (VOF) або метод встановлення рівня та різних моделей турбулентності.

Відомо, що під час стрибку розсіюється велика кількість енергії. Якщо E_1 і E_2 — питомі енергії на початку та в кінці стрибка відповідно, і якщо E_L — втрата питомої енергії під час стрибка, можна показати, що [25, 42]:

$$\frac{E_L}{E_1} = \frac{8Fr_1^4 + 20Fr_1^2 - (8Fr_1^2 + 1)^{3/2} - 1}{2Fr_1^2(2 + Fr_1^2)}. \quad (9)$$

З цього рівняння можна знайти втрати енергії, що дорівнюють $0,86E_1$; тобто 86 % початкової питомої енергії розсіюється [25, 42].

Метод об'єму рідини використовує функцію $f(x, y, z, t)$ для призначення вільної поверхні. Функція f , що представляє частку рідини, отримується з наступного рівняння:

$$\frac{df}{dt} + U_j \frac{df}{dx_j} = 0, \quad (10)$$

де U — швидкість конвекції.

Найбільш часто застосовуваний підхід для моделювання турбулентного потоку полягає в тому, що ґрунтується на усередненні за часом, усереднення за часом використовується за рівнянням Рейнольдса, рівняння Нав'є – Стокса усереднюється за Рейнольдсом (RANS) [12]. У цьому статистичному підході миттєві значення швидкості та тиску зображуються як сума середнього та флуктуаційного компонентів [12]. Будь-яку миттєву швидкість u_i при заданих координатах x і часу t можна записати як:

$$u_i(x, t) = \bar{u}_i(x, t) + u'_i(x, t), \quad (11)$$

де $\bar{u}_i$ — середня швидкість;

u' — флуктуаційна швидкість.

Середня швидкість все ще має залежати від часу t , що можливо, коли усереднення часу визначається як [12]:

$$\bar{u}_i(x, t) = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} u_i(x, t) dt, \quad T_1 \ll T \ll T_2, \quad (12)$$

де T_1 — характерний часовий масштаб турбулентних коливань;

T_2 — характерний часовий масштаб нестабільності. У той час як $T \ll T_2$, може відтворити деяку нестабільність потоку (наприклад, флуктуації стрибка).

Розв'язання задачі числовими методами призводить до різних рівнянь, вираз основних рівнянь руху, написаних для безперервного середовища, через дискретні величини дозволяє отримати тільки наближені розв'язки, проте при такому підході коло розв'язуваних завдань є значно ширшим, ніж при використанні аналогового підходу [12].

Обчислювальна гідродинаміка використовує числовий аналіз і структури даних для прогнозування та моделювання потоків, найпоширеніший програмний комплекс FLOW-3D, що дає можливість моделювання потоку і аналізу процесу розмиву вниз за течією з високою точністю [30 – 36], у тому числі використовується для проектування гідравлічних конструкцій, що розсіюють енергію, таких як резервуари для заспокоєння, щоб зменшити ризик розмиву та ерозії в структурах випуску [32] для руху нестисливої в'язкої рідини, використано тривимірне усереднене за Рейнольдсом рівняння Нав'є – Стокса [37]:

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z) = R_{DIF}, \quad (13)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + G_x + f_x, \quad (14)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + G_y + f_y, \quad (15)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + G_z + f_z, \quad (16)$$

де R_{DIF} — турбулентна дифузія;
 P — середній гідродинамічний тиск;
 f_x, f_y і f_z — в'язкі прискорення;
 G_x, G_y і G_z — тіло прискорення;
 ρ — густина рідини;
 V_F — об'ємна частка;
 A_x, A_y і A_z — частки площі;
 x, y та z — декартові координати;
 u, v, w — компоненти швидкості.

Визначення локальної швидкості транспортування осаду (наносів) є ключовим елементом під час розроблення математичних моделей, що служать для прогнозування деформації дна та берегової лінії. Однак, відсутні надійні практичні моделі розрахунку процесу транспортування осаду (наносів). Рух транспортування осаду (занесення, завислий стан, осідання та навантаження на пласт) було оцінено шляхом прогнозування процесу адвекції, ерозії та осадження за допомогою рівнянь, описаних Вей Г. та ін [38].

За аналогією з рухом води рівняння транспорту наносів може бути представлене як математичний вираз закону збереження маси, та можна записати у двовимірному вигляді [43]:

$$(1 - \rho_m) \frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial \tilde{q}_{sx}}{\partial x} + \frac{\partial \tilde{q}_{sy}}{\partial y} = 0, \quad (17)$$

де ρ_m — щільність осаду, що знаходиться в одиниці об'єму рідини;
 z_b — рівень дна;
 $\tilde{q}_{sx}$ і $\tilde{q}_{sy}$ — об'ємне транспортування осаду на одиницю ширини (m^2/c) в напрямках x та y відповідно.

Подібне рівняння балансу може бути записано для індивідуальної фракції заданого розміру у разі, коли осад є сумішшю фракцій різних розмірів. При цьому рівняння має розглядатися обсяг цієї фракції, взаємодію фракцій різних розмірів, як правило, нехтують.

Метод об'єму рідини (VOF) використовувався для застосування правильних граничних умов на межі розділу та відстеження межі розділу рідин через довільні деформації [35]. Гідродинамічний аналіз проводився на основі методології представлення двофазної площі / об'єму перешкод (FAVOR) [35, 39]. Цей метод дозволяє відстежувати межу розділу рідин через довільні деформації та застосовувати правильні граничні умови на межі розділу [35, 40].

У програмному комплексі OpenFOAM швидкість і тиск є важливими параметрами, які можна використовувати для порівняння [41]. Для розв'язування нестисливої в'язкої рідини використовуються рівняння двофазної течії нестисливої N-S рівняння (усереднені за Рейнольдсом рівняння Нав'є – Стокса) [42]:

$$\nabla \cdot u = 0,$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u u) - \nabla \cdot ((\mu + \mu_t) S) = -\nabla p + \rho g + \sigma K \frac{\nabla \alpha}{|\nabla \alpha|}, \quad (18)$$

де u — векторне поле швидкості;

p — поле тиску;

μ_t — турбулентна вихрова в'язкість;

α — функція об'ємної частки для двох рідин, визначена як:

$$\alpha = \begin{cases} 0 & \text{об'єм, який займає повітря;} \\ 1 & \text{об'єм, який займає вода.} \end{cases}$$

S — тензор швидкості деформації, $S = \frac{1}{2} \nabla u + \nabla u^T$;

σ — поверхневий натяг;

K — кривизна поверхні.

Модель турбулентності виражена рівнянням транспортування для моделі $k-\omega$ SST [41]:

— кінематична вихрова в'язкість:

$$\mu_t = \frac{\rho \alpha_1 k}{\max(\alpha_1 \omega, SF_2)}, \quad (19)$$

— кінетична енергія турбулентності:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k U_i)}{\partial x_i} = P_k - \beta^* \rho k \omega + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[(\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right], \quad (20)$$

— питома швидкість дисипації:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k U_i)}{\partial x_i} = \alpha S^2 - \beta \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_\omega \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + 2(1 - F_1) \rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_i} \frac{\partial \omega}{\partial x_i}, \quad (21)$$

де k — турбулентна кінетична енергія;

μ_t — коефіцієнт турбулентної в'язкості;

ω — швидкість дисипації;

τ_{ij} — тензор напруження Рейнольдса $\left[= \mu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \sigma_{ij} \right]$;

σ_{ij} — дельта Кронекера.

Висновки

Найбільш ефективним способом гасіння надмірної кінетичної енергії водного потоку є гасіння за допомогою гідравлічного стрибка.

Однак практично досліджено питання, пов'язані з кінематикою потоку на ділянці утворення гідравлічного стрибка та питання його стійкості, погано вивчено керуючий вплив на потік у зоні розтікання конструктивних елементів гасників активного типу для відносно широких та відносно вузьких русел.

У зв'язку з тим, що на ділянці двомірний у плані бурхливий потік трансформується в тривимірний з високим рівнем анізотропної турбулентності для дослідження такого типу завдань, на сучасному етапі, можливий лише статистичний підхід із застосуванням методів теорії математичного планування експерименту.

При формуванні потоку із заданими гідравлічними характеристиками доцільно використовувати принцип управління — цілеспрямований вплив на потік конструктивними елементами нижнього б'єфу.

Використання рівняння руху рідини в диференціальній формі дозволяє отримати рівняння досконалого гідравлічного стрибка у вигляді, явного відносно шуканої другої сполученої глибини в разі шорстких водоводів з похилим дном.

Аналіз рівняння загального рішення гідравлічного стрибка показав, що вплив сил зовнішнього тертя і похилу дна на висотні розміри гідравлічного стрибка можна враховувати окремо, незалежно один від одного.

Виконаний аналіз сучасного стану проблеми дозволяє зробити висновок про недосконалість існуючих методик розрахунку спряження б'єфів та необхідність удосконалення існуючих підходів розрахунку.

Список літератури

1. Коваль П. М., Фаль А. Є., Бабяк І. П., Сітдикова Т. М. Нормативне забезпечення проектування і будівництва споруд з металевих гофрованих конструкцій. *Дороги і мости*. Київ, 2008. Вип. 8. С. 154–158. URL: http://dorogimosti.org.ua/files/upload/Uz_21.pdf.
2. Damian Beben. *Soil-Steel Bridges*. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering. Springer Nature Switzerland AG 2020., 2020. P. 214. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-34788-8>.
3. Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Клименко М. І. Аналіз проектування та будівництва гідротехнічних споруд транспортного будівництва у вигляді водопропускних труб з полімерних матеріалів на автомобільних дорогах. *Дороги і мости*. 2021. Вип. 24. С. 112–133. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.24.112>.
4. Лучко Й. Й., Ковальчук В. В. Технічний стан транспортних споруд з металевих гофрованих конструкцій. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2021. Вип. 19. С. 38–50. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2021/233873>.
5. Гаркуша М. В. Вплив пошкоджених гідротехнічних споруд транспортного будівництва з дорожніх водопропускних труб на навколишнє середовище. Водопостачання і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг. V міжнародна наукова-технічна конференція, 11-13 жовтня 2023, Україна, Львів : зб. матер. Електрон. дан. Київ : Яроченко Я. В., 2023. С. 82–83. DOI: <https://doi.org/10.51500/7826-33-9>.
6. Цинка А. О., Боднар Л. П. Дослідження стану мостових переходів на основі аналітичної експертної системи управління мостами. *Дороги і мости*. Київ, 2020. Вип. 21. С. 270–281. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.270>.
7. А. М. Онищенко, І. В. Башкевич, М. В. Гаркуша, М. Н. Цивін, С. В. Кожарін. Гідравліка: практичний курс із застосуванням Mathcad: підручник. Київ: «Видавництво Людмила», 2022. 264 с.
8. Ліпницький Г. О. Застосування гасника енергії при раптовому розширенні русла в нижньому б'єфі малої штучної споруди. *Гідравліка: Міжвідомчий республіканський науково-технічний збірник*. К.: Техніка, 1965. Вип. 1. С. 194–201.
9. Цивін М. Н. Новий підхід до проблеми гасіння надмірної кінетичної енергії за трубчастими водоскидами. *Гідравліка та гідротехніка: Міжвідомчий республіканський науково-технічний збірник*. 1998. Вип. 59. С. 85–89.

10. Цивін М. Н. Дослідження експлуатаційних характеристик погашувача енергії активного типу. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*: Міжвід. наук.-техн. зб. 1999. Вип. 57. С. 209–213.
11. Цивін М. Н., Ткаченко Н. І. Оптимальна конструкція кріплення нижнього б'єфу водопропускних споруд систем лиманного зрошення. *Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво*. Львів, 1988. Вип. 16. С. 38–43.
12. Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Клименко М. І. Аналіз спряження б'єфів гідротехнічних споруд транспортного будівництва з дорожніх водопропускних труб в умовах плоскої задачі. *Дороги і мости*. Київ, 2023. Вип. 27. С. 228–244. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.228>.
13. Wang C, Li SS. Hydraulic Jump and Resultant Flow Choking in a Circular Sewer Pipe of Steep Slope. *Water*. 2018; 10(11):1674. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10111674>.
14. Chanson, H.; Montes, J.S. Characteristics of undular hydraulic jumps: Experimental apparatus and flow patterns. *J. Hydraul. Eng.* 1995, 121, 129–144.
15. Montes, J.; Chanson, H. Characteristics of undular hydraulic jumps: Experiments and analysis. *J. Hydraul. Eng.* 1998, 124, 192–205.
16. Ohtsu, I.; Yasuda, Y.; Gotoh, H. Flow conditions of undular hydraulic jumps in horizontal rectangular channels. *J. Hydraul. Eng.* 2003, 129, 948–955.
17. Chanson, H. Current knowledge in hydraulic jumps and related phenomena. A survey of experimental results. *Eur. J. Mech. B/Fluids* 2009, 28, 191–210.
18. Chanson, H.; Brattberg, T. Experimental study of the air–water shear flow in a hydraulic jump. *Int. J. Multiph. Flow* 2000, 26, 583–607.
19. Valiani, A. Linear and angular momentum conservation in hydraulic jump. *J. Hydraul. Res.* 1997, 35, 323–354.
20. Gharangik, A.M.; Chaudhry, M.H. Numerical simulation of hydraulic jump. *J. Hydraul. Eng.* 1991, 117, 1195–1211.
21. Molls, T.; Molls, F. Space-time conservation method applied to Saint Venant equations. *J. Hydraul. Eng.* 1998, 124, 501–508.
22. Ellms, R. Hydraulic jump in sloping and horizontal flumes. *Trans. Am. Soc. Mech. Eng.* 1932, 54, 113–121.
23. Bakhmeteff, B.; Matzke, A. The hydraulic jump in sloped channels. *Trans. Am. Soc. Mech. Eng.* 1938, 60, 111–118.
24. Kindsvater, C.E. The hydraulic jump in sloping channels. *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.* 1944, 109, 1107–1154.
25. Rajaratnam, N. The hydraulic jump in sloping channels. *Water Energy Int.* 1966, 23, 137–149.
26. Ohtsu, I.; Yasuda, Y. Hydraulic jump in sloping channels. *J. Hydraul. Eng.* 1991, 117, 905–921.
27. Gunal, M.; Narayanan, R. Hydraulic jump in sloping channels. *J. Hydraul. Eng.* 1996, 122, 436–442.
28. Gotoh, H.; Yasuda, Y.; Ohtsu, I. Effect of channel slope on flow characteristics of undular hydraulic jumps. *J. Appl. Mech.* 2004, 7, 953–960.
29. Beirami, M.; Chamani, M.R. Hydraulic jumps in sloping channels: sequent depth ratio. *J. Hydraul. Eng.* 2006, 132, 1061–1068.
30. Kim, D. G. Numerical analysis of free flow past a sluice gate. *KSCE J. Civ. Eng.* 2007. 11 (2): 127–132. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02823856>.
31. Kim, S., K. Yu, B. Yoon, and Y. Lim. A numerical study on hydraulic characteristics in the ice harbor-type fishway. *KSCE J. Civ. Eng.* 2012. 16 (2): 265–272. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12205-012-0010-5>.
32. Mohammed, S. R., B. K. Nile, and W. H. Hassan. Modelling stilling basins for sewage networks. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2020. 671 (1): 012111. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/671/1/012111>.
33. Olsen, N. R. B., and G. Hillebrand. Long-time 3D CFD modeling of sedimentation with dredging in a hydropower reservoir. *J. Soils Sediments*. 2018. 18 (9): 3031–3040. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-018-1989-0>.
34. Karimpour, S., S. Gohari, and M. Yasi. Experimental and numerical investigation of blockage effects on flows in a culvert. *J. Hydraul.* 2020. 15 (2): 1–14. DOI: <https://doi.org/10.30482/jhyd.2020.211670.1425>.

35. Taha, N., M. M. El-Feky, A. A. El-Saiad, and I. Fathy. Numerical investigation of scour characteristics downstream of blocked culverts. *Alexandria Eng. J.* 2020. 59 (5): 3503–3513. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.05.032>.
36. Othman Ahmed, K., A. Amini, J. Bahrami, M. R. Kavianpour, and D. M. Hawez. Numerical modeling of depth and location of scour at culvert outlets under unsteady flow conditions. *J. Pipeline Syst. Eng. Pract.* 2021. 12 (4): 04021040. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)PS.1949-1204.0000578](https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000578).
37. Mostafazadeh-Fard, Saman, Samani, Zohrab. Dissipating Culvert End Design for Erosion Control Using CFD Platform FLOW-3D Numerical Simulation Modeling. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*. 2023. 14. DOI: <https://doi.org/10.1061/JPSEA2.PSENG-1373>.
38. Wei, G., J. Brethour, M. Grünzner, and J. Burnham. The sedimentation scour model in FLOW-3D. *Flow Science Rep.* 2014. No. 03-14. Santa Fe, NM: Flow Science Inc.
39. Hirt, C. W., and B. D. Nichols. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries *J. Comput. Phys.* 1981. 39 (1): 201–225. DOI: [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(81\)90145-5](https://doi.org/10.1016/0021-9991(81)90145-5).
40. Flow Science, FLOW-3D version 11.2 user manual. Los Alamos, NM: Flow Science. 2016
41. Christopher J. G. OpenFOAM User Guide version 5.0. OpenFOAM Foundation Ltd, Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported License. 2017.
42. Rajaratnam, N. Hydraulic jumps in advances in hydrosience, V. T. Chow, ed., Academic Press, New York, N.Y., 1967. 197–280. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-1-4831-9935-1.50011-2>.
43. Mosselman E. Basic equations for sediment transport in CFD for fluvial morphodynamics. In Bates PD, Lane SN, Ferguson RI, editors, *Computational fluid dynamics; applications in environmental hydraulics*. Chichester: Wiley. 2005. P. 71–89.

References

1. Koval' P. M., Fal' A. YE., Babyak I. P., Sitdykova T. M. Normatyvne zabezpechennya proektuvannya i budivnytstva sporud z metalevykh hofrovanykh konstruktsiy (Regulatory support for the design and construction of structures made of corrugated metal structures). *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2008. Issue 8. P. 154–158. URL: http://dorogimosti.org.ua/files/upload/Uz_21.pdf [in Ukrainian].
2. Damian Beben. *Soil-Steel Bridges*. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering. Springer Nature Switzerland AG 2020., 2020. P. 214. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-34788-8> [in English].
3. Onyshchenko A. M., Harkusha M. V., Klymenko M. I. Analiz proyektuvannya ta budivnytstva hidrotekhnichnykh sporud transportnoho budivnytstva u vyhlyadi vodopropusknykh trub z polimernykh materialiv na avtomobil'nykh dorohakh (Analysis of the design and construction of hydraulic structures of transport construction in the form of culverts made of polymer materials on highways). *Dorohy i mosty*. 2021. Issue 24. C. 112–133. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.24.112> [in Ukrainian].
4. Luchko Y. Y., Koval'chuk V. V. Tekhnichnyy stan transportnykh sporudi z metalevykh hofrovanykh konstruktsiy (Technical condition of transport structures made of corrugated metal structures). *Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennya, praktyka*. 2021. Issue 19. P. 38–50. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2021/233873> [in Ukrainian].
5. Harkusha M. V. Vplyv poskodzhennykh hidrotekhnichnykh sporud transportnoho budivnytstva z dorozhnykh vodopropusknykh trub na navkolyshnye seredovyshe (The impact of damaged hydraulic structures of transport construction from road culverts on the environment). *Vodopostachannya i vodovidvedennya: proektuvannya, budivnytstvo, ekspluatatsiya, monitoringh*. V mizhnarodna naukova-tekhnichna konferentsiya, 11-13 zhovtnya 2023, Ukrayina, L'viv : zb. mater. Elektron. dan. Kyyiv : Yarochenko YA. V., 2023. P. 82–83. DOI <https://doi.org/10.51500/7826-33-9> [in Ukrainian].
6. Tsynka A. O., Bodnar L. P. Doslidzhennya stanu mostovykh perekhodiv na osnovi analitychnoyi ekspertnoyi systemy upravlinnya mostamy (Research on the condition of bridge crossings based on an analytical expert bridge management system). *Dorohy i mosty*. 2020. Issue 21. P. 270–281. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.270> [in Ukrainian].
7. Hidravlika: praktychnyy kurs iz zastosuvannyam Mathcad: pidruchnyk (Hydraulics: a practical course using Mathcad: a textbook) / A. M. Onyshchenko, I. V. Bashkevych, M. V. Harkusha, M. N. Tsyvin, S. V. Kozharin. Kyyiv: "Vydavnytstvo Lyudmyla", 2022. 264 p. [in Ukrainian].

8. Lipits'kyy H. O. Zastosuvannya hasnyka enerhiyi pry raptovomu rozshyrenni rusla v nyzhn'omu b'yefi maloyi shtuchnoyi sporudy (Application of energy absorber during sudden widening of the channel in the lower reaches of a small artificial structure). *Hidravlika: Mizhvidomchyy respublikans'kyy naukovotekhnichnyy zbirnyk*. K.: Tekhnika, 1965. Issue 1. P. 194–201 [in Ukrainian].
9. Tsyvin M. N. Novyy pidkhid do problemy hasinnya nadmirnoyi kinetychnoyi enerhiyi za trubchastymy vodoskydamy (A new approach to the problem of extinguishing excess kinetic energy behind tubular spillways). *Hidravlika ta hidrotekhnika: Mizhvidomchyy respublikans'kyy naukovotekhnichnyy zbirnyk*. 1998. Issue 59. P. 85–89 [in Ukrainian].
10. Tsyvin M.N. Doslidzhennya ekspluatatsiynykh kharakterystyk pohashuvacha enerhiyi aktyvnogo typu (Research on the operational characteristics of an active-type energy absorber). *Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo: Mizhvid. nauk.-tekhn. zb.* 1999. Issue 57. P. 209–213 [in Ukrainian].
11. Tsyvin M. N., Tkachenko N. I. Optymal'na konstruktciya kriplennya nyzhn'oho b'yefu vodoprusknykh sporud system lymannoho zroshennya (Optimal design of fastening of the lower part of the culvert structures of estuary irrigation systems). *Hidromelioratsiya ta hidrotekhnichne budivnytstvo*. L'viv, 1988. Issue 16. P. 38–43 [in Ukrainian].
12. Onyshchenko A. M., Harkusha M. V., Klymenko M. I. Analiz spryazhennya b'yefiv hidrotekhnichnykh sporud transportnoho budivnytstva z dorozhnykh vodoprusknykh trub v umovakh ploskoyi zavdachi (Analysis of the conjugation of the bunds of hydraulic structures of transport construction from road culverts in flat-bed conditions). *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2023. Issue 27. P. 228–244. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.228> [in Ukrainian]
13. Wang C, Li SS. Hydraulic Jump and Resultant Flow Choking in a Circular Sewer Pipe of Steep Slope. *Water*. 2018; 10(11):1674. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10111674> [in English].
14. Chanson, H.; Montes, J.S. Characteristics of undular hydraulic jumps: Experimental apparatus and flow patterns. *J. Hydraul. Eng.* 1995, 121, 129–144 [in English].
15. Montes, J.; Chanson, H. Characteristics of undular hydraulic jumps: Experiments and analysis. *J. Hydraul. Eng.* 1998, 124, 192–205 [in English].
16. Ohtsu, I.; Yasuda, Y.; Gotoh, H. Flow conditions of undular hydraulic jumps in horizontal rectangular channels. *J. Hydraul. Eng.* 2003, 129, 948–955 [in English].
17. Chanson, H. Current knowledge in hydraulic jumps and related phenomena. A survey of experimental results. *Eur. J. Mech. B/Fluids* 2009, 28, 191–210 [in English].
18. Chanson, H.; Brattberg, T. Experimental study of the air–water shear flow in a hydraulic jump. *Int. J. Multiph. Flow* 2000, 26, 583–607 [in English].
19. Valiani, A. Linear and angular momentum conservation in hydraulic jump. *J. Hydraul. Res.* 1997, 35, 323–354 [in English].
20. Gharangik, A.M.; Chaudhry, M.H. Numerical simulation of hydraulic jump. *J. Hydraul. Eng.* 1991, 117, 1195–1211 [in English].
21. Molls, T.; Molls, F. Space-time conservation method applied to Saint Venant equations. *J. Hydraul. Eng.* 1998, 124, 501–508 [in English].
22. Ellms, R. Hydraulic jump in sloping and horizontal flumes. *Trans. Am. Soc. Mech. Eng.* 1932, 54, 113–121 [in English].
23. Bakhmeteff, B.; Matzke, A. The hydraulic jump in sloped channels. *Trans. Am. Soc. Mech. Eng.* 1938, 60, 111–118 [in English].
24. Kindsvater, C.E. The hydraulic jump in sloping channels. *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.* 1944, 109, 1107–1154 [in English].
25. Rajaratnam, N. The hydraulic jump in sloping channels. *Water Energy Int.* 1966, 23, 137–149 [in English].
26. Ohtsu, I.; Yasuda, Y. Hydraulic jump in sloping channels. *J. Hydraul. Eng.* 1991, 117, 905–921 [in English].
27. Gunal, M.; Narayanan, R. Hydraulic jump in sloping channels. *J. Hydraul. Eng.* 1996, 122, 436–442 [in English].
28. Gotoh, H.; Yasuda, Y.; Ohtsu, I. Effect of channel slope on flow characteristics of undular hydraulic jumps. *J. Appl. Mech.* 2004, 7, 953–960 [in English].

29. Beirami, M.; Chamani, M.R. Hydraulic jumps in sloping channels: sequent depth ratio. *J. Hydraul. Eng.* 2006, 132, 1061–1068 [in English].
30. Kim, D. G. Numerical analysis of free flow past a sluice gate. *KSCE J. Civ. Eng.* 2007. 11 (2): 127–132. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02823856> [in English].
31. Kim, S., K. Yu, B. Yoon, and Y. Lim. A numerical study on hydraulic characteristics in the ice harbor-type fishway. *KSCE J. Civ. Eng.* 2012. 16 (2): 265–272. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12205-012-0010-5> [in English].
32. Mohammed, S. R., B. K. Nile, and W. H. Hassan. Modelling stilling basins for sewage networks. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2020. 671 (1): 012111. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/671/1/012111> [in English].
33. Olsen, N. R. B., and G. Hillebrand. Long-time 3D CFD modeling of sedimentation with dredging in a hydropower reservoir. *J. Soils Sediments.* 2018. 18 (9): 3031–3040. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-018-1989-0> [in English].
34. Karimpour, S., S. Gohari, and M. Yasi. Experimental and numerical investigation of blockage effects on flows in a culvert. *J. Hydraul.* 2020. 15 (2): 1–14. DOI: <https://doi.org/10.30482/jhyd.2020.211670.1425> [in English].
35. Taha, N., M. M. El-Feky, A. A. El-Saiad, and I. Fathy. Numerical investigation of scour characteristics downstream of blocked culverts. *Alexandria Eng. J.* 2020. 59 (5): 3503–3513. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.05.032> [in English].
36. Othman Ahmed, K., A. Amini, J. Bahrami, M. R. Kavianpour, and D. M. Hawez. Numerical modeling of depth and location of scour at culvert outlets under unsteady flow conditions. *J. Pipeline Syst. Eng. Pract.* 2021. 12 (4): 04021040. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)PS.1949-1204.0000578](https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000578) [in English].
37. Mostafazadeh-Fard, Saman, Samani, Zohrab. Dissipating Culvert End Design for Erosion Control Using CFD Platform FLOW-3D Numerical Simulation Modeling. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice.* 2023. 14. DOI: <https://doi.org/10.1061/JPSEA2.PSENG-1373> [in English].
38. Wei, G., J. Brethour, M. Grünzner, and J. Burnham. The sedimentation scour model in FLOW-3D. *Flow Science Rep.* 2014. No. 03-14. Santa Fe, NM: Flow Science Inc [in English].
39. Hirt, C. W., and B. D. Nichols. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *J. Comput. Phys.* 1981. 39 (1): 201–225. DOI: [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(81\)90145-5](https://doi.org/10.1016/0021-9991(81)90145-5) [in English].
40. Flow Science, FLOW-3D version 11.2 user manual. Los Alamos, NM: Flow Science. 2016 [in English].
41. Christopher J. G. OpenFOAM User Guide version 5.0. OpenFOAM Foundation Ltd, Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported License. 2017 [in English].
42. Rajaratnam, N. Hydraulic jumps in advances in hydroscience, V. T. Chow, ed., Academic Press, New York, N.Y., 1967. 197–280. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-1-4831-9935-1.50011-2> [in English].
43. Mosselman E. Basic equations for sediment transport in CFD for fluvial morphodynamics. In Bates PD, Lane SN, Ferguson RI, editors, Computational fluid dynamics; applications in environmental hydraulics. Chichester: Wiley. 2005. P. 71–89 [in English].

Mykola Harkusha, Ph.D., Assoc. Prof., <https://orcid.org/0000-0002-5388-0561>

National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

RESEARCH OF LOW WATER STREAM CROSSING STRUCTURES MADE OF METAL CORRUGATED CONSTRUCTIONS

Abstract

Introduction. Low water crossing structures made of corrugated metal constructions (hereinafter referred to as CMP), despite having a history of over a century of use, are still quite a new type of structure in Ukraine and are gaining widespread use in transportation construction as an alternative to traditional steel or concrete bridge structures. The well-known advantages that justify the choice of such a solution mainly

include the short construction period and relatively low cost. Construction, provided the appropriate technological process is followed, does not pose significant challenges. However, the current design and construction process of low water crossing structures with CMp is imperfect and constantly improving. Some local features require the construction of a low water crossing pipe with a steep slope, which increases the speed of the water and creates a high-energy flow at the exit of the low water crossing pipe. This high-energy water can erode the natural streambed. The most effective method for dissipating excess kinetic energy from the water flow is by using a hydraulic jump. An analysis of the characteristics of the junctions of the pools for road water-crossing pipes in flat problems was conducted, the impact of various factors on the length of the hydraulic jump was determined, and a methodological approach to solving the junction problems was presented.

Problems. It has been established that there is a need to refine the existing approaches to the junction of pools for road water-crossing structures made of corrugated metal constructions, taking into account global practices.

Objectives. The main objectives of this scientific work are to study the junction of pools for low water crossing pipes in the context of a flat problem, to determine the influence of a number of factors on the length of the hydraulic jump, and to present a methodological approach to solving the problems of pool junctions.

Results. An analysis of the operational experience and the features of the functioning of water crossing structures made of corrugated metal constructions on highways has been conducted. The characteristics of the junction of pools for low water crossing pipes in the context of a flat problem have been studied. A methodological approach to solving the problems of pool junctions has been established.

The most effective way to dissipate excess kinetic energy of the water flow is through the use of a hydraulic jump. However, the issues related to the kinematics of the flow at the formation of the hydraulic jump and its stability are poorly researched. The controlling influence on the flow in the spreading zone of active-type dissipator structural elements for relatively wide and narrow channels has not been well studied.

Since in the area of the two-dimensional flow in plan the flow transforms into a three-dimensional one with a high level of anisotropic turbulence, at the current stage, only a statistical approach using methods from the theory of mathematical experiment design is possible for solving such problems.

When forming the flow with specified hydraulic characteristics, it is advisable to use the control principle – targeted influence on the flow using structural elements of the lower pool.

Using the differential form of the liquid motion equation allows for the derivation of the equation for the ideal hydraulic jump in the form explicitly related to the unknown second conjugate depth in the case of rough water conduits with a sloping bed.

The analysis of the general solution equation for the hydraulic jump showed that the influence of external friction forces and the sloping bed on the height of the hydraulic jump can be considered separately, independently of each other.

The analysis of the current state of the problem leads to the conclusion that the existing methods for calculating the junction of pools are imperfect, and there is a need to improve the current approaches to the calculations.

Key words: highways, hydraulic jump, road culverts, hydraulic structures.

УДК 624.014:624.21

Абрамов В. М., канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-6911-5178>*Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Івано-Франківськ (на період воєнного стану), Україна*

АНАЛІТИЧНІ І СКІНЧЕНО-ЕЛЕМЕНТНІ РОЗРАХУНКИ ДОРОЖНІХ СПОРУД РІЗНИХ ФОРМ З ГОФРОВАНОГО МЕТАЛУ ЗА ДЕФОРМАЦІЙНИМ КРИТЕРІЄМ

Анотація

Вступ. Споруди з металевих гофрованих конструкцій (МГК) — водопропускні труби, малі та середні мости, шляхопроводи — є досить поширеними сучасними об'єктами транспортного і гідротехнічного будівництва у багатьох країнах світу. При належному рівні проєктування такі дорожні споруди за своїми техніко-економічними показниками значно ефективніші за споруди такого ж класу з масивних залізобетонних і металевих конструкцій. Тому важливо мати більше уявлень про роботу цих раціональних і специфічних об'єктів під дорожнім насипом в системі «споруда – ґрунт» та відповідну більш коректну методику їхнього розрахунку.

Проблематика. У частині розрахунків існуюча нормативно-методична документація з проєктування дорожніх споруд з МГК не достатньо повна і не відображає в потрібній мірі особливості роботи таких споруд різних форм перетину. Це певною мірою ускладнює проєктування і сповільнює поширення таких споруд з МГК у практиці дорожнього будівництва.

Мета і завдання. Показати можливості складання методики розрахунку дорожніх споруд з МГК за деформаційним критерієм, найбільш актуальним для гнучкого склепіння під насипом, з використанням простих зрозумілих розрахункових схем різних форм перетину і загальноприйнятих закономірностей будівельної механіки та механіки ґрунтів і підземних споруд — основна мета і завдання даної роботи.

Методи досліджень і результати. На основі розрахунково-теоретичного аналізу роботи дорожніх споруд з МГК в умовах взаємодії з ґрунтом насипу з використанням аналітичних методів і метода скінчених елементів (МСЕ) показано можливості складання методики їхнього практичного розрахунку, яка більш повно відображає дійсну роботу розглянутих споруд.

Висновки. Результати роботи показують, що є підстави для доповнення і удосконалення методики розрахунку дорожніх споруд різних форм перетину з МГК. Викладені у статті дані доповнюють уявлення про роботу дорожніх споруд такого типу. Показано можливі вихідні розрахункові положення і напрямки подальшої роботи з доповнення й удосконалення існуючої методики розрахунку розглянутих дорожніх споруд з МГК.

Ключові слова: деформаційний критерій, дорожній насип, несна здатність, споруди з МГК.

Вступ

Впродовж останніх десятиліть в науково-технічних виданнях України зростає чисельність публікацій про позитивний досвід використання транспортних споруд з МГК. Висвітлюються дані про умови і особливості роботи таких споруд під дорожнім насипом у складі системи «споруда – ґрунт», дані результатів їхнього обстеження і випробувань, дані про існуючі підходи до розрахунку споруд з МГК у різних країнах світу. Однак заяви стосовно потреби удосконалення методики розрахунку споруд з МГК, які містяться у цих публікаціях, поки ще не супроводжуються конкретними пропозиціями, що саме потрібно корегувати і як. При цьому, як правило, обмежуються посиланням на способи розрахунків, які розроблені і прийняті у США, Канаді, Швеції [1, 2]. Але ці способи не є такими, що базуються повністю на загальноприйнятих закономірностях будівельної механіки, механіки ґрунтів і підземних споруд. Певною мірою в них частково використовуються і

емпіричні залежності (наприклад, різні коефіцієнти обліку окремих факторів, що впливають на величини навантажень, в розділі 6 [1]), тому ці способи не є універсальними. Крім того, у більшості випадків це є способи розрахунку споруд у формі тільки круглих труб.

У нормативному документі з проектування дорожніх споруд з МГК наведено формулу визначення нормального зусилля N стиску стінки труби під дорожнім насипом [3]. Наприклад, для круглої труби діаметром $D = 4$ м, з товщиною стінки $\delta = 5$ мм, з модулем пружності і коефіцієнтом Пуассона металу, відповідно, $E = 2,1 \times 10^7$ т/м² і $\mu = 0,25$, під насипом висотою $h = 2$ м (над трубою) з ґрунту з модулем деформації $E_0 = 30$ МПа (3 000 т/м²) це зусилля N тільки від маси ґрунту над спорудою на 1 м її ширини дорівнює, за цією (скороченою) формулою:

$$N = \frac{\gamma D(h + \frac{D}{2})}{2 + \frac{E_0}{E} \times \frac{D}{\delta} (1 - \mu)}, \quad N = \frac{1,8 \times 4(2 + \frac{4}{2})}{2 + \frac{3000}{21000000} \times \frac{4}{0,005} (1 - 0,25^2)} = 13,65 \text{ тс (136,5 кН)}. \quad (1)$$

Але зі звичайних умов рівноваги зусилля N у перерізах тієї ж труби дорівнює [1, 4] (рис. 1):

$$N = \gamma h \frac{D}{2}, \quad N = 1,8 \times 2 \times \frac{4}{2} = 7,2 \text{ тс (72,0 кН)}. \quad (2)$$

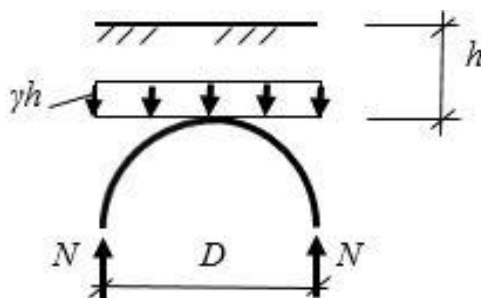


Рисунок 1 — Схема до визначення зусилля N у перерізах стінок труби за умови статичної рівноваги

Крім того, розглянута формула для визначення зусилля N у нормах [3] містить модуль деформації ґрунту засипки E_0 , тобто вважається, що пружність ґрунту засипки впливає на N , але опір ґрунту можливий при переміщеннях бічних стінок труби у бік ґрунту внаслідок роботи на згин, а не тільки на нормальну силу за формулою (1) пункту 2.2.1 документу [3] (що можливо тільки в окремому маловірогідному випадку — при дії рівномірного радіального стискання труби).

Допустима величина деформації перетину труби (відносна зміна вертикального або горизонтального діаметру) за цим документом визначається так само, як і у нормах 70-х років минулого століття — величиною 5 % від діаметра, не залежно від висотт насипу, без урахування того, що осідання насипу і дорожнього покриття над гнучкою трубою (з прогином) при різній висоті засипки буде різним [5].

Викладено вище свідчить про те, що є підстави доповнювати уявлення про роботу гнучкої труби чи склепіння під дорожнім насипом в системі «споруда – ґрунт» і удосконалювати методику розрахунку. І здається, що краще намагатися це робити використовуючи відомі загальноприйняті закономірності будівельної механіки, механіки ґрунтів і підземних споруд та відповідні зрозумілі розрахункові схеми.

Основна частина

Роботу з дослідження можливостей доповнення й удосконалювання методики практичного розрахунку споруд з МГК, відображену в цій статті, виконано виходячи з наступних основних положень (частково раніше викладених в [6, 7]):

— схема роботи і деформування (у відносно невеликих допустимих границях) споруди у формі арки чи кільця або еліпсу під дорожнім насипом при переважаючому вертикальному тиску ґрунту така сама (вертикальний розмір зменшується, горизонтальний збільшується), як і поза ґрунтом, наприклад схема роботи напівкруглої безшарнірної арки з МГК в ґрунті практично не відрізняється від роботи такої арки поза ґрунтом – максимальні переміщення у бік ґрунту виникають (як і поза ґрунтом [8]) в точках з кутовою координатою 34° від рівня п'ят (рис. 2) [9];



Рисунок 2 — Переміщення склепіння у формі напівкруглої арки з гофрованого металу під ґрунтовою засипкою від вертикального навантаження під час випробувань

— граничну допустиму величину прогину верху арки f_{zp} (кільця, еліпсу) слід визначати залежно від висоти h засипки над спорудою, від граничного допустимого (з умов безпеки руху) місцевого осідання дорожнього покриття над нею S_{zp} і від її горизонтального розміру r [5] (рис. 3);

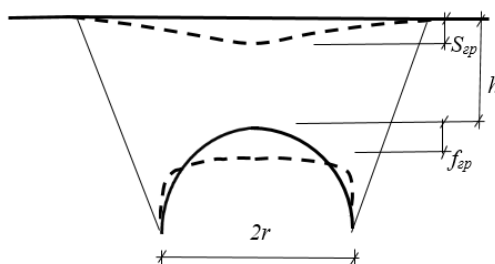


Рисунок 3 — Схема до визначення граничної допустимої величини прогину споруди

— несна здатність гнучкої споруди під насипом визначається як вертикальне рівномірно розподілене навантаження вздовж її проєкції з урахуванням опору ґрунту, пропорційного переміщенням її бічних стінок, за моделлю Фусса-Вінклера і формулою Б. Г. Галеркіна [4], у стані рівноваги системи «споруда – ґрунт» за допустимою величиною прогину [5], тобто за деформаційним критерієм (а не тільки за критерієм міцності);

— при розрахунку аркової споруди з МГК під насипом аналітичним способом вважається, що несна здатність складається з її власної несної здатності (поза ґрунтом), визначеної, наприклад, за критерієм появи напружень текучості металу і несної здатності схеми арки, як «механізму» з повними шарнірами у місцях найбільших напружень і переміщень (що йде «в запас», оскільки

насправді можуть бути пластичні шарніри, а не повні), а геометричну незмінність «механізму» забезпечує опір ґрунту, змодельований додатковими стрижнями і визначається несна здатність як вертикальне рівномірне навантаження на арку у стані рівноваги системи «споруда – ґрунт» при граничному прогині арки.

Споруда аркової форми

Для споруди у формі напівкруглої арки з МГК в рамках цих вихідних положень складова несної здатності від дії опору ґрунту, за аналітичною методикою і уточненою (деформованою) схемою (рис. 4), визначається з умов рівноваги верхньої частини, згідно з [6], за формулою:

$$q_z = \frac{R(a - f_{zp} - \delta_z)}{0,5(l_2 + \delta_x)^2 - (0,5(l_1 - \delta_x)^2 + (l_1 - \delta_x)(l_2 + \delta_x)) \frac{a - f_{zp} - \delta_z}{d + \delta_z}}, \quad (3)$$

де R, f_{zp} — відповідно, рівнодіюча опору ґрунту з параметрами епюри h_1 і h_2 та граничний прогин, які визначають згідно з [5, 6, 7];

a, l_1, l_2, d — геометричні параметри зі схеми на рис. 4, або за формулами [6];

$\delta_x = 0,63 f_{zp}$ — горизонтальні переміщення стінки внаслідок прогину, за даними розрахунків;

$\delta_z = 0,28 \delta_x$

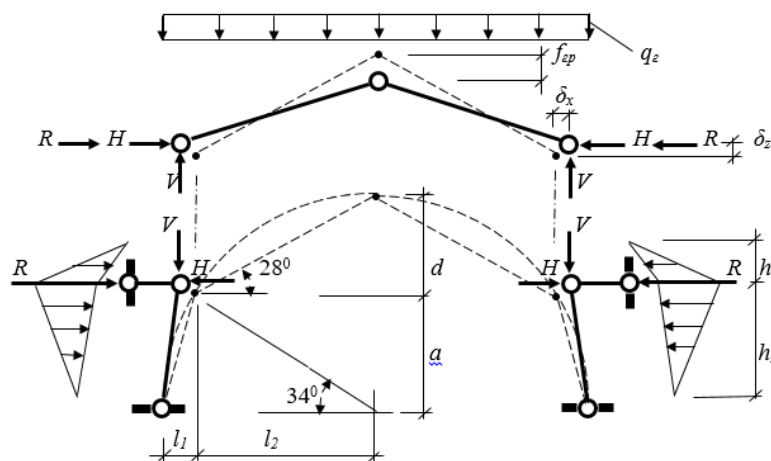
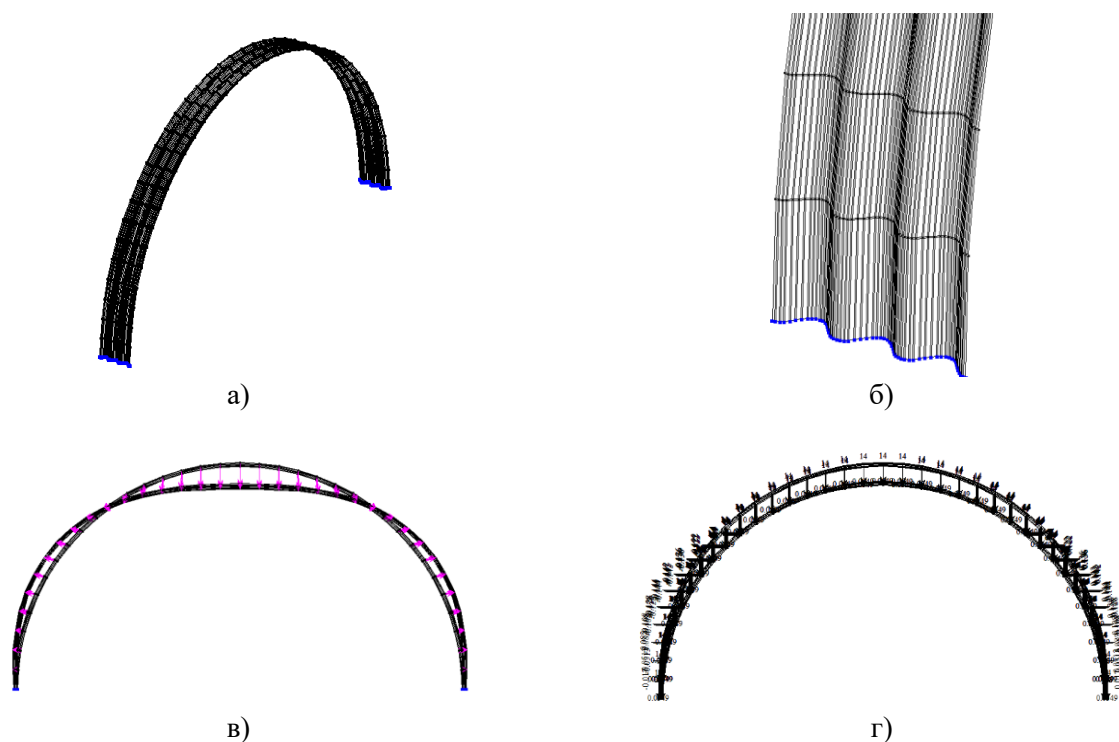


Рисунок 4 — Схема до визначення несної здатності арки від дії опору ґрунту (H і V — згідно з [6])

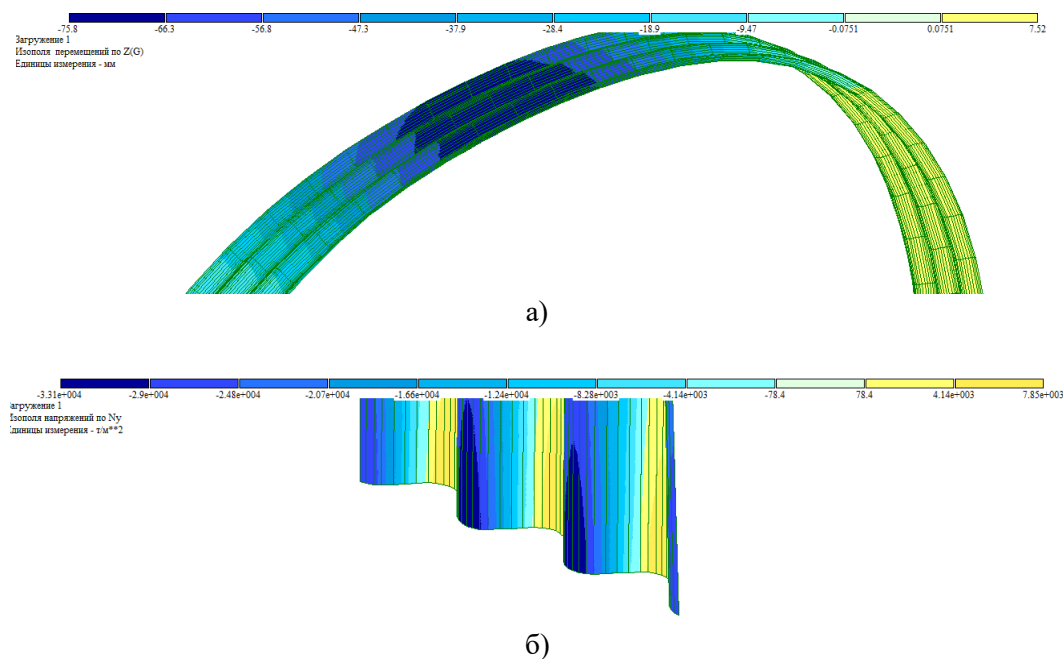
За аналітичною методикою [6], формулою (3) і деформованою розрахунковою схемою на рис. 4, для напівкруглої арки радіусом $r = 7,5$ м з МГК з гофрами $380 \times 140 \times 7$ (відповідно, довжина хвилі, її висота і товщина металу з границею текучості $\sigma_m = 345$ МПа, мм) шириною 1,14 м (елемент з трьох хвиль довжиною 380 мм) при граничному прогині $f_{zp} = 76$ мм [5], модулі деформацій $E = 35$ МПа і коефіцієнті Пуассона $\mu = 0,35$ ґрунту засипки, отриманих згідно з [6] геометричних параметрів $a = 3,300$ м; $l_1 = 1,275$ м; $l_2 = 6,225$ м; $d = 4,200$ м і рівнодіючої опору ґрунту $R = 42,415$ тс [6, 7], сумарна (власна p_0 згідно з [6] і від опору ґрунту q_z) несна здатність (граничне вертикальне навантаження) складає: $p_0 + q_z = 2,25 + 11,73 = 13,98$ тс/м = 139,8 кН/м.

За скінчено-елементним розрахунком (за МСЕ) тієї ж самої аркової споруди з гофрованою (не плоскою, еквівалентною за жорсткістю) стінкою з тими ж вихідними даними за методикою [7] встановлено звичайним підбором, що пружна стадія роботи металу арки закінчується з появою у опорних перерізах арки напружень (331,0 МПа), близьких до границі текучості, $\sigma_m = 345,0$ МПа, і величини прогину, $f = 75,8$ мм, близького до граничного ($f_{zp} = 76$ мм) при вертикальному рівномірному розподіленому навантаженні $14,0$ тс/м = 140,0 кН/м (рис. 5 і рис. 6), майже такому ж, як і при аналітичному розрахунку (139,8 кН/м), що відповідає висоті засипки 5 – 6 м.



- а) — розрахункова схема арки з МКЕ;
 б) — збільшене зображення опорного перерізу арки (фрагмент);
 в) — вектори переміщень арки від дії вертикального рівномірно розподіленого навантаження;
 г) — навантаження на арку (вертикальне і горизонтальне від опору ґрунту її переміщенням).

Рисунок 5 — Схеми до скінчено-елементного розрахунку арки з МКЕ



- а) — прогин верхньої частини арки з максимальним значенням 75,8 мм (найтемніші зони гофрів);
 б) — розподіл напружень в опорному перерізі (максимальне значення 331,0 МПа).

Рисунок 6 — Результати скінчено-елементного розрахунку арки з МКЕ

Результати розрахунку близькі до даних [10], згідно з якими майже така ж аркова споруда (гофри $380 \times 140 \times 9$ мм, сталь з $\sigma_m = 235,0$ МПа) придатна для засипки висотою 4 – 5 м.

Споруда круглої форми

Скінчено-елементним розрахунком споруди круглої форми (шириною 1 м, змодельованої плоскими елементами еквівалентної жорсткості) — труби радіусом 2 м з МГК з гофрами $150 \times 50 \times 5$ зі сталі з границею текучості 345 МПа за наведеними вище вихідними положеннями і методикою [7] під дорожнім насипом висотою 9 м з тими ж характеристиками ґрунту, що і для арки, встановлено, що несна здатність труби у системі «споруда ґрунт» (граничне значення вертикального рівномірно розподіленого навантаження) складає $22,6 \text{ тс/м} = 226 \text{ кН/м}$ при прогині $f = 22,8 + 22,8 = 45,6$ мм (значно меншим за допустимий [5]) за критерієм появи в перерізах стінки від дії згинального моменту $M = 1,9 \text{ тсм} = 19,0 \text{ кНм}$ і нормального зусилля $N = 48,0 \text{ тс} = 480,0 \text{ кН}$, напружень (337,9 МПа), наближених до границі текучості (рис. 7 і рис. 8).

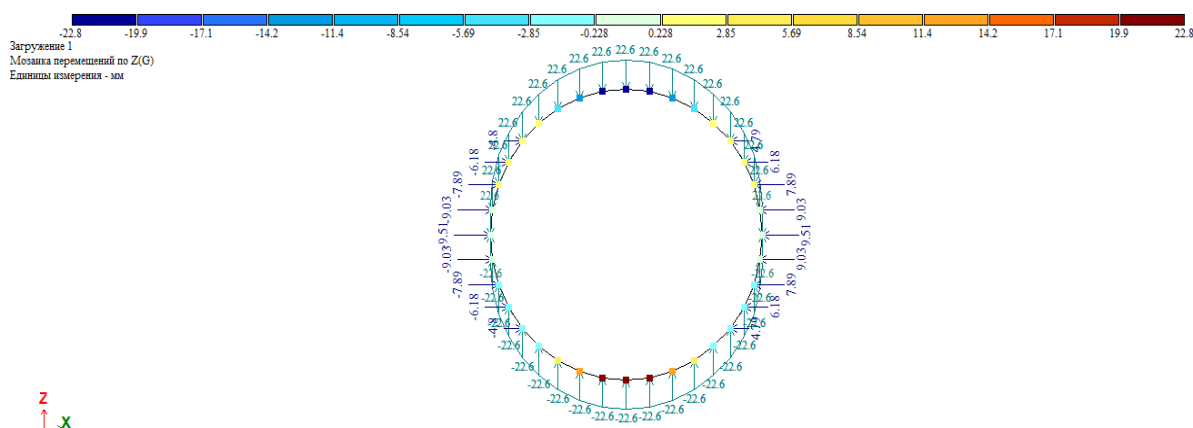


Рисунок 7 — Схема вертикального навантаження і опору ґрунту та дані про переміщення (величина прогину труби, $22,8 + 22,8 = 45,6$ мм)

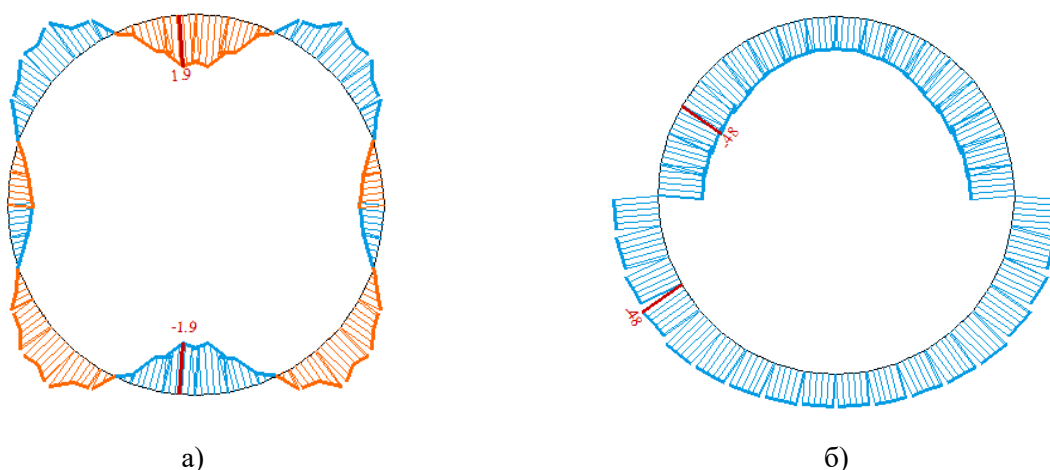


Рисунок 8 — Епюри внутрішніх зусиль в перерізах стінки труби – згинального моменту, максимальне значення $M = 1,9 \text{ тсм} = 19,0 \text{ кНм}$ (а) і нормального зусилля, максимальне значення $N = 48,0 \text{ тс} = 480,0 \text{ кН}$, (б), при дії вертикального рівномірного навантаження і опору ґрунту

Збірник наукових праць «ДОРОГИ І МОСТИ» www.dorogimosti.org.ua
ISSN 2524-0994 (Print), ISSN 2786-488X (Online). Dorogi i mosti, 2025. Issue 31

Рисунок 10 — Епюри внутрішніх зусиль в перерізах стінок еліпса — згинального моменту, максимальне значення $M = 3,46$ тсм (а) і нормального зусилля, максимальне значення $N = 30,2$ тсм (б), при дії вертикального рівномірного навантаження і опору ґрунту

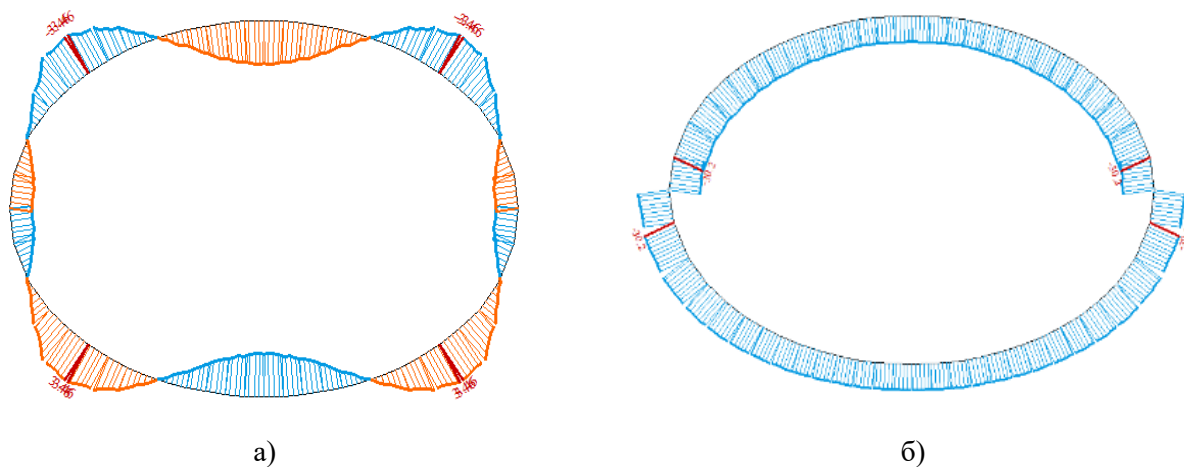


Рисунок 10 — Епюри внутрішніх зусиль в перерізах стінок еліпса – згинального нту, максимальне значення $M=3,46$ тсм (а) і нормального зусилля, максимальне значення 0,2 тсм (б), при дії вертикального рівномірного навантаження і опору ґрунту

За отриманим розрахунком максимальними значеннями внутрішніх зусиль у перерізах еліпса шириною 1 м (згинальний момент $M_y = 3,46$ тсм, поздовжнє, нормальне зусилля $N = 30,2$ тс) встановлено, що сумарні напруження складають $1382,0 \text{ кгс/см}^2 = 138,2 \text{ МПа}$, що значно менше за розрахунковий опір металу еліпса ($390,0 \text{ МПа}$). Це означає те, що граничний прогин еліпса f_{ep} і, відповідно, дорожнього покриття (за умов безпеки руху транспортних засобів), настає значно раніше за вичерпання несної здатності саме еліпса і те, що важливо використовувати деформаційний критерій розрахунку системи «споруда – ґрунт».

Дані розрахунку цієї споруди близькі до даних реальної споруди з такими ж параметрами — шляхопроводу у формі еліпса під насипом висотою 2 м над спорудою, який побудовано на км 228 + 160 автомобільної дороги Київ – Харків – Довжанський [11].

Висновки

Результати роботи показують, що є підстави для удосконалення методики розрахунку дорожніх споруд різних форм перетину з МГК з використанням загальноприйнятих закономірностей будівельної механіки та механіки ґрунтів і підземних споруд, і простих та зрозумілих розрахункових схем, і є також підстави оцінювати несну здатність гнучкого склепіння за деформаційним критерієм.

Викладені дані доповнюють уявлення про роботу дорожніх споруд розглянутих форм з гофрованого металу в умовах, подібних їхній роботі під ґрунтовим насипом і можуть бути корисними під час розроблення пропозицій для удосконалення методики розрахунку.

Доцільним вважається розроблення пропозицій щодо доповнення та вдосконалення методики розрахунку дорожніх споруд різних типів з використанням МГК, з урахуванням такого:

— втрата міцності гнучкої споруди під насипом або її понаднормативний прогин внаслідок активного вертикального тиску ґрунту проявляється шляхом або повного обрушення засипки разом з дорожнім покриттям всередину отвору споруди, або шляхом їхнього значного осідання, тому важливо оцінювати несну здатність споруд такого типу в допустимому деформованому стані (при якому реалізується пасивний пружний опір ґрунту, який посилює споруду, але не виникає небезпечного осідання дорожнього покриття), тобто за деформаційним критерієм (а не тільки за критерієм міцності);

— прості аналітичні залежності (спрощені формули) для практичних розрахунків дорожніх споруд різних типів із використанням МГК можуть бути сформовані на основі досліджень, що передбачають аналіз результатів великої кількості розрахунків конструкцій різних форм, розмірів і характеристик ґрунтів із застосуванням числових методів, зокрема МСЕ та інших методів у відповідних програмних комплексах.

Список літератури

1. Handbook of Steel Drainage and Highway Construction Products. American Iron and Steel Institute. Canadian Edition. Corrugated Steel Pipe Institute, 2007. 470 p.
2. Petterson L., Sundquist H. Design of Soil-Steel Composite Bridge. Stockholm: KTN Royal Institute of Technology, 2007. 98 p.
3. ВБН В.2.3-218-198:2007 Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд з металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2007. 49 с. (Інформація та документація).
4. Колоколов Н. М., Янковський О. Я., Щербіна К. Б., Черняхівська С. Е. Металеві гофровані труби під насипами. Транспорт. 1973. 117 с.
5. Абрамов В. М. Граничні деформації дорожніх споруд з гофрованого металу. *Вісник НУВГП. Технічні науки*: зб. наук. праць. Рівне: НУВГП. 2023. Вип. 1(101). С. 143–149. DOI: <https://doi.org/10.31713/vt12202312>.
6. Абрамов В. М. Розрахунок несної здатності аркової дорожньої споруди з гофрованого металу аналітичним способом. *Дороги і мости*. Київ, 2024. Вип. 30. С. 345–351. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.345>.

7. Абрамов В. М. Про методику розрахунку аркових мостових споруд з гофрованого металу. *Вісник НУВГП. Технічні науки*: зб. наук. проць. Рівне: НУВГП. 2024. Вип. 1(105). С. 149–158. DOI: <https://doi.org/10.31713/vt12202411>.
8. Клейн Г. К. Посібник з практичних занять з курсу будівельної механіки (статика стрижневих систем). Вища школа. 1980. 348 с.
9. Абрамов В. М. Металеві гофровані склепіння під ґрунтовою засипкою: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.15 / Абрамов Володимир Миколайович; ЛІІЖТ. 1989. 21 с.
10. Hengshui Yitong Pipe Industry Co., Ltd (China). URL: <https://www.corrugatedmetalculvert.com/application-in-highway-construction/> (дата звернення 29.10.2024).
11. Ковальчук В. В., Коваль П. М., Коваль М. П. Методи обстеження та випробування тунельного шляхопроводу з металевих гофрованих конструкцій на км 228 + 160 автомобільної дороги Київ-Харків-Довжанський. *Дороги і мости*. Київ, 2020. Вип. 21 (2020). С. 250–269. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.250>.

References

1. Handbook of Steel Drainage and Highway Construction Products. American Iron and Steel Institute. Canadian Edition. Corrugated Steel Pipe Institute, 2007. 470 p. [in English].
2. Petterson L., Sundquist H. Design of Soil-Steel Composite Bridge. Stockholm: KTN Royal Institute of Technology, 2007. 98 p. [in English].
3. VBN B.2.3-218-198:2007. Sporudy transportu. Proektuvannya ta budivnyctvo sporud z metalevykh hofrovanykh konstrukcy na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannya (Transport facilities. Design and construction of structures from metal corrugated structures on public highways), Kyiv, 2007. 49 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
4. Kolokolov N. M., Yankovskyi O. A., Shcherbyna K. B., Cherniakhivska S.E. Metalevi hofrovani truby pid nasypamy (Metal corrugated pipes under embankments). Transport. 1973. 117 p. [in Ukrainian].
5. Abramov V. M. Hranyichni deformatsiyi dorozhnykh sporud z hofrovanoho metalu (Boundary deformation of road structures made of corrugated metal). *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky*: zб. nauk. prats. Rivne: NUVHP, 2023. Vyp. 1(101). P. 143–149. DOI: <https://doi.org/10.31713/vt12202312> [in Ukrainian].
6. Abramov V. M. Rozrakhunok nesnoyi zdatnosti arkovoyi dorozhnoyi sporudy z hofrovanoho metalu analytychnym sposobom (Calculation of the load capacity of an arched road structure from corrugated metal by analytical method). *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2024. Issue 30. P. 345–351. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.345> [in Ukrainian].
7. Abramov V. M. Pro metodyku rozrakhunku arkovykh mostovykh sporud z hofrovanoho metalu (On the calculation methodology of arch bridge structures from corrugated metal). *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky*: zб. nauk. prats. Rivne: NUVHP, 2024. Vyp. 1(105). P. 149–149. DOI: <https://doi.org/10.31713/vt12202411> [in Ukrainian].
8. Kleyn H. K. Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po kursu stroitelnoy mekhaniki (statika sterzhnevyykh system) (Guide to practical lessons on the construction mechanics course (statics of rod systems). Vysshaya shkola. 1980. 348 p.) [in Ukrainian].
9. Abramov V. M. Metalevi hofrovani sclepinnya pid gruntovoyu zasypkoyu (Corrugated metal structures under a soil embankment): avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk.: 05.23.15 // Abramov Volodymyr Mykolayovych; LIIZT. 1989. 21 p. [in Ukrainian].
10. Hengshui Yitong Pipe Industry Co., Ltd (China). URL: <https://www.corrugatedmetalculvert.com/application-in-highway-construction/> (data zvernennya 29.10.2024) [in English].
11. Kovalchuk V. V., Koval P. M., Koval M. P. Metody obstezhennya ta vyprovovannya tunelnogo shlyakhoprovodu z metalevykh hofrovanykh konstrukcij na km 228 + 160 avtomobilnoyi dorogy Kyiv-Kharkiv-Dovzhanskyj (Methods of examination and testing of the tunnel overpass made of metal corrugated structures on km 228 + 160 of the Kyiv-Kharkiv-Dovzhansky highway). *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2020. Issue 21. P. 250–269. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.250> [in Ukrainian].

Volodymyr Abramov, *Ph.D., Assoc. Prof.*, <https://orcid.org/0000-0002-6911-5178>

Academy of Construction and Architecture, Ivano-Frankivsk (on period mortal law), Ukraine

ANALYTICAL AND FINITE ELEMENT CALCULATIONS OF ROAD STRUCTURES OF DIFFERENT FORMS FROM CORRUGATED METAL ACCORDING TO THE DEFORMATION CRITERION

Abstract

Introduction. Structures made of metal corrugated structures (MCS) — culverts, small and medium-sized bridges, overpasses — are quite common modern objects of transport and hydraulic construction in many countries of the world. At the proper level of design, such road constructions are much more efficient than constructions in terms of their technical and economic indicators of the same class from massive reinforced concrete and metal structures. Therefore, it is important to have more ideas about the operation of these rational and specific objects under the road embankment in the “building – soil” system and the corresponding more correct methodology for their calculation.

Problems. In the part of calculations, the existing regulatory and methodological documentation for the design of road structures with MCS is not sufficiently complete and does not reflect to the required degree the peculiarities of the operation of such structures of various cross-section forms. To a certain extent, this complicates the design and slows down the spread of such structures from MCS in the practice of road construction.

Purpose and task. To show the possibilities of compiling the method of calculation of road structures from MCS according to the deformation criterion, which is most relevant for flexible vaulting under the embankment, using simple and understandable calculation schemes of various cross-section forms and generally accepted laws of construction mechanics and mechanics of soils and underground structures — the main goal and task of this work.

Research methods and results. On the basis of the calculation-theoretical analysis of the operation of road structures made of MCS in the conditions of interaction with the soil of the embankment using analytical methods and the finite element method (FEM), the possibility of developing a methodology for their practical calculation, which more fully reflects the actual operation of the considered structures, is shown.

Conclusions. The results of the work show that there are grounds for supplementing and improving the methodology for calculating road constructions of various forms of intersection with the MCS. The data presented in the article complement the idea of the operation of road structures of this type. The possible initial calculation positions and directions for further work on supplementing and improving the existing method of calculation of the considered road structures with MSC.

Keywords: constructions from MCS, bearing capacity, road embankment, deformation criterion.

УДК 624.014:624.21

Абрамов В. М., канд. техн. наук., доц., <https://orcid.org/0000-0002-6911-5178>*Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Івано-Франківськ (на період воєнного стану), Україна*

ЕКВІВАЛЕНТНЕ ТИМЧАСОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ ДЛЯ АРКОВИХ МОСТОВИХ СПОРУД З ГОФРОВАНОГО МЕТАЛУ

Анотація

Вступ. Розглянуто питання практичної методики розрахунку тимчасового рухомого навантаження від транспортних засобів на аркові мостові споруди зі збільшеним розміром отвору з металевих гофрованих конструкцій (МГК) під дорожнім насипом (малі і середні мости, шляхопроводи). За результатами розрахунково-теоретичних досліджень надано пропозиції стосовно визначення тимчасового рухомого навантаження, розподіленого (через ґрунт насипу) тільки на частині прогону, до еквівалентного (за критерієм максимального згинального моменту у конструкціях арки), розподіленого вздовж всього прогону, для спрощення аналітичних розрахунків таких споруд.

Проблематика. Чинні норми з проєктування дорожніх споруд із МГК містять дані про аналітичні розрахунки споруд із МГК круглої форми з розміром отвору тільки до 6 м [1]. При такому розмірі споруди під насипом висотою більше ніж 1 м, тимчасове навантаження, наприклад за схемою НК-100 або НК-80, розповсюджується на всю довжину прогону і його приймають у розрахунках як для залізобетонних водопропускних труб під дорожнім насипом. При збільшеному прогоні споруди (10 – 20 м і більше) тимчасове навантаження за вказаними схемами може бути розподілене тільки на частині прогону. Тому виникає потреба доповнити чинні норми в частині аналітичних розрахунків, зокрема тимчасового навантаження.

Мета і завдання. Виконати дослідження і розробити пропозиції щодо можливої схеми визначення еквівалентного тимчасового рухомого навантаження для аркових споруд із МГК зі збільшеним прогоном — основна мета і завдання даної роботи.

Методи досліджень і результати. Розрахунково-теоретичний аналіз формування характеру впливу тимчасового навантаження від транспортного засобу на аркову споруду з МГК при різному положенні цього навантаження відносно центру прогону, за результатами якого надано пропозиції щодо можливої схеми визначення еквівалентного навантаження шляхом використання визначених для цього відповідних ліній впливу.

Висновки. Розроблено пропозиції щодо можливої схеми визначення еквівалентного (за критерієм максимального згинального моменту у конструкціях арки) тимчасового рухомого навантаження для аркових споруд із МГК, шляхом приведення фактичної форми навантаження (на частині прогону арки) до розподіленого вздовж всього прогону, для спрощення аналітичних розрахунків таких споруд.

Ключові слова: аркова мостова споруда, гофрований метал, еквівалентне тимчасове навантаження, лінія впливу.

Вступ

Методика аналітичного розрахунку дорожніх споруд із МГК, яка регламентована у чинних нормах з проєктування і будівництва таких об'єктів [1], розповсюджується тільки на споруди з розміром отвору до 6 м. При таких розмірах отвору споруди і висоті дорожнього насипу більше ніж 1 м, тимчасове рухоме навантаження, наприклад за схемою НК-100 або НК-80, з урахуванням їхніх геометричних параметрів і умов розподілення вертикального зовнішнього навантаження у ґрунті [2], приймають розподіленим на всю довжину прогону споруди, як на звичайні водопропускні труби із залізобетонних елементів, розміри отвору яких, як правило, не перевищують 3 м.

Сучасні дорожні споруди з елементів МГК збільшеного розміру гофрів можуть мати розмір отвору до 25 м і більше. При таких (збільшених) розмірах споруди і малої висоти насипу над нею довжина тимчасового навантаження q буде складати тільки певну частину прогону. Наприклад, при висоті насипу 1 м, довжина тимчасового навантаження на споруду від НК-100 і НК-80 буде складати приблизно тільки 5,2 м [3]. Тому під час проектування таких споруд із МГК під дорожнім насипом потрібен додатковий аналіз особливостей впливу на них тимчасового рухомого навантаження стосовно визначення розрахункового (найбільш небезпечного) розміщення цього навантаження відносно центру прогону і врахування співвідношення довжини тимчасового навантаження до довжини прогону споруди.

Для аркових дорожніх споруд з МГК з розміром отвору не більше ніж довжина тимчасового рухомого навантаження, питання визначення розрахункового розміщення цього навантаження з порівняно з впливом тільки часткового завантаження прогону з впливом при завантаженні всього прогону були раніше частково розглянуті у роботі [3].

Основна частина

У даній роботі розглянуто питання особливостей впливу тимчасового рухомого навантаження на аркові споруди зі збільшеним розміром прогону за умов розподілу навантаження лише на певну його частину, а також питання можливості приведення такого навантаження до еквівалентного, розподіленого по всьому прогоні, з метою спрощення аналітичних розрахунків таких споруд (рис. 1).

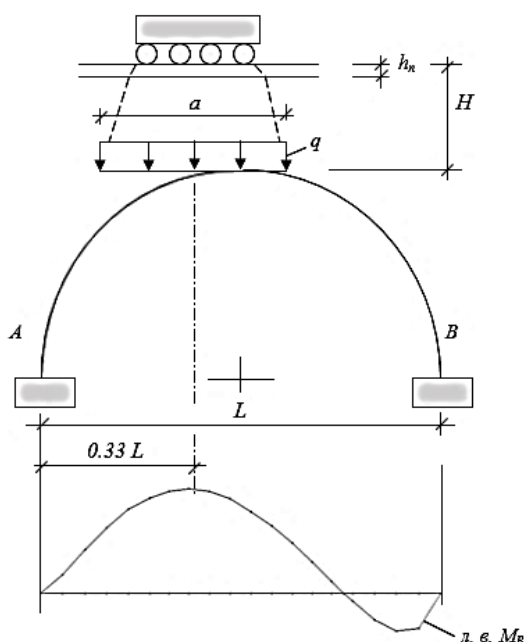


Рисунок 1 — Схема до визначення найбільш небезпечного розташування тимчасового рухомого навантаження по лінії впливу максимального згинального моменту M_B (в опорному перерізі) для напівкруглої арки з жорстким обпиранням п'ят (значення ординат не показано)

Розрахунково-теоретичним аналізом з використанням ліній впливу згинального моменту (максимального, в опорному перерізі) встановлено, що для напівкруглої арки зі збільшеним розміром прогону (коли довжина рухомого тимчасового навантаження a складає тільки частину прогону L) і з жорстким обпиранням п'ят, найбільш небезпечним є розміщення центру цього навантаження приблизно на відстані $0,33 L$ від краю прогону, над верхівкою лінії впливу.

Розрахунками встановлено, що форма лінії впливу максимального згинального моменту в опорному перерізі напівкруглої арки із жорстким обпиранням п'ят, яку побудовано звичайним

способом будівельної механіки з використанням метода скінчених елементів (МСЕ) і програмного комплексу Lira САПР і яку показано на **рис. 1**, не залежить від розмірів арки і її жорсткості. Тобто, загальна форма і розміщення максимального значення розглянутої лінії впливу (її верхівки) відносно прогону для таких арок різного радіуса і перерізу буде однаковим.

Можливо отримати величину еквівалентного тимчасового навантаження q_{eq} за критерієм максимального згинального моменту, тобто як таке рівномірно розподілене навантаження, при якому згинальний момент в опорному перерізі (для розглянутої напівкруглої арки при такому навантаженні саме в опорному перерізі згинальний момент має максимальне значення, згідно з [4] буде дорівнювати згинальному моменту у тому ж перерізі від дії фактичного тимчасового навантаження q (**рис. 1**), при його довжині a тільки на частині прогону (над верхівкою лінії впливу), але яке буде розподілене вздовж всього прогону арки (**рис. 2**).

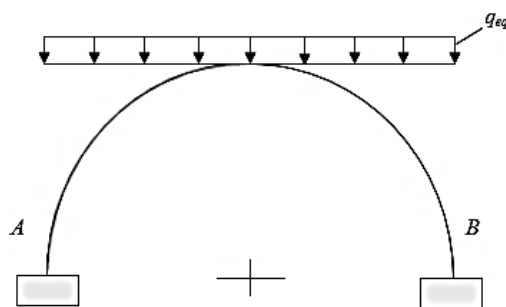


Рисунок 2 — Схема еквівалентного тимчасового рухомого навантаження для напівкруглої арки

Використовуючи лінію впливу M_B максимальну величину цього моменту при найбільш небезпечному розміщенні тимчасового навантаження q (над верхівкою лінії впливу) визначають за формулою:

$$M_B = \omega q, \quad (1)$$

де ω — площа лінії впливу у межах фактичної довжини a (**рис. 1**) тимчасового рухомого навантаження q .

Величину еквівалентного тимчасового навантаження q_{eq} використовуючи лінію впливу M_B визначають за допомогою залежності (1) за формулою:

$$q_{eq} = \frac{M_B}{\omega_0}, \quad (2)$$

де ω_0 — площа всієї лінії впливу M_B з урахуванням позначок її складових (вище за горизонтальну лінію +, нижче цієї лінії –).

Можливо також визначення величини q_{eq} на підставі отриманого за формулою (1) максимального значення M_B і теоретичного рішення статично невизначених арок, наведеного в [3], за формулою:

$$q_{eq} = \frac{M_B}{0,108r^2}. \quad (3)$$

Приклад. Припустимо, потрібно визначити величину еквівалентного рухомого навантаження від дії НК-100 для мостової споруди у формі напівкруглої арки з прогоном $L = 15$ м ($r = 7,5$ м) з МГК з розмірами гофрів $380 \times 140 \times 7$ (відповідно, довжина хвилі, її висота і товщина, мм, метал з границею текучості $\sigma_T = 345$ МПа) під дорожнім насипом висотою $H = 5$ м (над спорудою) з ґрунту з питомою вагою $1,8$ кН/м³.

Характеристичну (нормативну) величину фактичного тимчасового навантаження q від дії НК-100 при відстані між верхом арки та верхом дорожнього покриття $H = 5$ м, товщина покриття $h_n = 0,15$ м і параметра $h_l = 1,64 - 0,72 h_n = 1,53$ м отримаємо згідно з методикою, яку наведено в [3] (при $H > h_l$) за формулою:

$$q = \frac{100}{ab}, \quad (3)$$

де a і b — параметри навантаження q на рівні верху арки, які визначають за формулами [3]:

$$a = 3,8 + 2h_n + 1,16(H - h_n); \quad (4)$$

$$b = 3,5 + 2h_n + 1,16(H - h_n). \quad (5)$$

Використовуючи відповідні числові значення, за формулами (3), (4) і (5) отримаємо: $a = 8,76$ м; $b = 7,86$ м; $q = 1,45$ т/м² (14,5 кН/м²).

На **рис. 3** показано лінію впливу згинального моменту M_B (праворуч від осі арки).

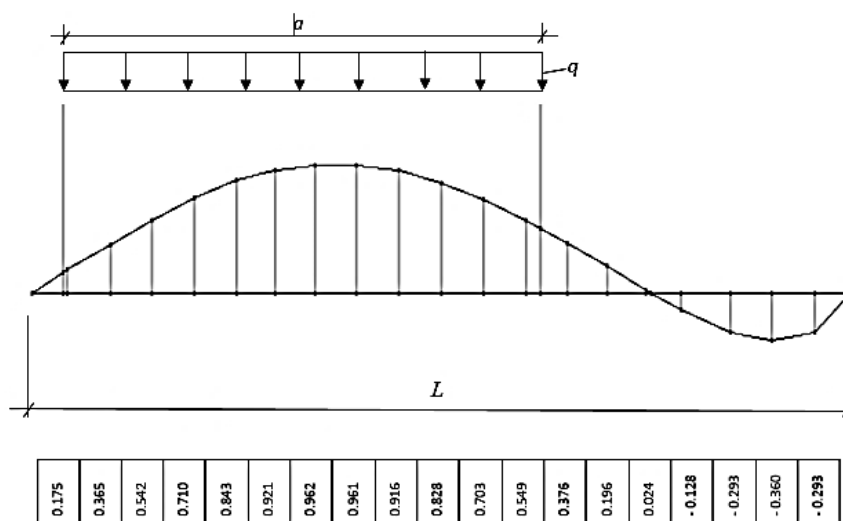


Рисунок 3 — Лінія впливу опорного згинального моменту M_B (з ординатами)

За допомогою лінії впливу, для максимального зусилля в конструкціях арки (згинального моменту M в опорному перерізі B , праворуч від осі арки), яка побудована для визначення величини еквівалентного тимчасового рухомого навантаження q_{eq} при найбільш небезпечному розміщенні фактичного навантаження q в прогоні L арки, встановлено, що найбільш небезпечним є розміщення центру фактичного тимчасового навантаження q з довжиною a над верхівкою лінії впливу, яка знаходиться на відстані $0,33 L = 0,33 \cdot 15 = 4,95$ м від лівого краю лінії впливу M_B (**рис. 3**).

Величина максимального згинального моменту M_B в опорному перерізі арки при розміщенні фактичного тимчасового рухомого навантаження q у межах довжини a (у частині прогону, над верхівкою лінії впливу) визначається з використанням побудованої лінії впливу (**рис. 3**) за формулою (1). При площі ω лінії впливу у межах довжини a фактичного тимчасового рухомого навантаження q , яку визначено як суму площ окремих частин з вказаними ординатами, і яка складає $\omega = 6,352$ м², ця величина дорівнює: $M_B = 6,352 \cdot 1,45 = 9,21$ тм (92,1 кНм).

Еквівалентне тимчасове рухоме навантаження q_{eq} (розподілене на всьому прольоті і при якому максимальний згинальний опорний момент M_B такий самий, як і при фактичному навантаженні q , розміщеному тільки в межах параметра a , визначаємо за формулою (2). При величині площі всієї лінії

впливу M_B , з урахуванням алгебраїчної суми її складових (вище за горизонтальну лінію +, нижче цієї лінії –), визначеної так само, як і ω , яка дорівнює $\omega_0 = 6,024 \text{ м}^2$, еквівалентне тимчасове рухоме навантаження складає $q_{eq} = 9,21 / 6,024 = 1,589 \text{ т/м}^2$ ($15,89 \text{ кН/м}^2$).

Для порівняння, величини q_{eq} і M_B визначені також і іншими способами — за формулою (3) і за МСЕ. Результати розрахунків наведено у **табл. 1**.

Таблиця 1

**Результати розрахунку різними способами згинального моменту M_B
і еквівалентного навантаження q_{eq}**

Спосіб розрахунку					
За лінією впливу		За формулою (3) [4]		За МСЕ	
M_B , кНм	q_{eq} , кН/м ²	M_B , кНм	q_{eq} , кН/м ²	M_B , кНм	q_{eq} , кН/м ²
92,10	15,89	–	15,16	92,30	15,44

При визначеному еквівалентному навантаженні q_{eq} і постійному навантаженні p від маси ґрунту засипки висотою 5 м, $p = 1,8 \cdot 5 = 9,0 \text{ т/м}^2$ ($90,0 \text{ кН/м}^2$), повне навантаження на споруду складає $10,589 \text{ т/м}^2$ ($105,89 \text{ кН/м}^2$), що збігається з даними про придатність подібній споруди з близькими параметрами ($380 \times 140 \times 9$, $\sigma_T = 235 \text{ МПа}$) для насипу 4 – 5 м над нею [5].

Висновки

Показано один з можливих способів визначення найбільш небезпечного розміщення тимчасового рухомого навантаження для аркових мостових споруд із МГК шляхом аналізу розміщення цього навантаження відносно прогону арки з використанням лінії впливу максимального згинального моменту в конструкціях споруди.

Наведено схему визначення еквівалентного тимчасового навантаження для розглянутих споруд із МГК за критерієм максимального згинального моменту з використанням лінії впливу цього зусилля у опорному перерізі арки.

Аналогічні підходи до визначення особливостей впливу й еквівалентної величини тимчасового рухомого навантаження для спрощення аналітичних розрахунків можливі і для споруд інших форм отвору (круглих, овальних, еліптичних тощо).

Список літератури

1. ВБН В.2.3-218-198:2007. Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд з металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. Відомчі будівельні норми України. Київ: Укравтодор. ДерждорНДІ. 2007. 49 с. (Інформація та документація).
2. ДБН В.2.3-14:2006. Мости та труби. Норми проектування. Київ, 2006, 218 с. (Інформація та документація).
3. Абрамов В. М. Про тимчасове навантаження на аркові споруди з гофрованого металу під дорожнім насипом. *Дороги і мости*. Київ, 2024. Вип. 30. С. 338–344. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.338>.
4. Клейн Г. К. Посібник з практичних занять з курсу будівельної механіки (статика стрижневих систем). Вища школа. 1980. 348 с.
5. Hengshui Yitong Pipe Industry Co., Ltd (China). URL: <https://www.corrugatedmetalculvert.com/application-in-highway-construction/> (дата звернення 29.10.2024).

References

1. VBN B.2.3-218-198:2007. Sporudy transportu. Proektuvannya ta budivnytvo sporud z metalevykh hofrovanykh konstrukcy na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannya (Transport facilities. Design and construction of structures from metal corrugated structures on public highways), Kyiv, 2007. 49 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

2. DBN B.2.3-14: 2006. Mosty ta truby. Normy proektuvannya (Bridges and pipes. Design standards) Kyiv, 2006. 218 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
 3. Kleyn H. K. Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po kursu stroitelnoy mekhaniki (statika sterzhnevnykh system) (Guide to practical lessons on the construction mechanics course (statics of rod systems). Vysshaya shkola. 1980. 348 p. [in Ukrainian].
 4. Abramov V. M. Pro tymchasove navantazhennya na arkovi sporudy z hofrovanoho metalu pid dorozhnim nasypom (About the temporary load on arched structures made of corrugated metal under a road embankment). *Dorozhy i mosty*. Kyiv, 2024. Issue 30. P. 338–344. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.338> [in Ukrainian].
 5. Hengshui Yitong Pipe Industry Co., Ltd (China). URL: <https://www.corrugatedmetalculvert.com/application-in-highway-construction/> (data zvernennya 29.10.2024) [in English].
-

Volodymyr Abramov, Ph.D., Assoc. Prof., <https://orcid.org/0000-0002-6911-5178>

Donbas National Academy of Construction and Architecture, Ivano-Frankivsk (on period mortiallaw), Ukraine

EQUIVALENT TEMPORARY LOAD FOR ARCH BRIDGE STRUCTURES MADE OF CORRUGATED METAL

Abstrakt

Introduction. The question of the practical method of calculating the temporary moving load from vehicles on arched bridge structures with an increased size of the opening made of metal corrugated structures (MCS) under the road embankment (small and medium bridges, overpasses) is considered. Based on the results of calculation and theoretical studies, proposals were made regarding the determination of the temporary moving load, distributed (through the soil of the embankment) only on part of the span, to the equivalent (according to the criterion of the maximum bending moment in arch structures), distributed along the entire span, to simplify the analytical calculations of such structures.

Problems. The current regulatory document on the design of road constructions from MCS contains data on analytical calculations of such round constructions with an opening size of only up to 6 m [1]. With this size of the structure under the embankment above it with a height of more than 1 m, the temporary load, for example according to the NK-100 or NK-80 scheme, is spread over the entire length of the span, as is accepted in the calculations of ordinary culverts under the road embankment.

With an increased span of the structure (10-20 m or more), the temporary load according to the specified schemes can be distributed only on part of the span. Therefore, there is a need to supplement the current normative document in terms of analytical calculations, in particular, temporary load.

Purpose and task. To carry out research and develop proposals for a possible scheme for determining the equivalent temporary moving load for arched structures from MCS with an increased span is the main goal and task of this work.

Research methods and results. Calculation-theoretical analysis of the formation and nature of the effect of a temporary load from a vehicle on an arched structure made of MCS at different positions of this load relative to the center of the span, based on the results of which proposals were made for a possible scheme for determining the equivalent load by using the corresponding influence lines determined for this purpose.

Conclusions. Proposals have been developed for a possible scheme for determining the equivalent (according to the criterion of maximum bending moment in arched structures) temporary moving load for arched structures made of metallic corrugated structures by reducing the actual shape of the load (on part of the arched span) to one distributed over the entire span in order to simplify the analytical calculations of such structures.

Keywords: arch bridge structure, corrugated metal, equivalent temporary load, influence line.

УДК 624.21/.8

Остапчук В. Ю., <https://orcid.org/0000-0002-3903-6591>

Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури (ДП «НІРІ»),
м. Київ, Україна

ДОСВІД ТА ПРОБЛЕМАТИКА ОБСТЕЖЕННЯ ІСТОРИЧНИХ МОСТІВ

Анотація

Вступ. Ця стаття розкриває необхідність ремонтування та належного експлуатаційного утримання старих архітектурно привабливих мостів віком 90-110 років. У даній статті описано досвід обстеження трьох таких споруд з метою наголошення на проблемі збереження історичних мостів, які у більшості випадків, не відповідають сучасним вимогам до вантажопідйомності. Описано особливості та життєвий шлях кожного моста, зміни, яких зазнали споруди в процесі експлуатації. Виявлено характерні проблеми притаманні кожній споруді. Надано рекомендації щодо збереження, ремонтування та підкреслювання архітектурного образу мостів для привернення до них уваги населення як до пам'яток історії, архітектури та техніки.

Проблематика. Наявність в Україні історичних мостів у поганому стані, відсутність поважного ставлення до таких споруд, які мають стати пам'ятками історії та архітектури.

Мета. Наголосити на актуальності теми збереження старих історичних мостів. Висвітлити досвід з обстеження таких споруд та надати рекомендації щодо їх ремонтування.

Матеріали та методи. Для висвітлення проблеми збереження старих історичних мостів проведено аналіз досвіду та результатів обстеження таких споруд, у яких автор брав участь особисто. Аналіз світового досвіду збереження історичних мостів і перетворення їх в туристичні об'єкти.

Результати. Визначено шляхи збереження історичних мостів відповідно до світового досвіду.

Висновки. Підкреслено необхідність збереження та належного експлуатаційного утримання історичних мостів як пам'яток історії, архітектури та техніки. Висвітлено особистий досвід обстеження трьох історичних архітектурно привабливих мостів, надано рекомендації щодо їх ремонтування.

Ключові слова: арка, архітектурна виразність, відновлення, габарит, капітальний ремонт, міст, обстеження, ферма.

Виклад матеріалу

За даними з бази АЕСУМ, на сьогодні на автомобільних дорогах України загалом налічується 1 900 мостів віком понад 80 років. Відповідно до вимог ДСТУ 9181 мости віком понад 80 років потребують щорічного обстеження. Значна частина з цих споруд має історичну й архітектурну цінність, тому потребує експлуатаційних заходів, які враховують та не псують зовнішній вигляд мостів.

За період з 2018 року співробітниками відділу досліджень транспортних споруд ДП «НІРІ» було обстежено понад 500 транспортних споруд, серед яких були й мости збудовані 90-110 років тому та мають виразний силует і художньо виконані деталі, які надають спорудам унікальний вигляд. *Багато з них мають історичну та архітектурну цінність.* У зв'язку з тим, що ці мости у більшості випадків не відповідають сучасним вимогам за вантажопідйомністю і габаритом проїзду, постає питання щодо необхідних експлуатаційних заходів. Питання своєчасного обстеження та збереження таких мостів є дуже важливим, адже вони заслуговують на статус пам'яток історії та архітектури та подальшого перетворення на туристичні об'єкти.

Далі описано досвід з обстеження трьох таких мостів, у яких брав участь автор статті.

Міст через р. Саксагань на автомобільній дорозі Т-04-34 неподалік Кривого Рогу збудований у 1910 (рис. 1 і рис. 2). Споруда складається з трьох аркових прогонів та має опори оздоблені рустом, має фігурні кронштейни, проїзна частина замощена гранітною бруківкою, яка місцями пробивається крізь тонкий шар асфальтобетону поверх неї.



Рисунок 1 — Фасад мосту через р. Саксагань



Рисунок 2 — Вид на стару гранітну бруківку, яка відкривається через зруйновані ділянки асфальтобетонного покриття на проїзній частині

За період експлуатування даний міст зазнав багатьох втручань у свій зовнішній вигляд, таких як зменшення отвору споруди шляхом закриття одного з прогонів залізобетонними панелями з обох фасадів; на фасаді ліворуч за ходом кілометражу було прокладено дві громіздкі труби комунікацій, які суттєво псують вигляд споруди; у процесі збільшення габариту проїзду було влаштовано нові тротуари на металевих кронштейнах, які закривають собою оригінальні залізобетонні фігурні кронштейни. Територія навколо мосту заросла деревами у зв'язку з чим він є малопомітним зі сторони.

Особливістю цієї споруди є те, що поряд з нею почали будівництво нового мосту з метою проведення дороги в обхід історичної споруди та міста. На момент виконання обстеження у 2020 році новий міст вже довгий час знаходився у майже готовому стані, проте не був введений в експлуатацію.

За результатами обстеження було визначено фактичну вантажопідйомність мосту, яка не відповідає сучасним вимогам. У зв'язку з цим було надано рекомендації про доцільність добудови нового мосту та повернення історичній споруді первинного вигляду з відновленням декоративного оздоблення елементів, розкриттям старої бруківки на проїзній частині та перенесенням комунікацій на новий міст.

Альтернативним варіантом може бути демонтаж тротуарів на металевих кронштейнах, та переведення моста у виключно автомобільний зі спорудженням окремого пішохідного мосту з забезпеченням гарної оглядовості історичної споруди.

Фермовий міст через р. Дністер у с. Нижнів (рис. 3 – 5). Міст побудовано у 1908-1910 рр. та є прикладом транспортної споруди Австро-Угорської імперії. Складається з 13 прогонів перекритих малими фермами з паралельними поясами та великими полігональними фермами. Металеві ферми пофарбовані в буро-червоний колір, що надає їм непересічного вигляду. Дугоподібна форма полігональних руслових ферм збагачує образ споруди. Опори виконані з великих кам'яних блоків та мають заокруглені торці. Споруда розташована на відкритій місцевості та чудово проглядається з розташованого неподалік пляжу.



Рисунок 3 — Вид на малі ферми з паралельними поясами



Рисунок 4 — Вид на великі полігональні ферми

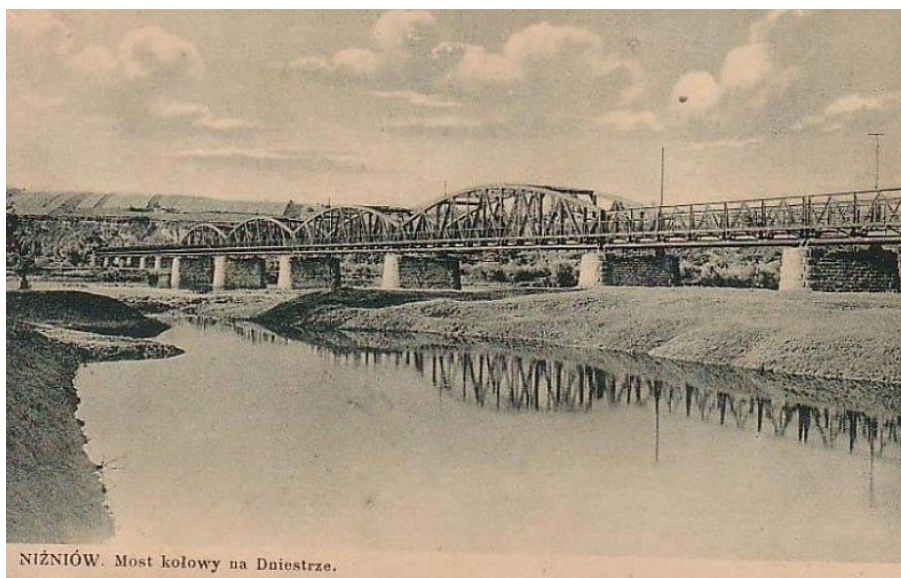


Рисунок 5 — Вид на міст у першій половині XX століття

Значною проблемою даної споруди є недостатній габарит проїзду та неможливість його збільшення у зв'язку з особливостями конструкції ферми з їздою понизу. Внаслідок цього по всій довжині споруди наявні численні викривлення стійок, розкосів та поперечних з'єднань верхніх поясів від ударів транспортних засобів.

Особливо важливою складовою обстеження старих мостів є інструментальна зйомка. У результаті нівелювання прогонових будов виявлено втрату будівельного підйому та незначне провисання двох прогонів викликане втомленістю конструкції та силовими впливами.

Іншою проблемою мосту, яка потребує особливої уваги є значна корозія з ослабленням площі на 50 % поперечних балок, що з'єднують нижні пояси головних ферм. Схожий дефект мав фермовий міст через р. Тересва, який призвів до його аварійного падіння у липні 2023 року.

За результатами обстеження було рекомендовано виконати відновлення погнутих елементів і підсилення прогонових будов з обов'язковим відновленням антикорозійного покриття. Підсилення елементів бажано виконувати таким чином, щоб уникнути суттєвих змін первісного вигляду для збереження архітектурної цінності споруди. Також було рекомендовано обмежити габарит проїзду та організувати реверсний режим руху для унеможливлення ударів транспортних засобів об елементи ферми.

Проте наведені експлуатаційні заходи не вирішують проблему цілком. Фактичні значення вантажопідйомності мосту не відповідають сучасним вимогам. Розрахунки виконували в програмному комплексі Ліра (**рис. 6**). За результатами розрахунку визначено фактичну вантажопідйомність споруди, яка становить 14 тонн в колоні, 31 тонна для окремих транспортних засобів та 4,7 тонн на вісь.

Дана дорога є важливим та практично безальтернативним шляхом для перевезення вантажів. Тому є нагальна необхідність спорудження нового мосту відповідно до сучасних нормативних документів. Старий фермовий міст однозначно потребує збереження та належного догляду, оскільки, безсумнівно, є цінним прикладом транспортної споруди віком понад 100 років та який пережив дві світові війни, хоч і не без руйнувань. За словами місцевих мешканців, у роки Другої світової війни міст було підірвано, що призвело до падіння окремих прогонів. На сьогодні залишки старих металевих конструкцій все ще видніються на поверхні води. Після війни споруду було відновлено у первісному вигляді замість будівництва нового мосту. Справедлива задача сьогодення Σ також зберегти унікальну споруду.

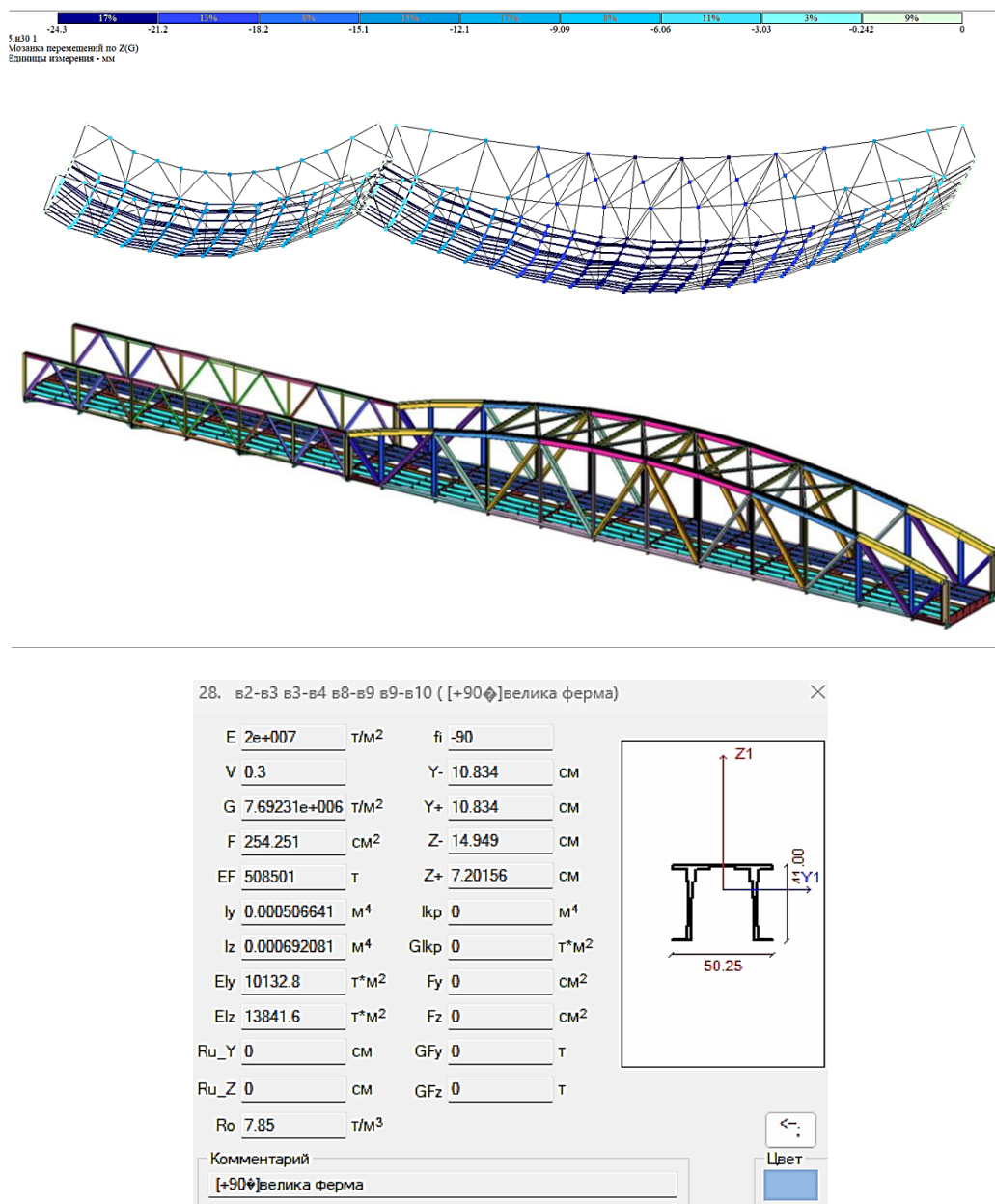


Рисунок 6 — Фрагменти розрахунку конструкцій мосту в ПК Ліра

Подібний досвід з переведенням старого історичного мосту з автомобільного у пішохідний у зв'язку з невідповідністю сучасним вимогам, можемо побачити на прикладі Залізного мосту в Англії. Міст збудований у 1779 році та став першим у світі металевим мостом. У 1934 році по мосту було заборонено рух автомобільного транспорту, а сама споруда стала виключно пішохідною [1]. Рішення про збереження цього мосту як пам'ятки історії та архітектури є ознакою поважного ставлення до такого типу споруд. Те ж стосується і Карлового моста у Празі, автомобільний рух по якому заборонили у 1965 році [2]. На сьогодні Залізний міст і Карлів міст є одними з символів Англії і Чехії відповідно, а також туристичними об'єктами.

Фермовий міст через р. Прут у м. Чернівці (рис. 7) побудований у 1927-1931 рр. за часів румунської влади на даній території. Міст дуже подібний до Нижнівського, виконаний з металевих ферм з паралельними поясами з їздою понизу. Високі бутобетонні телескопічні опори прикрашені декоративними карнизами.



Рисунок 7 — Фасад мосту через р. Прут у м. Чернівці

Проблеми даної споруди аналогічні Нижнівському мосту: недостатній габарит проїзду, що спричиняє удари транспортних засобів об ферми, вигини елементів, недостатня вантажопідйомність. Балки поперечного з'єднання нижніх вузлів ферм також страждають від корозії металу. Висновки та рекомендації аналогічні Нижнівському мосту.

Доля цього мосту також однакова з Нижнівським: він був двічі підірваний обома відступаючими арміями та обидва рази відновлений у майже первозданному вигляді, зазнавши зовсім незначних змін.

Усі три мости об'єднує невідповідність сучасним нормам за вантажопідйомністю та габаритом проїзду. Проте, у зв'язку зі своєю архітектурною та історичною цінністю, вони потребують збереження та належного експлуатаційного утримання. На прикладі мосту через р. Саксагань можна побачити найкращий варіант вирішення проблеми — будівництво нового сучасного мосту неподалік від існуючої старої споруди.

Необхідно проводити кампанію з популяризації історичних мостів як об'єктів атракції та з усвідомлення їх архітектурної цінності.

На сьогодні у світі в експлуатації знаходяться багато мостів віком понад 100 років. Більшість з них не відповідають сучасним вимогам, проте були збережені як культурні об'єкти та як повага до історичної спадщини. Вище вже було згадано приклади Залізного мосту в Англії та Карлового мосту в Чехії. Також варто згадати мости, які були зведені ще за Римської імперії та експлуатуються понад 1 800 років. Унікальний досвід зі збереження старого моста мали Велика Британія та США у 1968 році. Кам'яний арковий Лондонський міст було збудовано у 1831 році. На кінець 1960-х років міст не справлявся зі зростаючим трафіком та почав руйнуватися. У 1968 році міст був придбаний американським бізнесменом Робертом П. МакМаллоком та перевезений до штату Арізона в США [3].

Висновки

Старі мости та шляхопроводи мають історичну, культурну та архітектурну цінність та повинні мати належне експлуатаційне утримання у зв'язку не лише зі своїм віком, а й задля поважного ставлення до них як пам'яток історії. В Україні налічується 1 900 мостів віком понад 80 років, які потребують щорічного обстеження. У статті наголошено на актуальності проблеми збереження старих мостів та описано досвід обстеження окремих споруд, надано рекомендації щодо експлуатаційних заходів задля їх збереження.

Запропоновані експлуатаційні заходи з ремонтування та утримання історичних мостів направлені на відновлення та підкреслювання їх архітектурного образу та збереження їх як пам'яток історії та техніки.

Список літератури

1. Залізний міст (Англія) URL: [https://uk.wikipedia.org/Залізний_міст_\(Англія\)](https://uk.wikipedia.org/Залізний_міст_(Англія)) (дата звернення: 04.02.2025).
2. 7 фактів про Карлів міст у Празі, про які ви могли не знати URL: https://zakordon.24tv.ua/karliv-mist-prazi-7-faktiv-pro-simvol-stolitsi-chehiyi_n2190191 (дата звернення: 04.02.2025).
3. НА ПЕРШОМУ ЛОНДОНСЬКОМУ МОСТУ БУЛИ ПОБУДОВАНІ БУДИНКИ. ДРУГИЙ... ПІШОВ ДО США URL: <https://www.whitemad.pl/uk/на-першому-лондонському-мосту-були-по/> (дата звернення: 04.02.2025).

References

1. The Iron Bridge URL: [https://uk.wikipedia.org/Залізний_міст_\(Англія\)](https://uk.wikipedia.org/Залізний_міст_(Англія)) (Last accessed: 04.02.2025) [in Ukrainian].
2. 7 facts about Charles Bridge in Prague that you might not know. URL: https://zakordon.24tv.ua/karliv-mist-prazi-7-faktiv-pro-simvol-stolitsi-chehiyi_n2190191 (Last accessed: 04.02.2025) [in Ukrainian].
3. THE FIRST LONDON BRIDGE HAD BUILT HOUSES. THE SECOND... WENT TO THE USA. URL: <https://www.whitemad.pl/uk/на-першому-лондонському-мосту-були-по/> (Last accessed: 04.02.2025) [in Ukrainian].

Vitalii Ostapchuk, <https://orcid.org/0000-0002-3903-6591>

State Enterprise "National Institute for Development Infrastructure" (SE "NIDI"), Kyiv, Ukraine

EXPERIENCE AND PROBLEMS OF INSPECTION OF HISTORICAL BRIDGES

Abstract

Introduction. This article reveals the need for repair and proper operational maintenance of an old bridges with attractive architecture, which are 90-110 years old. This article will describe the experience of inspection of three structures in order to highlight the problem of preserving historical bridges, which in most cases do not satisfy modern load-bearing requirements. The features and life path of each bridge are described, as well as the changes that the structures have undergone during operation. The typical problems inherent in each structure are identified. Recommendations are given for the preservation, repair and highlighting of the architectural image of bridges in order to attract the attention of the population to them as monuments of history, architecture and technology.

Problem Statement. The presence of historical bridges in Ukraine in poor condition, the lack of respect for such structures, which should become monuments of history and architecture.

Purpose. To emphasize the relevance of the topic of preserving old historical bridges. To highlight the experience of inspecting such structures and to provide recommendations for their repair.

Materials and methods. To highlight the problem of preserving old historical bridges, an analysis of the author's personal experience and results of the survey of such structures was conducted. Analysis of world experience in preserving historical bridges and transforming them into tourist attractions.

Results. Ways to preserve historic bridges have been identified in accordance with world experience.

Conclusions. The need for preservation and proper operational maintenance of historical bridges as monuments of history, architecture and technology is emphasized. Personal experience of inspecting three historical architecturally attractive bridges is highlighted, and recommendations for repair are provided.

Keywords: inspection, bridge, architectural expression, restoration, major repairs, arch, truss, passage dimensions.

УДК 624.21

Коврига С. В.¹, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-0189-4582>Фітаров В. С.², <https://orcid.org/0000-0003-0478-3893>Завгородній С. С.¹, <https://orcid.org/0000-0003-1928-4544>¹Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна²Харківський національний автомобільно-дорожній університет (ХНАДУ), м. Харків, Україна

ПОРІВНЯЛЬНО-АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБІТ, ПОВ'ЯЗАНИХ З ІНВЕНТАРИЗАЦІЄЮ ТА ПАСПОРТИЗАЦІЄЮ

Анотація

Вступ. Зростання вимог до якості та безпеки експлуатації об'єктів будівництва вимагає чіткого розмежування процесів інвентаризації та паспортизації. Незважаючи на подібність термінології, ці процеси мають різні вимоги до кваліфікації виконавців та специфічні процедури оформлення результатів, що створює труднощі при плануванні та реалізації будівельних проєктів.

Проблематика. Наявність численних нормативних документів із різними підходами до проведення робіт ускладнює трактування термінів, що застосовуються на практиці. Розбіжності у підходах до технічного обстеження спричиняють затримки, збільшення витрат та підвищення операційних ризиків, що вимагає розробки єдиних підходів до інвентаризації та паспортизації об'єктів будівництва, автомобільних доріг, об'єктів нерухомого майна та елементів благоустрою населених пунктів.

Мета. Метою роботи є проведення порівняльного аналізу процесів інвентаризації та паспортизації для виявлення їхніх спільних і відмінних характеристик із подальшим формулюванням рекомендацій щодо удосконалення порядку проведення цих робіт. Узагальнення отриманих даних має сприяти забезпеченню своєчасного оновлення інформації про технічний стан об'єктів і оптимізації процесів контролю за їх експлуатацією.

Матеріали й методи. Аналіз ґрунтується на вивченні нормативно-правового забезпечення, що регламентує проведення технічного обстеження та оформлення результатів робіт у чотирьох основних напрямках: огляд, обстеження та паспортизація об'єктів будівництва; паспортизація автомобільних доріг; технічна інвентаризація об'єктів нерухомого майна; інвентаризація та паспортизація об'єктів благоустрою населених пунктів. Методика полягає у систематизації нормативних актів, аналізі процедур технічного обстеження, вимог до кваліфікації виконавців та оцінці ефективності оформлення документів, що є результатом виконання робіт. Результати представлені у вигляді узагальненої таблиці нормативно-правового забезпечення, що дозволяє чітко визначити вимоги для кожного напрямку.

Результати. Аналіз показав, що попри спільну приналежність об'єктів до будівельного комплексу, методика проведення робіт варіюється залежно від типу об'єкта і поставлених завдань. Для об'єктів будівництва застосовується комплексний підхід, що передбачає лінійні вимірювання, складання креслень, розрахунки та оформлення звітної документації для об'єктивної оцінки технічного стану. Паспортизація автомобільних доріг базується на фіксації первинних та поточних технічних характеристик, що дозволяє своєчасно визначати потреби у ремонті та утриманні. Технічна інвентаризація об'єктів нерухомого майна проводиться до введення об'єкта в експлуатацію з метою підтвердження відповідності проєктній документації, законності оформлення права власності та контролю за техніко-економічними показниками. Інвентаризація та паспортизація об'єктів благоустрою населених пунктів забезпечують систематизацію інформації про стан елементів благоустрою і дозволяють оперативно реагувати на зміну умов експлуатації шляхом своєчасного проведення планових або позапланових перевірок.

Висновки. Отримані результати узагальнюють спільні та специфічні аспекти проведення робіт з інвентаризації та паспортизації, що дозволяє виявити необхідність уніфікації і вдосконалення нормативно-правового регулювання. Рекомендації щодо підвищення кваліфікації виконавців та впровадження сучасних технологій обстеження спрямовані на зниження операційних ризиків і забезпечення об'єктивного контролю за технічним станом об'єктів, що є критично важливим для ефективного управління містобудівною діяльністю та успішної реалізації інвестиційних проєктів.

Ключові слова: будівництво, динамічне випробування, інвентаризація, міст, містобудівна діяльність, нормативно-правове забезпечення, пальово-плитні фундаменти, паспортизація, порівняльний аналіз, технічне обстеження, технічний стан.

Вступ

У зв'язку із зростанням вимог до якості та безпеки експлуатації об'єктів будівництва, важливість чіткого розмежування процесів інвентаризації та паспортизації набуває особливого значення. Незважаючи на схожість термінології, ці два процеси відрізняються як методикою виконання, вимогами до кваліфікації спеціалістів, так і порядком оформлення результатів, що створює значні труднощі при плануванні та реалізації будівельних проєктів. Відсутність системності підходів, розбіжності в нормативно-правовому забезпеченні та різні вимоги до процесу технічного обстеження можуть призводити до затримок, збільшення витрат та підвищення операційних ризиків, що вимагає оперативного реагування з боку як державних органів, так і суб'єктів приватного сектору.

Поточна ситуація в даному питанні потребує розробки єдиних підходів до проведення інвентаризації та паспортизації, що дозволить знизити ризики помилок на ранніх етапах реалізації проєктів та забезпечити своєчасне оновлення даних про технічний стан об'єктів. Сучасна нормативно-правова база, хоч і містить достатню кількість положень, але не завжди забезпечує однозначність трактування термінів, що використовуються на практиці.

У статті проведено порівняльно-аналітичний аналіз робіт, пов'язаних із інвентаризацією та паспортизацією об'єктів будівництва, з метою виявлення їх основних спільних і відмінних ознак, а також розробки рекомендацій щодо удосконалення порядку проведення цих робіт. Аналіз включає вивчення чинного нормативно-правового забезпечення, систематизацію підходів до проведення технічного обстеження об'єктів, оцінку вимог до кваліфікації виконавців та визначення ефективності документального оформлення результатів. Розкриття цих аспектів дозволяє підвищити точність і своєчасність інформації, що використовується при прийнятті управлінських рішень, а також сприяє оптимізації процесів контролю за технічним станом об'єктів, що є критично важливим для успішної реалізації інвестиційних проєктів та управління містобудівною діяльністю.

Основна частина

Одним із визначальних чинників для проведення аналізу є нормативно-правове забезпечення робіт. Було проаналізовано основні чотири напрями: огляд, обстеження та паспортизація об'єктів будівництва; паспортизація автомобільних доріг; технічна інвентаризація об'єктів нерухомого майна; технічна інвентаризація та паспортизація об'єктів благоустрою населених пунктів.

За напрямком «Огляд, обстеження та паспортизація об'єктів будівництва» проведено всебічний аналіз нормативно-правової бази, що регламентує порядок проведення технічного обстеження, визначення вимог до здійснення огляду та оформлення результатів. Розглянуті документи встановлюють загальні принципи організації робіт, визначають процедури проведення вимірювань, аналізу конструктивних елементів та оформлення звітності, що забезпечує об'єктивну оцінку технічного стану об'єктів. Вони спрямовані на своєчасне виявлення недоліків і прийняття заходів щодо їх усунення, що є критично важливим для забезпечення безпеки експлуатації будівель і споруд.

За напрямком «Паспортизація автомобільних доріг» розглянута нормативно-правова база, що регламентує організацію технічного обстеження та порядок оформлення паспорта автомобільної дороги. Ці документи встановлюють загальні принципи проведення робіт, визначають вимоги до оцінки первинних технічних і експлуатаційних характеристик доріг, а також забезпечують

документальне підтвердження їхнього стану. Нормативне регулювання спрямоване на гарантування безпеки експлуатації дорожньої інфраструктури та своєчасне прийняття заходів щодо ремонту або модернізації, що є критично важливим для ефективної організації транспортного забезпечення.

За напрямком «Технічна інвентаризація об'єктів нерухомого майна» узагальнено нормативно-правове забезпечення, що регламентує визначення геометричних характеристик об'єктів та фіксацію змін їхніх параметрів протягом експлуатації. Розглянуті нормативні акти встановлюють загальні принципи, що забезпечують відповідність новозбудованих об'єктів проєктній документації, підтвердження техніко-економічних показників та законності права власності.

За напрямком «Технічна інвентаризація та паспортизація об'єктів благоустрою населених пунктів» узагальнено нормативно-правове забезпечення, яке регламентує проведення технічного обстеження, визначення основних характеристик і документальну фіксацію стану елементів благоустрою. Розглянуті нормативні акти встановлюють принципи як планового, так і позапланового проведення робіт, що дозволяє своєчасно відслідковувати зміни у технічному стані об'єктів благоустрою та забезпечувати їхню належну експлуатаційну готовність. Це сприяє ефективному управлінню містобудівною діяльністю та підтримуванню високого рівня якості благоустрою у населених пунктах.

У **табл. 1**, представлений, наочно відображено нормативно-правове забезпечення зазначених видів робіт. Така систематизація дозволяє учасникам будівництва швидко орієнтуватися у вимогах та стандартах, що є важливим для прийняття обґрунтованих рішень під час планування та реалізації проєктів.

Таблиця 1

Назва нормативно-правового акта
Огляд, обстеження та паспортизація об'єктів будівництва
Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» [1]
Порядок проведення обстеження прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 12.04.2017 № 257 [2]
Методика проведення обстеження та оформлення його результатів, затверджена Наказом Міністерства розвитку громад та територій України 06.08.2022 року № 144 [3]
ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану [4]
ДБН В.1.2-9:2021 Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека і доступність під час експлуатації [5]
ДБН В.1.2-14:2018 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд [6]
ДБН А.3.2-2:2009 Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення [7]
ДБН В.2.3-6:2009 Мости та труби. Обстеження і випробування [8]
ДСТУ 9123:2021 Настанова з обстеження та випробування мостів і труб [9]
ДСТУ 9181:2022 Настанова з оцінювання та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів [10]
Паспортизація автомобільних доріг
Закон України «Про автомобільні дороги» [11]
Єдині правила ремонту і утримання автомобільних доріг, вулиць, залізничних переїздів, правил користування ними та охорони, затверджені постановою Кабінету Міністрів України від 30.03.1994 № 198 [12]
Технічні правила ремонту і утримання вулиць та доріг населених пунктів, затверджені наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 54 від 14.02.2012 [13]
СОУ 42.1-37641918-038:2016 Паспорт автомобільної дороги [14]

Назва нормативно-правового акта
Технічна інвентаризація об'єктів нерухомого майна
Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності»
Порядок проведення технічної інвентаризації, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 12.05.2023 № 488 [15]
Технічна інвентаризація та паспортизація об'єктів благоустрою населених пунктів
Закон України «Про благоустрій населених пунктів» [16]
Інструкція з проведення технічної інвентаризації та паспортизації об'єктів благоустрою населених пунктів, затверджена наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 29.10.2012 № 550 [17]

Існують також інші види інвентаризації та паспортизації, зокрема інвентаризація зелених насаджень у населених пунктах, паспортизація гідротехнічних споруд систем гідравлічного вилучення, а також складування промислових відходів і хвостів тощо. Проте, аналіз зосереджено виключно на чотирьох основних видах робіт.

У результаті порівняльного дослідження встановлено одиниці аналізу та визначено ключові характеристики досліджуваних робіт, що дозволило здійснити інтерпретацію як спільних, так і відмінних властивостей однотипних процесів.

Об'єкти, що підлягають інвентаризації та паспортизації, мають спільну ознаку – вони всі відносяться до об'єктів будівництва. Згідно з частиною 1 статті 4 Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності», до об'єктів будівництва належать будівлі, споруди, їх комплекси, а також лінійні об'єкти інженерно-транспортної інфраструктури. Особливої уваги заслуговують об'єкти благоустрою, які можуть бути як самостійними, так і складовою частиною загального об'єкта будівництва.

Під час проведення технічного обстеження виконується низка заходів: лінійні вимірювання, складання графічних матеріалів (абрис, ескізи, схеми), огляд конструктивних елементів, фотофіксація та проведення розрахунків на основі отриманих даних. Незалежно від виду робіт, етап обстеження залишається спільним, що дозволяє встановити єдину методологічну базу для аналізу характеристик об'єктів. Проте, мета проведення робіт різниться в залежності від конкретного напрямку:

— Огляд та обстеження об'єктів будівництва орієнтовано на оцінку технічного стану для забезпечення їх надійності та безпеки експлуатації.

— Паспортизація автомобільних доріг спрямована на фіксацію первинних технічних та експлуатаційних параметрів, що забезпечує контроль за змінами після проведення ремонтних робіт.

— Технічна інвентаризація об'єктів нерухомого майна має за мету визначення геометричних характеристик об'єктів або відстеження їхніх змін протягом експлуатації, що є важливим при передачі об'єкта в експлуатацію або під час проведення повторної інвентаризації.

— Інвентаризація та паспортизація об'єктів благоустрою проводиться для підтвердження наявності об'єкта, оцінки технічного стану його елементів, а також для подальшого ведення технічного обліку.

Таким чином, попри спільність об'єктів дослідження, кожен із видів робіт має свої специфічні цілі та підходи, що обумовлюють різницю у методиці проведення та вимогах до оформлення результатів.

У першу чергу, це мета виконання. Основною метою технічного обстеження об'єктів будівництва є оцінка технічного стану будівлі чи споруди для забезпечення надійності та безпеки під час їх експлуатації.

Основною метою паспортизації автомобільних доріг є фіксація первісних технічних і експлуатаційних параметрів побудованої або реконструйованої вулиці (дороги) та відображення змін після проведення ремонтних робіт. Крім цього, проводиться оцінка стану вулиць та доріг.

Мета проведення технічної інвентаризації об'єктів нерухомого майна — визначення їх геометричних характеристик або змін геометричних характеристик за певний проміжок часу. Оцінка технічного стану будівлі проводиться тільки у випадку «будівельної амністії».

Технічна інвентаризація об'єктів благоустрою проводиться з метою підтвердження наявності об'єкта благоустрою його елементів та їх технічного стану.

У контексті забезпечення всебічного технічного обстеження об'єктів будівництва особливу увагу слід приділяти мостам, оскільки їх експлуатаційний стан є критичним для безпеки транспортної інфраструктури. Динамічні випробування мосту, зокрема методи модального контролю за допомогою імпульсного навантаження, дозволяють отримати точні дані про власні частоти, режими коливань та жорсткість конструкції. Ці дані є надзвичайно важливими для виявлення прихованих дефектів та визначення фактичного технічного стану мостових споруд, що сприяє своєчасному плануванню ремонтних заходів та модернізації.

Інтеграція результатів динамічних випробувань до загальної системи інвентаризації та паспортизації забезпечує комплексну оцінку стану мостів, дозволяючи формувати об'єктивну картину їх експлуатаційної готовності. Накопичення даних про динамічні характеристики мостових конструкцій сприяє розробці рекомендацій щодо оптимізації методик обстеження та удосконалення процесів контролю за технічним станом об'єктів, що є важливим для ефективного управління містобудівною діяльністю та забезпечення безпеки експлуатації мостового господарства.

При цьому, під час технічного обстеження мостів та їх технічної інвентаризації як об'єкта нерухомого майна, необхідно враховувати наявність непоширених у будівництві конструктивних елементів. Як приклад, можна звернути увагу на застосування такого перспективного виду фундаментів, як комбінований пальново-плитний фундамент. За візуальним оглядом встановити вид фундаменту складно. У таких випадках важливо мати проєктну та виконавчу документацію для будівництва.

Наступним можна виділити вимоги до виконавців. Питання кваліфікації виконавців робіт є надзвичайно важливим, оскільки від професійної компетентності спеціалістів залежить якість проведення інвентаризації та паспортизації. Вимоги до виконавців робіт з технічного обстеження об'єктів будівництва та технічної інвентаризації об'єктів нерухомого майна регламентовані більш детально. Виконавцями можуть бути як юридичні особи, так і фізичні особи – підприємці, що мають у своєму складі фахівців, які пройшли професійну атестацію та які отримали кваліфікаційний сертифікат. Це гарантує, що роботи виконуються за сучасними стандартами та методиками, що, в свою чергу, сприяє безпеці експлуатації об'єктів.

Щодо вимог до виконавців паспортизації автомобільних доріг зазначено лише те, що її виконують науково-дослідні та інші спеціалізовані організації.

Виконавцем технічної інвентаризації та паспортизації об'єктів благоустрою населених пунктів може бути суб'єкт господарювання, установчими документами якого передбачено право здійснювати технічну інвентаризацію та паспортизацію об'єктів благоустрою.

Порядок проведення кожного виду робіт визначається як законодавчими актами, так і внутрішніми методичними рекомендаціями. Загальний підхід до проведення робіт базується на етапності процесу, що зазвичай включає:

- обстеження об'єкта;
- проведення розрахунків та оформлення креслень;
- оформлення результатів;
- регулярність та повторне проведення робіт.

На етапі обстеження об'єкта проводяться всі необхідні лінійні вимірювання, створення графічних матеріалів, огляд конструктивних елементів та фотофіксація стану об'єкта. Незалежно від того, чи це будівля, автомобільна дорога або елемент благоустрою, об'єктивна фіксація параметрів є базовою умовою для подальших розрахунків та аналізу.

Після проведення первинного обстеження здійснюються відповідні розрахунки, що дозволяють визначити технічні характеристики об'єкта. Для кожного виду робіт визначені окремі методики проведення розрахунків, які враховують специфіку конструкції, матеріалів та експлуатаційних навантажень.

Результатом виконання робіт є оформлення документів, які мають різну назву та зміст залежно від виду робіт. Наприклад, при обстеженні об'єктів будівництва формується звіт та паспорт об'єкта, а при паспортизації автомобільних доріг — паспорт, який періодично доповнюється даними про проведені ремонтні роботи. Технічна інвентаризація об'єктів нерухомого майна оформлюється у вигляді інвентаризаційної справи та технічного паспорта, що відповідає вимогам законодавства.

Для деяких видів робіт, зокрема для технічної інвентаризації об'єктів нерухомого майна, встановлено періодичний порядок проведення робіт. Повторна інвентаризація дає можливість зафіксувати зміни характеристик об'єкта за певний період експлуатації, що є важливим для оновлення даних у державному архітектурно-будівельному контролі та для реєстрації права власності на новозбудовані об'єкти.

У випадку об'єктів благоустрою населених пунктів інвентаризація може проводитися як планово, так і позапланово. Планова інвентаризація затверджується органами державної влади та місцевого самоврядування, а позапланова – у випадках, що виникають внаслідок змін власника, завершення ремонтних робіт або в результаті надзвичайних ситуацій. Завдяки такому підходу до організації робіт забезпечується оперативне реагування на зміни, що виникають у процесі експлуатації об'єктів, а також актуалізація даних для подальшого прийняття управлінських рішень.

Позапланова технічна інвентаризація проводиться у разі:

- введення в експлуатацію закінченого будівництвом об'єкта благоустрою;
- закінчення ремонту об'єкта благоустрою;
- зміни власника (балансоутримувача) об'єкта благоустрою;
- протиправного знищення чи пошкодження об'єкта благоустрою;
- надзвичайної ситуації техногенного або природного характеру на об'єкті благоустрою;
- прийняття рішення про її проведення власником (балансоутримувачем) об'єкта благоустрою.

Результати виконання робіт з інвентаризації та паспортизації мають важливе практичне значення, оскільки кожен вид робіт завершується оформленням документів, що підтверджують виконання технічного обстеження та встановлення характеристик об'єкта. Для будівель і споруд складається звіт і паспорт об'єкта, що містять інформацію про технічний стан конструкцій, оцінку їхньої надійності та відповідність нормативним вимогам. Автомобільні дороги підлягають паспортизації, яка передбачає фіксацію початкових і поточних технічних параметрів та слугує основою для подальшого технічного обліку та планування ремонтних заходів.

Для об'єктів нерухомого майна оформлюється інвентаризаційна справа та технічний паспорт, що містять відомості про геометричні характеристики будівлі, необхідні при введенні в експлуатацію або проведенні повторної інвентаризації. Об'єкти благоустрою також підлягають інвентаризації та паспортизації, що дозволяє систематизувати інформацію про їхній технічний стан, зміну параметрів та визначати необхідність проведення ремонтних робіт.

Оформлення відповідної документації не лише забезпечує об'єктивну оцінку технічного стану об'єктів, а й слугує інструментом контролю якості виконаних робіт, що використовується для прийняття управлінських рішень. Узагальнена інформація про документи, що формуються в межах різних видів робіт, наведена у **табл. 2**.

У результаті аналізу встановлено спільні та відмінні ознаки робіт з інвентаризації та паспортизації. Незважаючи на те, що об'єкти належать до єдиного будівельного комплексу, методика виконання робіт визначається цілями, що ставляться перед кожним видом робіт. Технічне обстеження об'єктів будівництва орієнтоване на забезпечення їхньої надійності та безпеки експлуатації через комплексний підхід, який включає лінійні вимірювання, складання креслень, розрахунки та оформлення звітів. У випадку паспортизації автомобільних доріг, акцент робиться на фіксації початкових технічних характеристик та документуванні змін, пов'язаних з ремонтними роботами. Технічна інвентаризація об'єктів нерухомого майна здійснюється перед введенням об'єкта в експлуатацію для встановлення відповідності проектної документації з техніко-економічними показниками, а інвентаризація та паспортизація об'єктів благоустрою спрямовані на підтвердження наявності елементів благоустрою та оцінку їхнього стану з метою оперативного контролю за експлуатацією населених пунктів.

Таблиця 2

Документація, яку оформлюють за результатами виконання робіт

Ч. ч.	Найменування роботи	Вид документа
1	Огляд, обстеження та паспортизація об'єктів будівництва	Звіт, паспорт об'єкта. (Порядок № 257, Методика)
2	Паспортизація автомобільних доріг	Паспорт автомобільної дороги. СОУ 42.1-37641918-038:2016 Паспорт автомобільної дороги
3	Технічна інвентаризація об'єкта нерухомого майна	Інвентаризаційна справа, матеріали технічної інвентаризації, технічний паспорт (ч. 1 ст. 39 ³ ЗУ «Про регулювання містобудівної діяльності», п. 8 Порядку № 488)
4	Технічна інвентаризація та паспортизація об'єктів благоустрою населених пунктів	Інвентаризаційна справа, технічний паспорт. (п. 1.6, п. 3.1 Інструкції № 550)

Результати аналізу дозволяють сформулювати конструктивні пропозиції щодо удосконалення процесу виконання робіт. Серед рекомендацій — уніфікація методик інвентаризації для забезпечення єдиних підходів до оцінки технічного стану об'єктів, а також удосконалення нормативно-правового забезпечення з метою зменшення розбіжностей між різними видами робіт. Крім того, підвищення кваліфікації виконавців та впровадження сучасних технологій обстеження й аналізу сприятимуть зниженню ризиків, пов'язаних із затримками та помилками під час реалізації інвестиційних проєктів.

Висновки

Під час проведення аналізу було встановлено, що, незважаючи на спільну приналежність об'єктів до будівельного комплексу, методика виконання робіт з інвентаризації та паспортизації значно варіюється залежно від типу об'єкта та поставлених завдань. Нормативно-правове забезпечення визначає окремі підходи для організації робіт за напрямками: огляд, обстеження та паспортизація об'єктів будівництва, паспортизація автомобільних доріг, технічна інвентаризація об'єктів нерухомого майна, інвентаризація та паспортизація об'єктів благоустрою населених пунктів. Своєчасне та якісне виконання цих робіт забезпечує об'єктивну оцінку технічного стану об'єктів, що є передумовою для ефективного управління містобудівною діяльністю та реалізації інвестиційних проєктів. Узагальнення отриманих даних дозволяє рекомендувати уніфікацію методик, удосконалення нормативно-правового регулювання та підвищення кваліфікації виконавців як засоби зниження операційних ризиків та підвищення якості оформлення результатів.

Список літератури

1. Про регулювання містобудівної діяльності: Закон України від 17.02.2011 № 3038 – IV, редакція від 14.01.2025 № 4213-IX // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text> (дата звернення: 01.03.2025).
2. Про порядок проведення обстеження прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва: постанова Кабінету Міністрів України від 12.04.2017 № 257 (чинна в редакції від 05.04.2022 № 423. База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/257-2017-п#Text> (дата звернення: 01.03.2025).
3. Про затвердження Методики проведення обстеження та оформлення його результатів: Наказ Міністерства розвитку громад та територій України 06.08.2022 № 144. База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0898-22#Text> (дата звернення 01.03.2025).
4. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. Київ, 2016. 45 С. (Інформація та документація).

5. ДБН В.1.2-9:2021 Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека і доступність під час експлуатації. Київ, 2022. 16 с. (Інформація та документація).
6. ДБН В.1.2-14:2018 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Київ, 2018. 35 С. (Інформація та документація).
7. ДБН А.3.2-2-2009. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. Київ, 2012. 116 С. (Інформація та документація).
8. ДБН В.2.3-6:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження та випробування. Київ, 2010. 47 с. (Інформація та документація).
9. ДСТУ 9123:2021 Настанова з обстеження та випробування мостів і труб. Київ, 2022. 44 с. (Інформація та документація).
10. ДСТУ 9181:2022 Споруди транспорту. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ. 2022. 121 с. (Інформація та документація).
11. Про автомобільні дороги. Закон України від 08.09.2005 № 2862-IV, редакція від 15.11.2024 підстава – № 4017-IX // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2862-15#Text> (дата звернення: 01.03.2025).
12. Про затвердження Єдиних правил ремонту і утримання автомобільних доріг, вулиць, залізничних переїздів, правил користування ними та охорони, затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 30.03.1994 № 198. База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/198-94-%D0%BF#Text> (дата звернення 01.03.2025).
13. Про затвердження Технічних правил ремонту і утримання вулиць та доріг населених пунктів, затверджено наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 14.02.2012 № 54. База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0365-12#Text> (дата звернення: 01.03.2025).
14. СОУ 42.1-37641918-038:2016 Паспорт автомобільної дороги. Київ. 2016. 133 с. (Інформація та документація).
15. Деякі питання проведення технічної інвентаризації, затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 12.05.2023 № 488. База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/488-2023-%D0%BF#Text> (дата звернення: 01.03.2025).
16. Про благоустрій населених пунктів. Закон України від 06.09.2005 № 2807-IV, редакція від 10.10.2024 № 4017-IX // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2807-15#Text> (дата звернення: 01.03.2025).
17. Про затвердження Інструкції з проведення технічної інвентаризації та паспортизації об'єктів благоустрою населених пунктів, затверджено наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 29.10.2012 № 550. База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1937-12#Text> (дата звернення: 01.03.2025).

References

1. Pro rehulivannia mistobudivnoi diialnosti: Law of Ukraine of 17.02.2011 No. 3038 – IV, edition of 14.01.2025 No. 4213–IKh // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text> (Last accessed: 01.03.2025) [in Ukrainian].
2. Pro poriadok provedennia obstezhennia pryiniatykh v ekspluatatsiiu obektiv budivnytstva: Decree of Cabinet of Ministers of Ukraine of 12.04.2017 No. 257 (editorial office of 05.04.2022 No. 423) // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/257-2017-n#Text> (Last accessed: 01.03.2025) [in Ukrainian].
3. Pro zatverdzhennia Metodyky provedennia obstezhennia ta oformlennia yoho rezultativ: Nakaz Ministerstva rozvytku hromad ta terytorii Ukrainy 06.08.2022 No. 144. Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0898-22#Text> (data zvernennia 01.03.2025) [in Ukrainian].

4. DSTU-N B V.1.2-18:2016 Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu (Instruction on inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition). Kyiv, 2016. 45 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
5. DBN V.1.2-9:2021 Osnovni vymohy do budivel i sporud. Bezpeka i dostupnist pid chas ekspluatatsii. Kyiv, 2016. 16 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
6. DBN V.1.2-14:2018 Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud (General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures). Kyiv, 2018. 35 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
7. DBN A.3.2-2:2009. Okhorona pratsi i promyslova bezpeka u budivnytstvi. Osnovni polozhennia (Occupational safety and industrial safety in construction. Basic provisions). Kyiv, 2012. 116 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
8. DBN V.2.3-6:2009 Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennia i vyprobuvannia [State Building Norms (DBN V.2.3-6:2009) Transport facilities. Bridges and pipes. Inspection and testing]. Kyiv, 2009. 73 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
9. DSTU 9123:2021 Nastanova z obstezhennia ta vyprobuvannia mostiv i trub (Nastanova z obstezhennia ta vyprobuvannia mostiv i trub [State Standard of Ukraine (DSTU 9123:2021) Attitude for inspection and testing of bridges and culverts. Kyiv, 2022. 44 p. (information and documentation) [in Ukrainian].
10. DSTU 9181:2022 Sporudy transportu. Nastanova z otsiniuvannia i prohnozuvannia tekhnichnoho stanu avtodorozhnikh mostiv [State Standard of Ukraine (DSTU 9181:2022) Transport buildings. Instructions for assessing and forecasting the technical condition of road bridges]. Kyiv. 2022. 121 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
11. Pro avtomobilni dorohy. Zakon Ukrainy vid 08.09.2005 No. 2862-IV, redaktsiia vid 15.11.2024 pidstava – No. 4017-IX // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2862-15#Text> (data zvernennia: 01.03.2025) [in Ukrainian].
12. Pro zatverdzhennia Yedynykh pravyl remontu i utrymannia avtomobilnykh dorih, vulyts, zaliznychnykh pereizdiv, pravyl korystuvannia nymy ta okhorony, zatverdzheno postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30.03.1994 No. 198. Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/198-94-%D0%BF#Text> (data zvernennia 01.03.2025) [in Ukrainian].
13. Pro zatverdzhennia Tekhnichnykh pravyl remontu i utrymannia vulyts ta dorih naselenykh punktiv, zatverdzheno nakazom Ministerstva rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy vid 14.02.2012 No. 54. Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0365-12#Text> (data zvernennia: 01.03.2025) [in Ukrainian].
14. SOU 42.1-37641918-038:2016 Pasport avtomobilnoi dorohy. Kyiv. 2016. 133 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
15. Deiaki pytannia provedennia tekhnichnoi inventaryzatsii, zatverdzheno postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 12.05.2023 No. 488. Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/488-2023-%D0%BF#Text> (data zvernennia: 01.03.2025) [in Ukrainian].
16. Pro blahoustrii naselenykh punktiv. Zakon Ukrainy vid 06.09.2005 No. 2807-IV, redaktsiia vid 10.10.2024 No. 4017-IX // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2807-15#Text> (data zvernennia: 01.03.2025) [in Ukrainian].
17. Pro zatverdzhennia Instruksii z provedennia tekhnichnoi inventaryzatsii ta pasportyzatsii ob'ektiv blahoustroiu naselenykh punktiv, zatverdzheno nakazom Ministerstva rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy vid 29.10.2012 No. 550. Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1937-12#Text> (data zvernennia: 01.03.2025) [in Ukrainian].

Sergei Kovryga¹, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-0189-4582>

Vladyslav Fitarov², <https://orcid.org/0000-0003-0478-3893>

Serhii Zavhorodnii¹, <https://orcid.org/0000-0003-1928-4544>

¹State Enterprise “National Institute for Development Infrastructure” (SE “NIDI”), Kyiv, Ukraine

²Kharkiv National Automobile and Road University (KHNADU), Kharkiv, Ukraine

COMPARATIVE AND ANALYTICAL STUDY OF WORKS RELATED TO INVENTORY AND TECHNICAL PASSPORTING

Abstract

Introduction. The increasing demands for quality and safety in the operation of construction objects necessitate a clear delineation of the processes of inventory and technical passporting. Although the terminology is similar, these processes differ in the qualification requirements for the practitioners and in the specific procedures for documenting the results. Such discrepancies pose significant challenges in the planning and implementation of construction projects.

Problem Statement. The presence of numerous regulatory documents with varied approaches to conducting these operations complicates the interpretation of the terms applied in practice. Divergent approaches to technical inspections result in delays, increased costs, and elevated operational risks. This situation underscores the need to develop unified approaches to inventory and technical passporting for construction objects, motorways, real estate objects, and elements of urban improvement.

Purpose. The aim of this work is to perform a comparative analysis of the processes of inventory and technical passporting in order to identify their common and distinctive characteristics and to formulate recommendations for improving the method of these operations. The synthesis of the obtained data is intended to ensure timely updates of information regarding the technical condition of objects and to optimize control processes over their operation.

Materials and methods. The analysis is based on the study of the regulatory framework governing the technical inspection and documentation of results in four main areas: the inspection, survey, and technical passporting of construction objects; the technical passporting of motorways; the technical inventory of real estate objects; and the inventory and technical passporting of urban improvement objects. The method involves systematizing the relevant normative acts, analyzing the procedures of technical inspection, assessing the qualification requirements for practitioners, and evaluating the efficiency of the documentation produced as a result of these operations. The results are presented in the form of a consolidated table of regulatory provisions, which clearly outlines the requirements for each area.

Results. The analysis demonstrates that, despite the common classification of these objects as parts of the construction complex, the method for conducting the operations varies according to the type of object and the specific objectives. For construction objects, a comprehensive approach is applied that includes linear measurements, drafting of drawings, calculations, and the preparation of detailed reports to objectively assess their technical condition. In the case of motorways, technical passporting is based on recording both the initial and current technical characteristics, which allows for the timely determination of maintenance and repair needs. The technical inventory of real estate objects is conducted prior to putting the object into operation to confirm compliance with the project documentation, ensure the legality of ownership registration, and monitor technical and economic indicators. Inventory and technical passporting of urban improvement objects facilitate the systematization of information regarding the condition of these elements and enable a prompt response to changing operating conditions through scheduled or unscheduled inspections.

Conclusions. The results summarize both the common and specific aspects of the inventory and technical passporting processes, thereby revealing the need for the unification and the enhancement of regulatory frameworks. Recommendations for improving the qualification of practitioners and implementing modern inspection technologies are aimed at reducing operational risks and ensuring objective control over the technical condition of objects, which is critically important for the effective management of urban development activities and the successful implementation of investment projects.

Keywords: inventory, technical passporting, construction, technical inspection, regulatory framework, comparative analysis, urban planning, bridge, dynamic testing, technical condition, piled-raft foundation.

УДК 625.7

Нагребельна Л. П., *д-р філос. з транспортних технологій*, <https://orcid.org/0000-0002-5615-9075>

Беленчук О. В., <https://orcid.org/0000-0003-0525-0546>

Кононенко А. О., <https://orcid.org/0000-0003-4826-0373>

Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна

ФОРМУВАННЯ КУЛЬТУРИ ДОТРИМАННЯ ПРАВИЛ ДОРОЖНЬОГО РУХУ У СУСПІЛЬСТВІ

Анотація

Вступ. Порівняно з Європейськими країнами, стан небезпеки дорожнього руху в Україні та рівень порушення правил дорожнього руху є вкрай високим. Покращення безпеки дорожнього руху шляхом підвищення культури водіння є однією з важливих соціальних проблем сучасності, яка пов'язана зі збереженням життя і здоров'я людей.

Проблематика. Проблема порушення правил дорожнього руху в Україні прослідковується через кількість загиблих та/або травмованих осіб на дорогах, адже дорожньо-транспортні пригоди спричиняють величезні соціальні втрати, які є тягарем для системи охорони здоров'я та економіки країни. Зменшення травмування людей внаслідок дорожньо-транспортних пригод і збереження їхнього життя є одним із найважливіших завдань для нашої держави.

Мета. У статті проведено теоретичне дослідження основних шляхів і концепцій, які сприятимуть підвищенню рівня свідомості культури водіння та дотримання правил дорожнього руху.

Матеріали та методи. У статті застосовано теоретичний метод дослідження та аналізування.

Результати. Виділено основні аспекти для формування культури водіння та дотримання правил дорожнього руху у суспільстві для зменшення аварійності на автомобільних дорогах.

Висновки. Культура водіння та дотримання правил дорожнього руху — це не тільки питання безпеки, а й питання соціальної відповідальності кожного водія, відображення цивілізованого ставлення до інших учасників руху. Приділяючи увагу своїй поведінці на дорозі, кожен водій може зробити дорогу безпечнішою, зменшити кількість травмованих осіб внаслідок дорожньо-транспортних пригод і допомогти створити атмосферу поваги та розуміння на дорогах.

Ключові слова: аварійність, автомобільна дорога, безпека дорожнього руху, дорожньо-транспортна пригода, ДТП, культура водіння, порушення правил дорожнього руху, ПДР.

Вступ

Культура, у загальному розумінні, має велике значення, оскільки це механізм, через який ми приходимо до розуміння себе і наших відносин зі світом і відображаємо нашу культурну ідентичність. Актуальність питання формування культури водіння є надзвичайно високою у сучасному світі. З кожним роком зростає кількість транспортних засобів, що призводить до підвищення рівня небезпеки на дорогах. Статистика свідчить, що порушення правил дорожнього руху (далі — ПДР) є однією з основних причин дорожньо-транспортних пригод (далі — ДТП), які спричиняють значні матеріальні втрати, травми та людські жертви. У цьому контексті формування культури дотримання ПДР серед усіх учасників дорожнього руху стає важливим завданням для суспільства та держави в цілому. Однак, щоб зрозуміти роль культури у формуванні поведінки водіїв, спочатку потрібно критично розглянути концепцію «культури». Що таке культура? Чи може вона змінюватися? Хто бере участь у її формуванні?

Визначення культури численні та різноманітні, що значною мірою пояснюється широким впливом «культурного повороту» у соціальних і гуманітарних науках впродовж останніх двох десятиліть. Загальноприйняте визначення культури включає систему вірувань, цінностей, норм і матеріальних об'єктів, якими люди користуються у своєму повсякденному житті та які впливають на

їхню соціальну взаємодію. Якщо застосувати цей підхід до розуміння культури водіння, можна дослідити, яку поведінку за кермом люди вважають прийнятною, а також наскільки вони впевнені у власній здатності зменшити ризик виникнення ДТП, керуючи своїми автомобілями. Однак таке визначення недостатньо пояснює механізми, через які суспільство формує, підтримує та виправдовує певні цінності й переконання, одночасно ігноруючи або пригнічуючи інші. Хто вирішує, що вважається прийнятною поведінкою на дорозі і як це впливає на суспільство? Які чинники визначають ризики для різних категорій учасників дорожнього руху? Як соціальний статус впливає на сприйняття та способи управління цими ризиками? Обговорення значення культури може здатися дещо абстрактним, однак воно має значний вплив на шляхи вивчення культури водіння та методи втручання в неї.

Основна частина

Формування культури водіння та дотримання правил дорожнього руху є важливим аспектом забезпечення безпеки на автомобільних дорогах України. Це складний та тривалий процес, який вимагає злагодженої роботи державних органів, освітніх установ, громадських організацій та самих учасників дорожнього руху. Основні етапи та підходи до формування такої культури повинні включати освіту та просвітництво, соціальні кампанії, контроль правоохоронних органів, інфраструктурні рішення, формування відповідальності у суспільстві.

На сьогодні Україна за кількістю ДТП та смертністю в них займає один із найвищих рівнів у Європі. За даними дослідницької організації World Life Expectancy [1], Україна посідає 125 місце у світі з показником 9,34 смертей на 100 тисяч населення, що ставить її на третє місце в Європі за цим показником.

Порівнявши дані про аварійність в Україні [2] за 2023 та 2024 роки можемо побачити невтішний результат за всіма показниками (**рис. 1**). Бачимо зростання аварійності в Україні порівняно з 2023 роком на 8 %, кількість загиблих зросла на 5 %, травмованих — на 9 %. Такі результати свідчать і про збільшення тяжкості наслідків від ДТП.

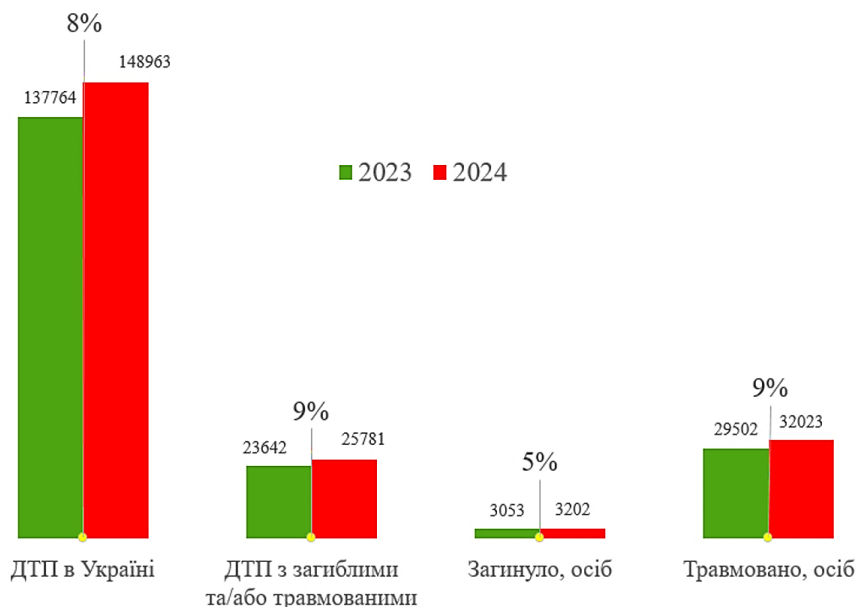


Рисунок 1 — Порівняння кількості ДТП в Україні за 2023 та 2024 роки

В Україні протягом останніх років тримається високий рівень аварійності [3, 4]. Найбільша кількість ДТП стається через порушення ПДР, а саме — перевищення безпечної швидкості. У 2024 році в Україні камерами автофіксації було виявлено 3 278 982 порушення ПДР (**рис. 2**), це у 1,7 разів більше, ніж за 2023 рік. Загалом це рекордна кількість порушень за весь час роботи

Найбільш поширеним порушенням ПДР є перевищення безпечної швидкості, яке складає 40 % від загальної кількості порушень. Така велика кількість порушень ПДР свідчить про **низьку правосвідомість** і безвідповідальність громадян. Водії ігнорують правила через нехтування або незнання, а також через **недостатній контроль** правоохоронних органів або недосконалість системи моніторингу порушень ПДР. Відсутність **культури водіння** створює серед водіїв загальне толерування порушень ПДР, що в свою чергу призводить до негативної практики в країні [6, 7].

Штрафи за порушення ПДР в Україні регулюється Кодексом України про адміністративні правопорушення [8], за перевищення швидкості більше ніж на 20 км/год штраф становить 340 гривень, більше ніж на 50 км/год – штраф становить 1700 гривень.

Штрафи за порушення ПДР у країнах Європи суттєво відрізняються залежно від типу порушення, рівня доходів громадян і національного законодавства. Однак загалом у більшості європейських країн вони доволі суворі, особливо за серйозні порушення, які створюють загрозу для безпеки на дорозі. За перевищення швидкості, наприклад, у Німеччині штраф сягатиме від 20 євро до 800 євро залежно від перевищення (до 20 км/год — 30 євро, понад 70 км/год — 800 євро), у Франції від 68 євро до 1 500 євро, а за перевищення більше ніж на 50 км/год можливе вилучення прав, у Польщі — від 50 злотих до 2 500 злотих (приблизно від 11 євро до 550 євро).

Збільшення аварійної стійкості транспортних засобів може підвищити безпеку руху, так само і системи попередження в автомобілях можуть компенсувати когнітивні та перцептивні обмеження, які впливають на продуктивність водія, але вони не можуть переважити ставлення до руху, цілі та пріоритети водія. Тому в кінцевому підсумку поведінка водія має найбільший вплив на безпеку дорожнього руху. Культура надає підґрунтя поведінці водія, формуючи переконання, цінності та ідеї, які люди застосовують щоразу, коли сідають за кермо. Зміна культури водіння може бути найефективнішим засобом підвищення безпеки на автомобільних дорогах.

Поведінка водія на дорозі значним чином визначається його психологічним станом, рівнем стресу та особистими рисами характеру. Агресивне водіння, порушення швидкісного режиму, ризиковані маневри часто є наслідком емоційного напруження або соціального тиску. Серед основних чинників, що впливають на поведінку водія можна виділити такі:

- стрес та втома – зниження концентрації та швидкості реакції;
 - групова поведінка – імітація дій інших водіїв, наприклад, ігнорування ПДР у потоці транспорту;
 - сприйняття ризику – молоді водії схильні недооцінювати небезпеку високої швидкості.
- Ефективним шляхом запобігання негативному впливу психологічних факторів є впровадження освітніх програм і тренінгів з безпечного водіння.

На сьогодні вкрай важливо сформувати культуру водіння в Україні та невідворотність покарання за порушення ПДР. Щоб знизити рівень аварійності та смертності на автомобільних дорогах не достатньо лише створювати безпечні умови на автошляхах, має бути комплексне ставлення до безпеки та усвідомлення власної відповідальності кожного учасника дорожнього руху.

У європейських країнах усвідомлення громадян щодо відповідальності за порушення ПДР значно вище, ніж у пострадянських країнах. Рівень аварійності на автомобільних дорогах Європи значно нижчий і це не дивно, адже ці речі взаємопов'язані. Країни Європейського союзу у своїх стратегіях дотримуються правил формування культури водіння у водіїв та мають високий рівень усвідомлення невідворотності покарання у разі порушення ПДР серед усіх учасників дорожнього руху.

До прикладу, у Британії лаятись та поводити себе агресивно за кермом заборонено, за таку поведінку можна отримати штраф 1 000 фунтів стерлінгів. Це пов'язано із Законом про злочини та безлад 1998 року, який забороняє агресію за кермом [9].

Однак і на сьогодні європейські країни занепокоєні збільшенням кількості ДТП, особливо серед водіїв у віці від 18 до 25 років. Таке зростання спричинене сукупністю чинників, адже юний вік впливає на сприйняття ризику молодими людьми. Відсутність досвіду на дорозі означає, що молодь гірше передбачає небезпеку, має менше досвіду та менше знань, як краще керувати автомобілем зокрема розпізнавати вчасно дорожні умови та вчасно реагувати на небезпечні ситуації.

Ряд порушень і відволікань впливає на молодих людей, оскільки вони соціально активні у такому молодому віці. Тому європейські країни запроваджують нові стратегії та правила для поліпшення ситуації.

Стратегії щодо формування культури водіння, які спрямовані на зменшення аварійності та виховання відповідальних водіїв, існують у багатьох країнах. Однак найбільш відомим прикладом є Швеція з її програмою «Vision Zero», яка стала міжнародним еталоном. Розглянемо її, а також інші приклади:

- Швеція: стратегія «Vision Zero» впроваджена з 1997 року [10]. Мета — нульова смертність і тяжкість травм на дорогах. Акцент полягає у системному підході, а саме проєктування безпечних доріг (обмеження швидкості, розділення потоків); значні штрафи за порушення ПДР, наприклад, за споживання алкоголю; масові кампанії з етики водіння, наприклад, «Дивись на дорогу, а не в телефон». Результати — з 1997 до 2023 роки смертність на автомобільних дорогах знизилася на 70 %, незважаючи на зростання кількості автомобілів в країні.

- Нідерланди: стратегія «Sustainable Safety» [11]. Акцент зроблено на інфраструктуру, спроектовану для мінімізації помилок водіїв: велосипедні доріжки, окремі смуги для громадського транспорту; «живі» квартали з обмеженням швидкості до 30 км/год; система штрафів, прив'язана до доходу порушника. Результати – одна з найнижчих у світі смертність на дорогах (3 смерті на 100 тис. населення у 2023 році).

- Норвегія: стратегія «Електрифікація та безпека» [12]. Акцент полягає у створенні пільг для електромобілів (зниження ПДВ, безкоштовні парковки); автоматичні камери фіксують всі порушення ПДР (від перевищення швидкості до непристібнутих пасків безпеки); школам пропонують програми з безпеки дорожнього руху для дітей. Результати – у 2022 році вперше зафіксовано відсутність дітей, загиблих у ДТП.

Для зниження рівня аварійності на автомобільних дорогах нам вже сьогодні потрібно формувати стратегію, яка комплексно підійде до вирішення даного питання і це не лише підвищення вимог до будівництва та забезпечення безпечних умов руху, потрібно працювати також зі свідомістю громадян у суспільстві, щоб кожен розумів свій рівень відповідальності на будь-якому рівні.

Основні методи формування культури дотримання ПДР повинні охоплювати такі аспекти, як **освітні програми, соціальну рекламу, безкомпромісну роль держави та законодавства, інфраструктурні проєкти та перейняття досвіду інших країн. Освітня програма повинна включати** навчання ПДР з раннього віку. Впровадження обов'язкових курсів з ПДР у шкільній програмі допоможе виховати у дітей усвідомлене ставлення до безпеки на дорозі. Але, як правило, діти переймають поведінку своїх батьків. Коли вони бачать безкарність за порушення елементарних правил безпеки на дорогах, наприклад перехід дороги в непризначеному для цього місці, діти також будуть вчиняти аналогічно, бо ця поведінка сформована у їх свідомості батьківським прикладом. Тому потрібно ще в дитячому віці формувати причинно-наслідкову відповідальність, що за кожною нашою дією є наслідок та відповідальність. Також важливо проводити тренінги, семінари та інформаційні кампанії для підвищення обізнаності водіїв різних видів транспорту та пішоходів.

Ще одним важливим аспектом є **соціальна реклама**. Засоби масової інформації можуть ефективно впливати на формування суспільної свідомості. Рекламні кампанії, спрямовані на популяризацію безпечної поведінки, мають бути яскравими, емоційно насиченими та легко зрозумілими для будь-яких верств населення.

Роль держави та законодавства має бути відчутна у створенні жорсткого контролю за дотриманням ПДР, обов'язкове підвищення штрафів за їх порушення, невідворотність покарання та впровадження системи автоматичного моніторингу на дорогах (збільшення камер спостереження, радарів тощо). На цих етапах потрібно обов'язково враховувати досвід інших країн, які вже пройшли цей шлях. Наприклад, програма «Vision Zero», яка ставить за мету повне виключення смертей на дорогах і яка довела свою ефективність завдяки комплексним заходам: розвитку інфраструктури, освіти та жорсткими вимогами до учасників дорожнього руху.

Потрібно обов'язково впроваджувати покращення інфраструктурних рішень, наприклад, облаштування безпечних пішохідних переходів, велосипедних доріжок, світлофорів із таймерами та інших об'єктів, приділяти значну увагу розвитку громадського транспорту для зменшення кількості автомобілів на дорогах.

Ми повинні сформувати культуру відповідальності у суспільстві, що, у свою чергу, сприятиме етичній поведінці на дорозі. Тому водії та пішоходи мають розуміти, що їхня поведінка впливає на безпеку інших. Популяризація ідеї щодо дотримання правил дорожнього руху — це не лише обов'язок, а й ознака поваги до інших. Важливо також урахувати психологічні фактори, які впливають на поведінку учасників дорожнього руху. Люди схильні дотримуватися правил, якщо вони відчують особисту відповідальність за свої дії, усвідомлюють наслідки порушень як для себе, так і для інших, бачать позитивний приклад від інших учасників руху.

Соціальні кампанії можуть акцентувати увагу на цих аспектах, мотивуючи людей змінювати свою поведінку. Хоча формування культури дотримання правил дорожнього руху є тривалим процесом, однак завдяки зусиллям, спрямованим на підвищення обізнаності та відповідальності кожного учасника дорожнього руху, можна досягти значного зменшення кількості ДТП і створення безпечного середовища.

Висновки

Трансформація культури водіння та дотримання правил ПДР є суттєвим викликом, зокрема через те, що багато хто вважає, що культуру не можна змінити. Потрібно неодмінне переосмислення культури суспільства, як динамічної та гнучкої, яка повинна охоплювати важливі аспекти складної взаємодії між учасниками дорожнього руху, транспортними засобами, інфраструктурою, а також іншими зацікавленими сторонами, залученими до визначення та просування безпеки дорожнього руху.

Формування культури водіння та дотримання ПДР в Україні має бути багатогранним процесом, який потребує участі держави, освітніх установ, засобів масової інформації та громадськості. Основними рекомендаціями для досягнення позитивного результату є:

- запровадження освітніх програм з безпеки дорожнього руху на всіх рівнях освіти;
- посилення контролю за дотриманням ПДР та підвищення штрафів за їх порушення;
- розроблення та реалізація масштабних соціальних рекламних кампаній для зміни суспільних поглядів на безпеку дорожнього руху;
- використання інноваційних технологій для моніторингу ситуації на дорогах;
- популяризація позитивного прикладу серед учасників дорожнього руху.

Лише спільними зусиллями можна досягти значного прогресу у зменшенні кількості порушень ПДР та підвищенні рівня безпеки на автомобільних дорогах.

Список літератури

1. Worldlifeexpectancy. Live longer live better (Світова тривалість життя. Живіть довше, живіть краще). URL: <https://www.worldlifeexpectancy.com> (дата звернення 26.01.2025).
2. Статистичні дані про аварійність Департаменту патрульної поліції Національної поліції України. URL: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/> (дата звернення: 20.01.2025).
3. Поліщук В. П., Нагребельна Л. П. Аналіз факторів, що спричиняють ДТП на автомобільних дорогах загального користування та пропозиції по їх ліквідації. *Дороги і мости*. 2016. Вип. 16. С. 82–85.
4. Вознюк А. Б., Нагребельна Л. П., Міненко Є. В. Недоліки в дорожніх умовах та їх вплив на виникнення ДТП. *Дороги і мости*. 2019. Випуск 19-20. С. 163–172. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2019.19.170>.
5. Кількість порушень правил дорожнього руху в Україні за 2024 рік. URL: <https://opendatabot.ua/analytics/autofines-2024?utm> (дата звернення: 20.01.2025).
6. Нагребельна Л. П., Корчевська А. А. Покращення безпеки дорожнього руху за допомогою автоматизованого управління дорожнім рухом. *Вісник НТУ*, Випуск 1 (49). 2021. DOI: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2021-1-48-233-241>.

7. Кононенко А. О., Міненко Є. В., Нагребельна Л. П. Вплив системи автоматичної фотовідеофіксації порушень правил дорожнього на зниження аварійності на автомобільних дорогах загального користування. *Дороги і мости*. Київ, 2022. Вип. 26. С. 239–254 DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.26.239>.
8. Кодекс України про адміністративні правопорушення. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/80731-10#Text> (дата звернення: 20.01.2025).
9. Crime and Disorder Act 1998 (Закон про злочини та безпорядки 1998 року) / Законодавство Великобританії. URL: <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1998/37> (дата звернення: 20.01.2025).
10. K. Edvardsson Björnberg et al. (eds.), The Vision Zero Handbook. Part II Vision Zero: An International Movement for Traffic Safety. (Довідник Vision Zero. Частина II Vision Zero: міжнародний рух за безпеку дорожнього руху). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-76505-7_8. URL: https://research.chalmers.se/publication/535954/file/535954_AdditionalFile_9ece993f.pdf (дата звернення 26.01.2025).
11. Sustainable safety: the Dutch approach to safe road design (Стала безпека: підхід Нідерландів до проектування безпечних доріг) URL: <https://mobycon.com/updates/sustainable-safety-the-dutch-approach-to-safe-road-design/> (дата звернення 26.01.2025).
12. National plan of action for road safety 2022-2025 – short version (Національний план дій для безпеки дорожнього руху 2022-2025 – скорочена версія). URL: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/fokusomrader/trafikksikkerhet/national-plan-of-action-for-road-safety-2022-2025---short-version-in-english.pdf> (дата звернення 26.01.2025).

References

1. Worldlifeexpectancy. Live longer live better. URL: <https://www.worldlifeexpectancy.com> (Last accessed: 26.01.2025) [in English].
2. Statistical data on the accident rate of the Patrol Police Department of the National Police of Ukraine. URL: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/> (Last accessed: 20.01.2025) [in Ukrainian].
3. Polishchuk V. P., Nagrebelna L. P. Analiz faktoriv, shcho sprychyniaut DTP na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia ta propozyzii po yikh likvidatsii [Analysis of the factors that cause accidents on public roads and proposals for their elimination]. *Roads and bridges*. 2016. Issue 16. P. 82–85 [in Ukrainian].
4. Voznyuk A. B., Nagrebelna L. P., Minenko E. V. Nedoliky v dorozhnikh umovakh ta yikh vplyv na vynyknennia DTP [Deficiencies in road conditions and their impact on road accidents]. *Roads and bridges*. 2019. Issue 19-20. P. 163–172. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2019.19.170> [in Ukrainian].
5. Kil'kist porushen pravyl dorozhnoho rukhu v Ukraini za 2024 rik (Number of traffic violations in Ukraine in 2024) URL: <https://opendatabot.ua/analytics/autofines-2024?utm> (Last accessed: 20.01.2025) [in Ukrainian].
6. Nagrebelna L. P., Korchevskaya A. A. Pokrashchennia bezpeky dorozhnoho rukhu za dopomohoiu avtomatyzovanoho upravlinnia dorozhnim rukhom [Improving road safety with automated traffic control]. *Bulletin of NTU*. Issue 1 (49). 2021. DOI: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2021-1-48-233-241> [in Ukrainian].
7. Alla Kononenko, Yevhen Minenko, Liudmila Nahrebelna. The influence of the automatic photo-video registration system of road rules violations on the reduction of accident rate on public roads. *Dorogi i mosti* [Roads and bridges]. Kyiv, 2022. Issue 26. P. 239–254 DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.26.239> [in Ukrainian].
8. Kodeks Ukrainy pro administratyvni pravoporushennia // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/80731-10#Text> (Last accessed: 20.01.2025) [in Ukrainian].
9. Crime and Disorder Act 1998 / UK Public General Acts. URL: <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1998/37> (Last accessed: 20.01.2025) [in English].

10. K. Edvardsson Björnberg et al. (eds.), The Vision Zero Handbook. Part II Vision Zero: An International Movement for Traffic Safety. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-76505-7_8. URL: https://research.chalmers.se/publication/535954/file/535954_AdditionalFile_9ece993f.pdf (Last accessed: 26.01.2025) [in English].

11. Sustainable safety: the Dutch approach to safe road design URL: <https://mobycon.com/updates/sustainable-safety-the-dutch-approach-to-safe-road-design/> (Last accessed: 26.01.2025) [in English].

12. National plan of action for road safety 2022-2025 – short version. URL: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/fokusomrader/trafikksikkerhet/national-plan-of-action-for-road-safety-2022-2025---short-version-in-english.pdf> (Last accessed: 26.01.2025) [in English].

Liudmyla Nagrebelna, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-5615-9075>

Olga Belenchuk, <https://orcid.org/0000-0003-0525-0546>

Alla Kononenko, <https://orcid.org/0000-0003-4826-0373>

State enterprise “National Institute for Development Infrastructure” (SE “NIDI”), Kyiv, Ukraine

FORMATION OF A ROAD TRAFFIC COMPLIANCE CULTURE IN SOCIETY

Abstract

Introduction. Compared to European countries, the state of road safety in Ukraine and the level of traffic violations are extremely high. Improving road safety by enhancing the driving culture is one of the crucial social challenges of today, directly related to preserving human life and health.

Problem statement. The problem of traffic violations in Ukraine is evident in the number of fatalities and injuries on the roads, as traffic accidents cause significant social losses, burdening both the healthcare system and the national economy. Reducing injuries and fatalities due to RTAs is one of the state’s most pressing priorities.

Purpose. This article conducts a theoretical study of key strategies and concepts that contribute to raising awareness about the importance of driving culture and adherence to traffic rules.

Materials and methods. The article employs a theoretical research approach and analytical methods.

Results. The study identifies key aspects essential for fostering a culture of responsible driving and compliance with traffic regulations within society to reduce road accidents.

Conclusions. Driving culture and adherence to traffic rules are not only matters of safety but also reflect the social responsibility of every driver and their respect for other road users. By being mindful of their behavior on the road, each driver can contribute to making roads safer, reducing the number of injuries in accidents, and fostering an atmosphere of mutual respect and understanding in traffic environments.

Keywords: road, accident rate, road safety, traffic accident, driving culture, traffic rule violations, traffic regulations.

УДК 625.746.5

Нагребельна Л. П., *д-р філос. з транспортних технологій*, <https://orcid.org/0000-0002-5615-9075>

Кострульова Т. Є., <https://orcid.org/0000-0002-9554-1285>

Шпінь Д. М., <https://orcid.org/0000-0003-0779-5558>

Корчевська А. А., <https://orcid.org/0000-0001-8245-9891>

Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна

ВИМОГИ РІЗНИХ КРАЇН ДО ДОРОЖНЬОЇ РОЗМІТКИ НА ВОЛОГОМУ ПОКРИВІ

Анотація

Вступ. Горизонтальна дорожня розмітка є важливим елементом безпеки дорожнього руху, яка забезпечує орієнтування учасників дорожнього руху на автомобільній дорозі. Дорожня розмітка дозволяє збільшити пропускну здатність автомобільної дороги більше ніж на 20 % та зменшити кількість дорожньо-транспортних пригод.

Проблематика. Дорожня розмітка повинна залишатися добре видимою як у денний, так і в нічний час, а також за несприятливих погодних умов — зокрема під час дощу або туману. У задовільному стані розмітка зазвичай забезпечує належну нічну видимість на сухому покритті, однак її ефективність значно знижується в умовах зволоженої поверхні. Для покращення світлоповернення в темну пору доби в розмітці застосовуються мікросфери зі світлоповертального скла. Ці елементи ефективно функціонують на сухому асфальті, проте при наявності водяної плівки світло може частково відбиватися в протилежному напрямку, що зменшує яскравість маркування або викликає оптичні спотворення. Зниження видимості розмітки на вологій поверхні є поширеною проблемою, що впливає на безпеку дорожнього руху.

Мета. Проведення аналізу вимог різних країн до дорожньої розмітки на вологому покритті для встановлення відповідності вимог ДСТУ 2587 необхідних для забезпечення якісної роботи розмітки.

Матеріали та методи. Аналіз нормативних документів різних країн щодо вимог до дорожньої розмітки на вологому покритті.

Результати. Було розглянуто вимоги країн Європи, Австралії, деяких штатів США та України до коефіцієнта світлоповертання дорожньої розмітки на вологому покритті та під час дощу.

Висновки. З метою забезпечення достатньої видимості розмітки в темну пору доби в умовах зволоження та дощу пропонуємо вимоги за коефіцієнтом світлоповертання привести у відповідність до європейських, оскільки вони покращать безпеку дорожнього руху в Україні, що у свою чергу вплине на зниження виникнення дорожньо-транспортних пригод.

Ключові слова: дорожня розмітка, дощ, пластик гарячого нанесення, пластик холодного нанесення, світлоповертання, фарба.

Вступ

Інтерес до ефективності розмітки вночі в умовах зволоження зріс в останні роки. Десять років тому дослідження ефективності світлоповертальної розмітки в умовах зволоження практично не проводилися, але останнім часом було зроблено низку зусиль, спрямованих на краще розуміння ефективності розмітки в умовах зволоження. Значна частина досліджень пов'язана з покращенням видимості та підвищення довговічності розмітки вночі в умовах зволоження [1 – 5].

У [1] проєкт RAINVISION впродовж трьох років досліджував, як дорожня розмітка може впливати на поведінку водія за будь-яких нічних погодних умов (сухі умови, умови зволоження та дощ) і як різні вікові групи та групи за статтю адаптують свою поведінку на основі видимості та світлоповертання дорожньої розмітки.

У проєкті реалізовано три різні випробування: симуляційне випробування у Франції, випробування на треку в Австрії та випробування на дорозі у Сполученому Королівстві у співпраці з

місцевою владою. Для моделювання і випробувань було набрано більше 100 суб'єктів трьох вікових груп (20 – 40, 41 – 60 і 61+ років) та проведено кілька випробувань у різних умовах. Результати дослідження в цілому показують, що наявність дорожньої розмітки з підвищеними світлоповертальними властивостями за умов зволоження (тип 2) значно підвищила комфорт водіїв та позитивно впливала на суб'єктивне відчуття безпеки водіїв, особливо для старших водіїв.

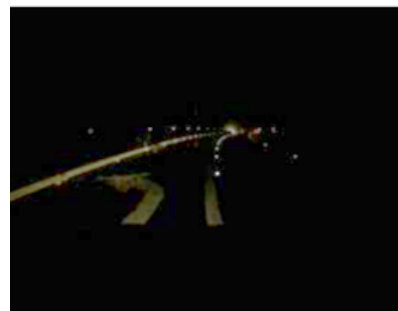
У [2] автори наводять різницю між розміткою, що влаштована звичайними матеріалами та матеріалами з підвищеними світлоповертальними властивості за умов зволоження (рис. 1).



а)



б)



в)

- а) Умови: день та сухі умови (стрілка та центральна лінія, нанесені звичайним матеріалом, та жовта крайова лінія, нанесена матеріалом з підвищеними світлоповертальними властивості за умов зволоження, мають гарну видимість);
- б) Умови: ніч та сухі умови (уся розмітка має гарну видимість);
- в) Умови: ніч та дощ (стрілка та центральна лінія майже невидимі, жовта крайова залишається видимою).

Рисунок 1 — Дорожня розмітка за різних умов

У [3, 4] дослідники, використовуючи інформацію, зібрану під час випробувань на закритій дорозі, попередні дослідження та дані Департаменту транспорту Міннесоти, визначили, що дорожня розмітка повинна мати рівень світлоповертання за умов зволоження щонайменше $50 \text{ мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$, щоб бути адекватно видимою вночі в умовах дощу. Після обговорення темпів погіршення світлоповертання розмітки з Департаментом транспорту Міннесоти та виробниками матеріалів для розмітки дослідники вибрали значення світлоповертання за умов зволоження на рівні $200 \text{ мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$ для нової дорожньої розмітки. Це значення забезпечить необхідний рівень світлоповертання за умов зволоження $50 \text{ мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$ впродовж усього строку експлуатування розмітки (чотири роки), у разі виконання розмітки довговічними матеріалами.

Світлоповертання розмітки на рівні у $150 \text{ мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$ забезпечувало адекватну видимість для швидкості руху автомобіля 55 миль/год у сухих умовах і 40 миль/год в умовах зволоження зі стандартними вимірюваннями світлоповертання в сухому стані та вимірюваннями для умов зволоження 1 дюйм/год. Це значення має бути мінімальним і зберігатись впродовж усього строку служби розмітки [5].

За останні роки було розроблено низку методик для покращення характеристик розмітки у вологих умовах вночі. Ці методи включають використання матеріалів з покращеними світлоповертальними властивостями за умов зволоження, профільована розмітка, використання більш широких ліній розмітки на шумових смугах [6].

Основна частина

Розглянемо вимоги до світлоповертання розмітки за умов зволоження у різних країнах.

У країнах Європи стандартом, який встановлює вимоги до світлоповертання дорожньої розмітки є EN 1436:2018 [7]. Вимоги до коефіцієнта світлоповертання за умов зволоження та дощу наведені у **табл. 1**.

Таблиця 1

Вимоги до коефіцієнта світлоповертання дорожньої розмітки за умов зволоження та дощу відповідно до EN 1436:2018 [7]

Умови зволоження		Умови дощу	
Клас	Мінімальне значення коефіцієнта світлоповертання, $\text{мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$, не менше ніж	Клас	Мінімальне значення коефіцієнта світлоповертання, $\text{мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$, не менше ніж
RW0	-	RR0	-
RW1	25	RR1	25
RW2	35	RR2	35
RW3	50	RR3	50
RW4	75	RR4	75
RW5	100	RR5	100
RW6	150	RR6	150

Із даних **табл. 1** видно, що вимоги до коефіцієнта світлоповертання можуть бути різними залежно від класу розмітки.

В Австралії діє стандарт AS 4049.4-2016 [8] відповідно до якого встановлені вимоги до високоефективних систем розмітки. До таких систем відносять і фарби, і пластики гарячого нанесення, і попередньо-сформовані вироби, і полімерні стрічки, і пластики холодного нанесення, і каталізатори й інші матеріали.

Вимоги до коефіцієнта світлоповертання за умов зволоження відповідно до AS 4049.4-2016 [8] наведені у **табл. 2**.

Таблиця 2

Вимоги до коефіцієнта світлоповертання дорожньої розмітки за умов зволоження відповідно до AS 4049.4-2016 [8]

Клас	Мінімальне значення коефіцієнта світлоповертання, $\text{мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$, більше ніж		
	Початкове значення	Проміжне значення (у процесі експлуатування)	Остаточне значення (у кінці строку експлуатування)
RW0	80	80	80
RW1	160	130	100
RW2	240	180	120

Вимоги до коефіцієнта світлоповертання можуть бути різними залежно від класу розмітки. Також вимоги для класів RW1 та RW2 послаблюються у процесі експлуатування розмітки.

Період для випробувань вибирають за **табл. 3**.

Таблиця 3

Періоди для випробувань дорожньої розмітки

Клас	Період випробувань						
	Початковий	Проміжний, місяців					Заклучний, місяців
		6	12	24	36	48	
1.1	До відкриття руху	X					12
1.2	До відкриття руху		X				24
1.3	До відкриття руху		X	X			36
1.4	До відкриття руху		X	X	X		48
1.5	До відкриття руху		X	X	X	X	60

Період випробувань залежить від виду матеріалу, яким нанесена розмітка.

У США вимоги до світлоповертання за умов зволоження не стандартизовані, однак департаменти деяких штатів на підставі власних досліджень рекомендують мінімальні значення. Наприклад, вимоги до коефіцієнтів світлоповертання у Техасі наведені у **табл. 4 – 6**.

Таблиця 4

Мінімальні початкові значення коефіцієнтів світлоповертання для пластиків гарячого нанесення та структурних пластиків гарячого нанесення, $\text{мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$

Умови та стандарт на випробування	Білий колір	Жовтий колір
Суха розмітка (ASTM E1710-18 [9])	400	325
Розмітка в умовах дощу (ASTM E2832-12(2017) [10])	150	125

Таблиця 5

Мінімальні початкові значення коефіцієнтів світлоповертання для фарб на рівному покритті, $\text{мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$

Умови та стандарт на випробування	Білий колір	Жовтий колір
Суха розмітка (ASTM E1710-18 [9])	350	275
Розмітка в умовах зволоження (ASTM E2177-20 [11])	350	275
Розмітка в умовах дощу (ASTM E2832-12(2017) [10])	100	75

Таблиця 6

Мінімальні початкові значення коефіцієнтів світлоповертання для фарб на шорсткому покритті, $\text{мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$

Умови та стандарт на випробування	Білий колір	Жовтий колір
Суха розмітка (ASTM E1710-18 [9])	250	200
Розмітка в умовах зволоження (ASTM E2177-20 [11])	250	150 (у напрямку нанесення) 125 (у протилежному напрямку)
Розмітка в умовах дощу (ASTM E2832 [10])	75	75

Вимоги до коефіцієнтів світлоповертання у Джорджії наведені у **табл. 7**.

Таблиця 7

Мінімальні початкові значення коефіцієнтів світлоповертання для матеріалів з підвищеними властивостями світлоповертання в умовах зволоження, $\text{мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$

Розмітка в умовах зволоження (ASTM E2177-20 [11])		Білий колір	Жовтий колір
Фарба	Початкові (впродовж 30 днів)	150	100
	Після 6 місяців	150	100
Пластик гарячого нанесення	Початкові (впродовж 30 днів)	150	125
	Після 6 місяців	150	125
Попередньо-сформовані вироби з пластику	Початкові (впродовж 30 днів)	250	200
	Після 6 місяців	250	200
Полісечовина	Початкові (впродовж 30 днів)	250	200
	Після 6 місяців	250	200

В Україні діють 2 стандарти, які стандартизують вимоги до світлоповертання дорожньої розмітки: ДСТУ EN 1436:2020 [12], який є гарманізованим європейським стандартом та ДСТУ 2587:2021 [13].

У ДСТУ EN 1436:2020 [12] вимоги до коефіцієнта світлоповертання дорожньої розмітки за умов зволоження та дощу аналогічні вимогам розглянутого вище європейського стандарту EN 1436:2018 [7].

Вимоги до коефіцієнта світлоповертання дорожньої розмітки за умов зволоження та дощу відповідно до ДСТУ 2587:2021 [13] наведені у **табл. 8**.

Таблиця 8

Вимоги до коефіцієнта світлоповертання дорожньої розмітки за умов зволоження та дощу відповідно до ДСТУ 2587:2021 [13]

Умови зволоження		Умови дощу	
Клас	Мінімальне значення коефіцієнта світлоповертання, мкд·м ⁻² ·лк ⁻¹ , не менше ніж	Клас	Мінімальне значення коефіцієнта світлоповертання, мкд·м ⁻² ·лк ⁻¹ , не менше ніж
RW0	-	RR0	-
RW1	25	RR1	25
RW2	35	RR2	35
RW3	50	RR3	50
RW4	75	RR4	75

Відповідно до рекомендованої сфери застосування дорожньої розмітки різних класів (табл. 9) ДСТУ 2587:2021 [13]) для розмітки, що влаштована звичайними матеріалами, найвищим класом за коефіцієнтом світлоповертання за умов зволоження є RW2 (35 мкд·м⁻²·лк⁻¹), а за умов дощу взагалі не нормується (клас RR0).

Висновки

Для забезпечення належної видимості дорожньої розмітки в темну пору доби, особливо в умовах зволоження або дощу, доцільно переглянути вимоги до коефіцієнта світлоповертання, встановлені у ДСТУ 2587:2021 [13]. Пропонується гармонізувати ці вимоги з європейськими стандартами, які передбачають вищі класи світлоповертання. Окрім того, доцільно диференціювати вимоги залежно від типу матеріалів, що використовуються для розмітки (фарби, холодні та гарячі пластики, полімерні стрічки тощо). Такий підхід сприятиме підвищенню безпеки дорожнього руху та зменшенню кількості дорожньо-транспортних пригод.

Список літератури

1. Konstandinos Diamandouros, Michael Gatscha. Rainvision: The impact of road markings on driver behavior – wet night visibility. *Transportation Research Procedia*, 14. 2016. P. 4344–4353.
2. 3M Transportation Safety. Wet Retroreflective Pavement Markings. 2019. 13 p.
3. Elizabeth Dunlap Wet Retroreflective Pavement Markings Can Help Prevent Crashes. BETTER ROADS SAFER ROADS. 2020 Texas Department of Transportation. P 5–7.
4. Pike, A., Johnson, K. Identifying Wet Retroreflectivity Levels for Pavement Markings. Local Road Research Board. 2020. URL: <https://mdl.mndot.gov/items/202009TS>.
5. Ronald B. Gibbons, Brian Williams, Benjamin Cottrell. Refinement of Drivers' Visibility Needs during Wet Night Conditions. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. Volume 2272, Issue 12012, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3141/2272-13>.
6. Ala R. Abbas, Priyanka Sarker «Nighttime Visibility of 3M AWP and 3M 380WR ES Durable Tape under Dry, Wet, and Rainy Conditions». Final Report No. 134563 Department of Civil Engineering The University of Akron. Akron, 2012. 99 p.

7. EN 1436:2018 Road marking materials — Road marking. Brussels, 2018. 29 p. (Інформація та документація).
8. AS 4049.4-2016 Paints and related materials. Pavement marking materials. Part 4: High performance pavement marking systems. Sydney. 2016. 50 p. (Інформація та документація).
9. ASTM E1710-18 Standard Test Method for Measurement of Retroreflective Pavement Marking Materials with CEN-Prescribed Geometry Using a Portable Retroreflectometer performance for road users and test methods». United States. 2018. 7 p. (Інформація та документація).
10. ASTM E2832-12(2017) Standard Test Method for Measuring the Coefficient of Retroreflected Luminance of Pavement Markings in a Standard Condition of Continuous Wetting (RL-2). United States. 2017. 13 p. (Інформація та документація).
11. ASTM E2177-20 Standard Test Method for Measuring the Coefficient of Retroreflected Luminance (RL) of Pavement Markings using the Bucket Method in a Condition of Wet Recovery. United States. 2020. 6 p. (Інформація та документація).
12. ДСТУ EN 1436:2020 (EN 1436:2018, IDT) Матеріали дорожньої розмітки. Експлуатаційні властивості матеріалів для розмітки та методи випробувань. Київ. 2021. 24 с. (Інформація та документація).
13. ДСТУ 2587:2021 Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні умови. Київ. 2021. 102 с. (Інформація та документація).

References

1. Konstandinos Diamandouros, Michael Gatscha. Rainvision: The impact of road markings on driver behavior – wet night visibility. *Transportation Research Procedia*, 14. 2016. P. 4344–4353 [in English].
2. 3M Transportation Safety. Wet Retroreflective Pavement Markings. 2019. 13 p. [in English].
3. Elizabeth Dunlap Wet Retroreflective Pavement Markings Can Help Prevent Crashes. BETTER ROADS SAFER ROADS. 2020 Texas Department of Transportation. P. 5–7 [in English].
4. Pike, A., Johnson, K. Identifying Wet Retroreflectivity Levels for Pavement Markings. Local Road Research Board. 2020. URL: <https://mdl.mndot.gov/items/202009TS> [in English].
5. Ronald B. Gibbons, Brian Williams, Benjamin Cottrell. Refinement of Drivers' Visibility Needs during Wet Night Conditions. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. Volume 2272, Issue 12012, 2012. DOI.: <https://doi.org/10.3141/2272-13> [in English].
6. Ala R. Abbas, Priyanka Sarker “Nighttime Visibility of 3M AWP and 3M 380WR ES Durable Tape under Dry, Wet, and Rainy Conditions” Final Report No. 134563 Department of Civil Engineering The University of Akron. Akron, 2012, 99 p. [in English].
7. EN 1436:2018 Road marking materials — Road marking. Brussels, 2018. 29 p. (Information and documentation) [in English].
8. AS 4049.4-2016 Paints and related materials. Pavement marking materials. Part 4: High performance pavement marking systems. Sydney. 2016. 50 p. (Information and documentation) [in English].
9. ASTM E1710-18 Standard Test Method for Measurement of Retroreflective Pavement Marking Materials with CEN-Prescribed Geometry Using a Portable Retroreflectometer performance for road users and test methods». United States. 2018. 7 p. (Information and documentation) [in English].
10. ASTM E2832-12(2017) Standard Test Method for Measuring the Coefficient of Retroreflected Luminance of Pavement Markings in a Standard Condition of Continuous Wetting (RL-2). United States. 2017. 13 p. (Information and documentation) [in English].
11. ASTM E2177-20 Standard Test Method for Measuring the Coefficient of Retroreflected Luminance (RL) of Pavement Markings using the Bucket Method in a Condition of Wet Recovery. United States. 2020. 6 p. (Information and documentation) [in English].
12. State Standard of Ukraine DSTU EN 1436:2020 (EN 1436:2018, IDT) Materialy dorozhnoi rozmitky. Ekspluatatsiini vlastyivosti materialiv dlia rozmitky ta metody vyprobuvan (Road marking

materials. Road marking performance for road users and test methods). Kyiv. 2021. 24 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

13. State Standard of Ukraine DSTU 2587:2021 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Rozmitka dorozhnia. Zahalni tekhnichni umovy (Road safety. Road markings. General Specifications). Kyiv. 2021. 102 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Liudmila Nahrebelna, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-5615-9075>

Tetiana Kostrulyova, <https://orcid.org/0000-0002-9554-1285>

Denis Shpin, <https://orcid.org/0000-0003-0779-5558>

Alina Korchevskaya, <https://orcid.org/0000-0001-8245-9891>

State Enterprise “National Institute for Development Infrastructure” (SE “NIDI”), Kyiv, Ukraine

USE OF REGULATORY DOCUMENTS REGARDING MATERIALS FOR HORIZONTAL ROAD MARKINGS

Abstract

Introduction. Horizontal road marking is an important element of road safety, which provides orientation of road users on the road. Road markings can increase the capacity of the road by more than 20 % and reduce the number of road accidents.

Problem. Road markings must remain clearly visible both during the day and at night, and in adverse weather conditions, such as rain or fog. In satisfactory condition, markings usually provide adequate nighttime visibility on dry surfaces, but their effectiveness is significantly reduced. To improve the light reflection in the dark, microspheres of retroreflective glass are used in the marking. These elements function effectively on dry asphalt, however, in the presence of a water film, light can be partially reflected in the opposite direction, which reduces the brightness of the marking or causes optical distortions. Reduced visibility of markings on wet surfaces is a common problem that affects road safety.

Objective. To analyze the requirements of different countries for road markings on wet surfaces to check the sufficiency to establish compliance with the requirements of DSTU 2587 necessary to ensure the quality of markings.

Materials and Methods. Analysis of regulatory documents of different countries regarding the requirements for road markings on wet surfaces.

Results. The requirements of European countries, Australia, some US states and Ukraine to the retroreflectivity of road markings on wet pavement and in the rain were considered.

Conclusions. In order to ensure sufficient visibility of the markings in the dark in wet and rainy conditions, we propose to bring the requirements for the retroreflectivity coefficient in line with the European ones, as they will improve road safety in Ukraine, which in turn will reduce the occurrence of road accidents.

Keywords: road marking, rain, hot-applied plastic, cold-applied plastic, retroreflectivity, paint.

УДК 656.13

Шапенко Є. М., канд. техн. наук, доц. <https://orcid.org/0000-0003-0937-9400>Гальона І. І., канд. техн. наук, доц. <https://orcid.org/0000-0002-1484-1682>Котова С. О., <https://orcid.org/0000-0002-8276-018X>Семенченко О. В., <https://orcid.org/0000-0002-9004-2575>Білоног О. В., <https://orcid.org/0009-0001-1019-9987>Ярошевський В. В., <https://orcid.org/0009-0005-8487-8025>

Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна

ОЦІНКА ЗОН ВПЛИВУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ МІСТА

Анотація

Вступ. Сучасний розвиток міст супроводжується постійним зростанням обсягу транспортних потоків, що в свою чергу зумовлює необхідність удосконалення транспортної логістики. Важливим аспектом підвищення життя населення, забезпечення мобільності, зниження екологічного забруднення є економічна стабільність та ефективність транспортної системи міста. Транспортна логістика міста є багатокомпонентною системою, що включає в себе планування, координацію та управління рухом усіх видів транспорту, оптимізацію інфраструктури та інтеграцію інноваційних технологій.

Проблематика. Дослідження сучасних підходів визначення ефективності транспортних систем, враховуючи їхню роль у забезпеченні мобільності населення, економічного розвитку та екологічної сталості, дає можливість розробити та впровадити методологічні основи оцінки ефективності цієї системи, що є надзвичайно актуальним у контексті швидкої урбанізації та глобальних тенденцій до сталого розвитку міста.

Встановлено, що на ефективність транспортної логістики міста мають вплив певні фактори, серед яких слід відмітити доступність інфраструктури, надійність транспортних послуг, раціональне використання транспортних ресурсів, можливість системи адаптуватися до відповідних змін у соціально-економічному середовищі, а також ступінь використання сучасних технологій.

Впровадження інноваційних підходів у транспортну логістику міста створить умови для підвищення продуктивності транспортної мережі.

Мета. Метою статті є формування методологічних підходів до оцінки ефективності транспортної логістики міста через аналіз ключових факторів, що впливають на функціонування транспортної системи.

Матеріали. У роботі використано аналітичні методи для вивчення чинників ефективності транспортної логістики, а також розглянуто приклади інтеграції інноваційних технологій у транспортну інфраструктуру міст.

Результати дослідження можуть бути використані для розробки стратегій розвитку міської логістики, спрямованих на підвищення її ефективності та зниження негативного впливу на навколишнє середовище. А також на обґрунтування рекомендацій для розвитку інтелектуальних транспортних систем, що забезпечуватимуть стале функціонування міст у довгостроковій перспективі.

Висновки. Ефективна транспортна логістика є ключовим чинником сталого функціонування міста. Впровадження інновацій та оптимізація управління транспортною системою сприятимуть підвищенню її продуктивності, зменшенню екологічного навантаження та забезпеченню комфортного середовища для мешканців.

Ключові слова: індекс логістичної стійкості, інтелектуальні транспортні системи, логістика міста, сталий розвиток транспорт, транспортно-логістична система, транспортний процес.

Вступ

Транспортна логістика міста — це багатогранний і складний процес, що охоплює планування, координацію та управління рухом транспортних засобів у межах урбанізованих територій. Вона включає організацію руху приватного та громадського транспорту, вантажних перевезень, управління паркуванням, а також розвиток транспортної інфраструктури, інтеграцію цифрових технологій та оптимізацію інших пов'язаних аспектів. Ефективна транспортна логістика є ключовим елементом міського розвитку, оскільки вона сприяє економічному зростанню, підвищенню якості життя мешканців та мінімізації екологічних ризиків, таких як забруднення повітря і шумовий вплив.

Ефективність міської транспортної логістики залежить від низки факторів, зокрема доступності транспорту, його надійності, економічності та екологічної стійкості. Особливу роль відіграє здатність транспортної системи адаптуватися до зростаючих потреб мешканців і бізнесу, що є критичним для забезпечення сталого розвитку міста. Вирішальними є також інтеграція інноваційних рішень, таких як автоматизовані системи управління рухом, розумні паркувальні системи та цифрові платформи для планування маршрутів.

Сучасні стратегії оптимізації міської транспортної логістики включають розвиток масового громадського транспорту, інтеграцію інфраструктури для велосипедистів і пішоходів, створення зон з низьким рівнем викидів, а також впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS). Наприклад, системи моніторингу та аналізу транспортних потоків із використанням штучного інтелекту дозволяють ефективніше розподіляти ресурси, скорочувати затори та підвищувати загальну пропускну спроможність транспортної мережі.

Транспортна логістика міста не лише впливає на повсякденну мобільність громадян, але й стає фундаментальною складовою сталого розвитку мегаполісів, забезпечуючи баланс між економічною вигодою, соціальною доступністю та екологічною відповідальністю.

Виклад основного матеріалу дослідження і отриманих результатів

Ефективна логістика є ключовим чинником підвищення конкурентоспроможності країн у глобальному масштабі. Для України вона має особливе значення, адже міжнародна торгівля займає вагомий частку в структурі її ВВП. Географічне розташування України на перехресті основних транспортних коридорів між Європою та Азією, а також між Скандинавією та Середземноморським регіоном, відкриває значні можливості для розвитку транзитних послуг. Розбудова транспортного сектору є важливим елементом виконання Угоди про асоціацію з ЄС.

Ефективна транспортна логістика виступає ключовим чинником підвищення конкурентоспроможності країн на глобальному рівні. Для України логістика набуває особливого значення, враховуючи її географічне розташування на перетині міжнародних транспортних шляхів, що з'єднують Європу з Азією та скандинавські країни з Середземноморським регіоном. Це створює унікальні умови для розвитку транзитних послуг. Крім того, транспортний сектор України є важливим компонентом виконання Угоди про асоціацію з Європейським Союзом, сприяючи інтеграції в європейський транспортний простір.

Серед основних причин, які обумовлюють необхідність впровадження концепції міської транспортної логістики під час формування стратегії розвитку міста, можна виділити наступне [1]:

- хаотичне розміщення значної кількості пунктів навантаження/розвантаження матеріальних ресурсів у різних частинах міста, що створює труднощі в їхньому обслуговуванні;
- нерационально складені маршрути переміщення матеріальних ресурсів, що спричиняє часті зупинки та рушання з місця. Це, у свою чергу, призводить до підвищення витрат пального та зростання рівня викидів шкідливих речовин;
- неоптимальне використання транспорту, що призводить до виконання рейсів містом із частковим або недостатнім завантаженням, що відповідно збільшує витрати на транспортування;
- експлуатація застарілого транспорту, зокрема великовагових дизельних автомобілів, які не відповідають сучасним екологічним стандартам;
- перевезення матеріальних ресурсів у години пікового навантаження на дорожню мережу, що посилює затори й знижує ефективність руху.

У контексті вирішення цих проблем концепція міської логістики стала ключовим інструментом для підвищення ефективності управління потоками в урбанізованих середовищах. Її суть полягає у

формуванні єдиної логістичної системи міста з особливим акцентом на транспортну інфраструктуру, яка забезпечує перевезення людей і товарів. Основною метою є забезпечення ефективної, економічно вигідної та екологічно безпечної координації всіх потоків у місті.

Зростання урбанізації та збільшення навантаження на міські ресурси зумовлюють поширення концепції міської логістики. Сучасні підходи передбачають впровадження інноваційних технологій, таких як використання електромобілів, оптимізація логістичних маршрутів за допомогою систем штучного інтелекту, а також створення «зелених коридорів» для екологічно чистого транспорту. Ці заходи сприяють вирішенню проблем перевезень у містах, зменшують негативний вплив на довкілля та підвищують якість життя міських жителів.

Як відзначають науковці[2], ефективність транспортної логістики є важливим елементом міського управління, що значною мірою впливає на функціонування міських транспортних систем та конкурентоспроможність міста. Вона відіграє вирішальну роль у забезпеченні своєчасного та економічно вигідного переміщення вантажних та пасажирських потоків, а також надання комунальних послуг. Розвиток та запровадження технологій, зокрема, інтелектуальних транспортних систем [3] відкривають нові можливості для покращення ефективності міської транспортної логістики за допомогою автоматизації, аналізу даних у реальному часі та впровадження штучного інтелекту.

На думку фахівців [4], ефективна транспортна логістика сприяє зниженню транспортних витрат, підвищенню задоволеності мешканців і покращенню екологічної ситуації у містах завдяки раціональній організації маршрутів і зменшенню шкідливих викидів. Це, своєю чергою, підвищує конкурентоспроможність міста як для бізнесу, так і для життя, забезпечуючи швидший доступ до послуг і товарів [5].

Водночас, вчені [6] відмічають, що існує низка викликів, з якими постійно стикається місто та які впливають на ефективність міської транспортної логістики. Серед найголовніших слід відмітити затримки у переміщення логістичних потоків через затори, стан доріг, погодні умови чи недостатню логістичну інфраструктуру. є ключовими проблемами, які можуть спричиняти значні фінансові та соціальні втрати. Також важливими чинниками [7] залишаються нераціональна маршрутизація, слабка або повністю відсутня комунікація між задіяними у перевезеннях сторонами та неможливість інтегрованих систем відстеження транспорту в реальному часі.

Додаткові виклики створює недостатня прозорість транспортно-логістичної системи, що призводить до нестачі актуальної інформації про затримки або стан перевезень, а також труднощі в управлінні запасами чи ресурсами, необхідними для ефективного функціонування міської транспортної логістики [8]. В цей самий час, як відзначають фахівці [9], недостатня гнучкість транспортно-логістичної системи міста може обмежувати її здатність адаптуватися до змін у попиту або при настанні форс-мажорних обставин.

Для подолання цих викликів важливо провести оцінку зон впливу на ефективність міської транспортної логістики. Це дозволить визначити слабкі місця транспортно-логістичної системи міста та впроваджувати інноваційні рішення для підвищення її ефективності, зокрема через інтеграцію сучасних технологій і покращення інфраструктури.

Таким чином, ефективність транспортної логістики міста є важливим фактором забезпечення сталого розвитку урбаністичного середовища та підвищення якості життя населення.

У Європі та США за останні двадцять років сформувався новий підхід до проектування, відомий як екологічно раціональне проектування (Sustainable Design). Цей напрям, що став популярним у світі, є складовою загальної концепції сталого розвитку (Sustainable Development). Термін «сталий розвиток» вперше з'явився у 1987 році в доповіді Міжнародної комісії з навколишнього середовища та розвитку. Тоді на засіданні Генеральної Асамблеї ООН зазначили, що стійкий розвиток означає задоволення потреб нинішнього покоління без загрози здатності майбутніх поколінь забезпечувати свої потреби.

Однак до 1992 року прогрес у забезпеченні сталого розвитку залишався незначним, з огляду на поглиблення бідності та загострення екологічних проблем. Через 20 років, у 2012 році, на саміті «Ріо+20» світові лідери знову зібралися, щоб підтвердити політичну підтримку сталого розвитку, оцінити досягнутий прогрес, виявити прогалини у виконанні зобов'язань і розв'язати нові виклики.

Сталий розвиток логістики міста є частиною концепції сталого міського розвитку, яка спрямована на зниження впливу транспортних систем на довкілля, покращення якості життя мешканців і забезпечення ефективності економічної діяльності. У міській логістиці основна увага приділяється створенню збалансованої транспортної інфраструктури, раціональному використанню ресурсів і зменшенню екологічного навантаження.

Рішення у сфері міської логістики мають базуватися на принципах сталого розвитку. Це означає стратегічне бачення міської логістики як складної, багатогранної системи, яка враховує економічні, екологічні та соціальні фактори. Такий підхід дозволяє ефективно балансувати між розвитком транспортної інфраструктури, захистом навколишнього середовища та забезпеченням високої якості життя мешканців.

Транспортна логістика в контексті сталого розвитку міста відіграє ключову роль у раціональному управлінні ресурсами й енергією. Її метою є зниження еколого-економічного збитку та стимулювання інноваційного економічного зростання. Основні завдання такої логістики включають:

- скорочення втрат через неефективність логістичних процесів;
- оптимізацію використання енергетичних, матеріальних і сировинних ресурсів;
- підвищення ефективності використання наявних виробничих, складських і транспортних потужностей;
- зменшення екологічного впливу;
- впровадження інновацій у логістичні процеси.

Загалом логістика демонструє значний потенціал у здійсненні екологічного контролю транспортних систем, утилізації продукції (реверсивна логістика), мінімізації забруднень, зменшенні використання пакувальних матеріалів, а також у реалізації заходів енергозбереження й раціонального використання ресурсів.

Поняття «сталість» охоплює широкий спектр аспектів, які стосуються економічного, соціального та екологічного розвитку [10]. Воно не обмежується лише екологічними проблемами, а спрямоване на забезпечення гармонійного балансу між ефективністю, відповідальністю та довгостроковою перспективою в усіх сферах життя. У цьому контексті сталість передбачає комплексний підхід, який враховує всі три виміри (**рис. 1**).

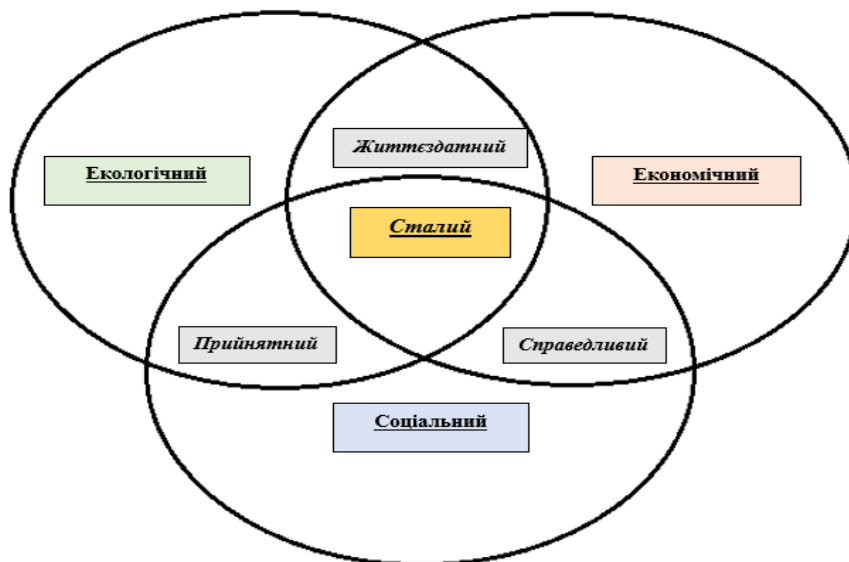


Рисунок 1 — Зони впливу на сталий розвиток транспортної логістики міста

Економічна сталість зосереджена на забезпеченні фінансової стабільності, яка включає зусилля для досягнення фінансової стійкості державного сектора та економічної ефективності логістичних процесів у державному й приватному секторах. Економічна стабільність є ключовою для підтримки

сталого розвитку, адже без неї неможливо впроваджувати інноваційні рішення чи підтримувати якість послуг.

Соціальна сталість акцентує увагу на підвищенні безпеки та якості життя. Це стосується питань охорони праці, справедливої винагороди за роботу, зменшення заторів і транспортних затримок, а також покращення безпеки дорожнього руху. В Україні цей вимір є особливо актуальним, оскільки рівень безпеки у транспортному секторі значно поступається європейським стандартам. За даними Світового банку та ВООЗ, дорожньо-транспортні пригоди в Україні щороку завдають збитків у розмірі 4-5 мільярдів доларів США через високий рівень смертності та травматизму.

Екологічна сталість спрямована на мінімізацію негативного впливу людської діяльності на довкілля. У сфері транспорту та логістики це включає зменшення викидів шкідливих речовин, впровадження енергоефективних технологій та захист природних ресурсів. Такі підходи сприяють не лише збереженню екосистем, а й покращенню умов життя для людей.

Ефективність міської логістики безпосередньо залежить від гармонійного поєднання економічної, соціальної та екологічної стійкості. Забезпечення фінансової стабільності дозволяє інвестувати в інноваційні логістичні рішення, що сприяють оптимізації транспортних потоків і підвищенню економічної ефективності. Соціальна складова підкреслює важливість покращення безпеки та якості життя, зменшення заторів і зниження аварійності, що особливо актуально для України з огляду на високі втрати через ДТП. Водночас екологічна сталість передбачає впровадження технологій, які зменшують негативний вплив транспорту на довкілля, сприяючи як збереженню екосистем, так і створенню комфортних умов для жителів. Таким чином, інтеграція цих трьох компонентів є ключем до сталого розвитку міської логістики.

Сталий розвиток транспортної логістики, в свою чергу, базується на чотирьох ключових напрямках, визначених у Національній транспортній стратегії України до 2030 року [10]:

- формування конкурентоспроможної та ефективної транспортної системи шляхом модернізації транспортної інфраструктури, оптимізації логістичних ланцюгів та впровадження прозорих і зрозумілих правил для учасників ринку. Це дозволить підвищити ефективність вантажних і пасажирських перевезень, зменшити витрати на транспортування та покращити якість послуг;

- впровадження інновацій та стратегічних інвестицій у транспортному секторі зокрема через цифровізацію процесів, інтеграцію інтелектуальних транспортних систем (ІТС) та впровадження автоматизованих систем управління рухом. Такі рішення сприятимуть зменшенню заторів, підвищенню енергоефективності та конкурентоспроможності на міжнародному рівні;

- забезпечення соціально безпечного, екологічно чистого та енергоефективного транспорту що включає модернізацію парку транспортних засобів, використання альтернативних видів палива, розвиток громадського транспорту та велосипедної інфраструктури. Особлива увага приділяється покращенню безпеки дорожнього руху та зниженню аварійності;

- досягнення безперешкодної мобільності та регіональної інтеграції що включає модернізацію парку транспортних засобів, використання альтернативних видів палива, розвиток громадського транспорту та велосипедної інфраструктури. Особлива увага приділяється покращенню безпеки дорожнього руху та зниженню аварійності.

Розвиток транспортної логістики міста охоплює різні аспекти, які часто вступають у взаємні протиріччя, зокрема економічний (фіскальна політика, рентабельність операторів), соціальний (безпека руху, охорона праці) та екологічний (зменшення викидів). Для України соціальний аспект є особливо важливим через низький рівень безпеки у транспортному секторі порівняно з іншими європейськими країнами.

Для підвищення ефективності транспортної логістики міста, на думку вчених [11] необхідно застосовувати індикатори наступні показники ефективності, такі як час, якість, гнучкість та вартість. Аналіз цих показників дозволяє визначити слабкі місця логістичної системи, впровадити інноваційні рішення та підвищити загальну продуктивність транспортної інфраструктури міста.

Таким чином, ефективність транспортної логістики є невід’ємною частиною сталого розвитку міського середовища та забезпечення високої якості життя для його мешканців (табл. 1).

Таблиця 1

Показники ефективності логістики міста

Показники	Індикатори
Час [11, 12, 13]	• терміни доставки; • час виконання циклу замовлення;
Якість [11, 12, 13]	• якість наданих послуг; • частка виконаних замовлень; • зменшення чи відсутність відходів; • кількість модифікацій, прийнятих до замовлення; • обробка спеціальних замовлень; • врахування вимог клієнтів;
Гнучкість [12, 13]	• реагування транспортно-логістичної системи міста на зміни навколишнього середовища; • координація логістичних потоків міста;
Вартість [12, 13]	• витрати на задоволення вимог замовника; • вартість за «філософією постійного вдосконалення»; • вартість страхових запасів; • скорочення витрат на транспортування, зберігання, обробку та управління запасами; • витрати на імплементацію ІТС в логістику

Міська транспортна логістика повинна спиратися на принципи стійкого розвитку, які передбачають розгляд логістичних систем як багатофакторних і динамічних структур, що потребують оцінки з економічної, екологічної та соціальної перспектив. Стратегічні рішення у цій сфері повинні базуватися на інтегрованих підходах, здатних врахувати весь спектр факторів і показників.

Логістична стійкість міста визначає його здатність адаптуватися до змінних умов, зберігаючи ефективність функціонування транспортної системи та забезпечуючи високий рівень задоволення потреб мешканців. Це поняття охоплює широкий спектр факторів, включаючи якість транспортної інфраструктури, доступність і надійність логістичних послуг, стійкість до кризових ситуацій, а також екологічну безпеку перевезень.

Логістична стійкість міста сприяє зниженню витрат на перевезення, мінімізації екологічного впливу, оптимізації використання ресурсів і підвищенню якості життя. Це забезпечує сталість логістичної системи навіть у кризових ситуаціях, таких як стихійні лиха, пандемії чи економічні потрясіння, що робить індекс логістичної стійкості ключовим показником ефективності управління міською логістикою.

Впровадження «розумних» технологій, таких як автоматизовані системи управління потоками, розвиток інфраструктури для електромобілів і екологічно чистих видів транспорту, стають критично важливими для досягнення сталого розвитку.

Для кількісної оцінки ефективності транспортних систем міста використовується індекс стійкості логістики (ІСЛ), який є багатокритеріальним інструментом аналізу. ІСЛ дозволяє інтегровано оцінювати ефективність транспортної системи, враховуючи економічні, екологічні та соціальні аспекти. Такий підхід сприяє оптимальному вибору стратегій розвитку або функціонування міської логістики, дозволяючи комплексно оцінити переваги, недоліки, витрати та потенційні вигоди кожного сценарію.

Отже, стійкість транспортних систем міста є необхідною умовою для формування конкурентоспроможної та ефективної логістики, яка забезпечує інтеграцію України у світовий транспортний простір та сприяє соціально-економічному розвитку.

Розглянемо зони впливу, які мають безпосередній вплив та формують ІЛС (табл. 2).

Таблиця 2

Зони впливу, що формують на індекс логістичної стійкості

Зона	Вплив на ІЛС
Економіка та енергетика	Енергетична сфера є ключовою складовою, що впливає на економічну стабільність і розвиток міської логістики. Енергодоступність, попит на енергоносії, їх ціна та обсяги споживання визначають спосіб життя мешканців міста, рівень їхньої мобільності, вибір транспортних засобів і характер замовлень на перевезення вантажів. У сучасних умовах надмірна залежність від невідновлюваних джерел енергії загрожує виснаженням ресурсів і зростанням витрат на енергоносії. Для досягнення стійкості необхідно впроваджувати енергоощадні технології та переходити до використання відновлюваних джерел енергії. Крім того, до цієї зони впливу належать прямі витрати, пов'язані з організацією та реалізацією проєктів міської логістики. Рациональне управління фінансовими ресурсами сприяє економічній ефективності логістичних систем.
Екологія	Збереження навколишнього середовища є критично важливим аспектом стійкої логістики. Міська логістика впливає на природу через викиди шкідливих речовин, погіршення якості повітря, підвищення рівня шуму та деградацію екосистем. Стратегічні рішення повинні зосереджуватися на мінімізації екологічних наслідків, впровадженні «зелених» технологій і розвитку екологічно чистого транспорту. Лише таким чином можна забезпечити збереження природних ресурсів для майбутніх поколінь.
Транспортне обслуговування	Транспорт і мобільність формують основу ефективної логістики. Підвищення якості перевезень вантажів і мобільності населення залежить від доступності, привабливості та безпеки транспортної інфраструктури. Для цього необхідно впроваджувати сучасні інтелектуальні транспортні системи, що дозволяють оптимізувати логістичні процеси, забезпечувати моніторинг усіх етапів перевезень та інтегрувати різні види транспорту.
Соціум	Соціальний аспект логістики визначається рівнем взаємодії між різними групами населення. Сприйняття логістичних рішень мешканцями міста має вирішальне значення для їх успішного впровадження. Сучасна логістика повинна забезпечувати підвищення якості життя через розвиток зручної та безпечної транспортної інфраструктури, що враховує потреби громади. Участь громадян у прийнятті рішень щодо логістичних проєктів сприяє їхній ефективності та зменшенню конфліктів між мешканцями й міською владою.
Політика	Ефективне функціонування міської логістики залежить від підтримки з боку державних інституцій. Політична влада має розробляти та впроваджувати нормативно-правові акти, які врівноважують економічні, екологічні та соціальні інтереси. Важливим завданням є створення умов для реалізації «зелених» проєктів, розвиток інфраструктури та координація зусиль між різними рівнями управління. Політична підтримка також включає стимулювання інновацій у транспортній сфері та забезпечення соціальної справедливості.

Оцінка кожної зони впливу дозволяє визначити ключові пріоритети та напрями розвитку транспортної логістики міста. Використання індексу логістичної стійкості як інтеграційного інструменту забезпечує можливість кількісного аналізу ефективності міських логістичних систем з урахуванням економічних, екологічних, соціальних, транспортних і політичних факторів. Такий підхід сприяє ухваленню стратегічних рішень, що забезпечують довгострокову стійкість транспортної логістики міста та підвищення якості життя населення.

Висновки

У статті обґрунтовано важливість транспортної логістики міста як ключового чинника підвищення конкурентоспроможності країни на глобальному рівні. Для України, враховуючи її стратегічне географічне розташування, розвиток транспортної логістики міст є не лише економічною, але й соціально-екологічною необхідністю. Стійкий розвиток транспортних систем передбачає інтеграцію економічних, екологічних, соціальних, транспортних і політичних аспектів, що дозволяє забезпечити гармонійний баланс між ефективністю, відповідальністю та довгостроковою перспективою.

Застосування індексу логістичної стійкості запропоновано як інструмент для комплексної оцінки ефективності транспортних систем, зокрема у міських умовах. Використання ІЛС дозволяє врахувати багатовимірний вплив різних факторів на стійкість логістики та оптимізувати стратегічні рішення.

У подальших дослідженнях доцільно провести розроблення методології впровадження інноваційних підходів до управління транспортною логістикою в умовах України, а також на адаптації кращих міжнародних практик до національних реалій. Це сприятиме інтеграції України у світовий транспортний простір і забезпечить сталий соціально-економічний розвиток.

Список літератури

1. Герасимчук З. В. Інституційне забезпечення «зеленої логістики» в місті. *Актуальні проблеми економіки*. 2012. № 11(137). С. 161–168.
2. Li, S., Ragu-Nathan, T. S., Ragu-Nathan, B., & Subba Rao, S. (2018). Impact of information technology capability on supply chain agility and firm performance: An empirical study. *International Journal of Production Economics*, 200, 28–38.
3. Bolumole, Y. A., Frankel, R., Nasiri, M., & Simchi-Levi, D. (2021). The impact of emerging technologies on logistics and supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 42(1), 1–13.
4. Mangan, J., Lalwani, C., & Butcher, T. (2016). *Global logistics and supply chain management* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
5. Nguyen, T. N., Nguyen, V. H., Nguyen, H. T. M., & Tran, M. H. (2020). The relationship between logistics performance and competitive advantage: Evidence from Vietnamese SMEs. *Journal of Asian Business and Economic Studies*, 27(3), 307–322.
6. Christopher, M. (2016). *Logistics and supply chain management* (5th ed.). Pearson Education Limited.
7. Zhang, Y., Cheng, J., Wang, Q., & Wang, J. (2019). Research on logistics performance evaluation based on the integrated grey entropy method. *Symmetry*, 11(3), 419.
8. Wang, H., & Yan, H. (2019). A study on the relationship between logistics information sharing and logistics service performance. *Information*, 10(2), 52.
9. Cao, Y., Zhang, Q., Zhou, G., & Wang, Y. (2018). The impact of flexibility on firm performance in the context of logistics outsourcing. *Journal of Business Research*, 85, 348–357.
10. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> (дата звернення: 10.02.2025).

11. Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2014). The handbook of logistics and distribution management (5th ed.). Kogan Page Publishers.
12. Mageto, J., Prinsloo, G., & Luke, R. (2020). Determinants of logistics outsourcing performance among small and medium enterprises. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 35(4), 541–565.
13. Azevedo, S., & Ferreira, J. J. M. (2007). A model of logistics performance measurement: A structural equation modelling approach. *International Journal of Operations and Quantitative Management*, 13(2), 31–52.

References

1. Herasymchuk Z. V. Instytutsiine zabezpechennia “zelenoi lohistyky” v misti (Institutional provision of “green logistics” in the city) Aktualni problemy ekonomiky. 2012. No. 11(137). P. 161–168 [in Ukrainian].
2. Li, S., Ragu-Nathan, T. S., Ragu-Nathan, B., & Subba Rao, S. (2018). Impact of information technology capability on supply chain agility and firm performance: An empirical study. *International Journal of Production Economics*, 200, 28–38 [in English].
3. Bolumole, Y. A., Frankel, R., Nasiri, M., & Simchi-Levi, D. (2021). The impact of emerging technologies on logistics and supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 42(1), 1–13 [in English].
4. Mangan, J., Lalwani, C., & Butcher, T. (2016). *Global logistics and supply chain management* (3rd ed.). John Wiley & Sons [in English].
5. Nguyen, T. N., Nguyen, V. H., Nguyen, H. T. M., & Tran, M. H. (2020). The relationship between logistics performance and competitive advantage: Evidence from Vietnamese SMEs. *Journal of Asian Business and Economic Studies*, 27(3), 307–322 [in English].
6. Christopher, M. (2016). *Logistics and supply chain management* (5th ed.). Pearson Education Limited [in English].
7. Zhang, Y., Cheng, J., Wang, Q., & Wang, J. (2019). Research on logistics performance evaluation based on the integrated grey entropy method. *Symmetry*, 11(3), 419 [in English].
8. Wang, H., & Yan, H. (2019). A study on the relationship between logistics information sharing and logistics service performance. *Information*, 10(2), 52 [in English].
9. Cao, Y., Zhang, Q., Zhou, G., & Wang, Y. (2018). The impact of flexibility on firm performance in the context of logistics outsourcing. *Journal of Business Research*, 85, 348–357 [in English].
10. Natsionalna transportna stratehiia Ukrainy na period do 2030 roku (The National Transport Strategy of Ukraine for the period until 2030) skhvalena rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30 travnia 2018 p. No. 430. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> [in Ukrainian].
11. Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2014). The handbook of logistics and distribution management (5th ed.). Kogan Page Publishers [in English].
12. Mageto, J., Prinsloo, G., & Luke, R. (2020). Determinants of logistics outsourcing performance among small and medium enterprises. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 35(4), 541–565 [in English].
13. Azevedo, S., & Ferreira, J. J. M. (2007). A model of logistics performance measurement: A structural equation modelling approach. *International Journal of Operations and Quantitative Management*, 13(2), 31–52 [in English].

Yevheniia Shapenko, Ph.D., Assoc. Prof., <https://orcid.org/0000-0003-0937-9400>

Inesa Halona, Ph.D., Assoc. Prof., <https://orcid.org/0000-0002-1484-1682>

Svitlana Kotova, <https://orcid.org/0000-0002-8276-018X>

Oksana Semenchenko, <https://orcid.org/0000-0002-9004-2575>

Oleksandr Bilonoh, <https://orcid.org/0009-0001-1019-9987>

Valeriy Yaroshevskyy, <https://orcid.org/0009-0005-8487-8025>

National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

ASSESSMENT OF ZONES OF INFLUENCE ON THE EFFICIENCY OF CITY TRANSPORT LOGISTICS

Abstract

Introduction. The modern development of cities is accompanied by a constant increase in transport flows, which, in turn, necessitates the improvement of transport logistics. An important aspect of improving the quality of life, ensuring mobility, and reducing environmental pollution is the economic stability and efficiency of the city's transport system. Urban transport logistics is a multi-component system that includes planning, coordination, and management of all modes of transport, infrastructure optimization, and integration of innovative technologies.

Problem Statement. Studying modern approaches to assessing the efficiency of transport systems—considering their role in ensuring population mobility, economic development, and environmental sustainability—enables the development and implementation of methodological foundations for evaluating this efficiency. This is particularly relevant in the context of rapid urbanization and global trends toward sustainable urban development.

It has been found that the efficiency of urban transport logistics is influenced by several factors, including infrastructure accessibility, reliability of transport services, rational use of transport resources, adaptability to socio-economic changes, and the degree of implementation of modern technologies.

The integration of innovative approaches into urban transport logistics creates the conditions for increasing the productivity of the transport network.

Objective. The purpose of this article is to develop methodological approaches for assessing the efficiency of urban transport logistics by analyzing key factors affecting the functioning of the transport system.

Materials. The study uses analytical methods to examine the factors influencing the efficiency of urban transport logistics and considers examples of integrating innovative technologies into urban transport infrastructure.

Results. The results of the study can be used to develop urban logistics development strategies aimed at improving efficiency and reducing environmental impact, as well as to justify recommendations for the development of intelligent transport systems that will ensure the sustainable functioning of cities in the long term.

Conclusions. Efficient transport logistics is a key factor in the sustainable functioning of a city. The implementation of innovations and the optimization of transport system management will contribute to increased productivity, reduced environmental burden, and the creation of a comfortable environment for residents.

Keywords: logistics sustainability index, intelligent transport systems, urban logistics, sustainable development, transport, transport and logistics system, transport process.

УДК 658.3:629.02

Овчар Д. О., <https://orcid.org/0000-0002-9359-2206>

Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна

КЛЮЧОВІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ ВОДІЇВ У ПІДПРИЄМСТВАХ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОВАЙДЕРІВ В УМОВАХ ЕКОНОМІЧНОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ ТА КРИЗОВИХ СИТУАЦІЙ

Анотація

Вступ. У сучасних умовах логістичні провайдери змушені адаптуватися до нових реалій, запроваджуючи сучасні методи управління персоналом, спрямовані на утримання працівників, підвищення їхньої мотивації та продуктивності. Важливими аспектами стає розроблення програм професійного розвитку водіїв, покращення умов праці, запровадження гнучких графіків і підвищення рівня соціального забезпечення. Дослідження основних аспектів управління персоналом водіїв у кризових умовах є необхідним для розроблення ефективних стратегій збереження кадрового потенціалу та забезпечення стійкості логістичних провайдерів в умовах нестабільності.

Проблематика. Логістична галузь України опинилася в центрі серйозних викликів, спричинених сучасними кризовими умовами, що впливають на функціонування бізнесу та управління персоналом. Воєнний стан, мобілізація, значна міграція населення та інші фактори суттєво вплинули на кадровий потенціал підприємств. Дефіцит водіїв вантажного та пасажирського транспорту, який спостерігається не лише в Україні, а й у розвинених країнах, зумовлює необхідність пошуку ефективних підходів до вдосконалення процесу управління персоналом водіїв у підприємствах логістичних провайдерів за умов кризових ситуацій.

Мета. Аналіз основних факторів, що впливають на ефективність управління персоналом водіїв у кризових умовах, виявити ключові проблеми та запропонувати методичні підходи щодо вдосконалення цих процесів, що дозволяють зберігати високу продуктивність і знижувати плинність водіїв в умовах нестабільної економіки.

Матеріали та методи. У процесі написання статті було використано комплексний підхід до аналізу проблем управління персоналом в Україні, зокрема зосереджено увагу на управлінні водіями. Основними джерелами інформації стали наукові публікації, присвячені методам управління персоналом, стратегічному плануванню та кадровій політиці як у логістиці так і в інших сферах. Для досягнення поставлених цілей використовувалися такі методи дослідження: метод аналізу та синтезу (застосовувався для узагальнення існуючих теоретичних підходів до управління персоналом, виділення ключових проблем та їх причинно-наслідкових зв'язків); порівняльний метод (дозволив зіставити різні підходи до управління персоналом у логістичних компаніях та оцінити їхню ефективність); метод систематизації (сприяв класифікації основних проблем управління персоналом водіїв за критеріями, які враховують індивідуальні характеристики працівників, особливості підприємства та зовнішні фактори тощо); графічний і табличний методи (використано для наочного відображення причинно-наслідкових зв'язків).

Застосування цих методів дало змогу сформулювати комплексне бачення проблематики управління персоналом водіїв у підприємствах логістичних провайдерів і розробити рекомендації щодо покращення кадрової політики в умовах сучасних викликів.

Результати. Дослідження може бути використане для розроблення рекомендацій щодо удосконалення управлінських процесів на підприємствах логістичних провайдерів, що дозволить ефективно адаптуватися до економічної нестабільності та кризових ситуацій.

Висновок. У роботі визначено, що в умовах економічної нестабільності та кризових ситуацій значно зростає важливість індивідуалізованого підходу до управління персоналом водіїв, що включає врахування таких чинників, як вікові групи, професійний досвід, мотиваційні потреби та

психологічні характеристики працівників. Особлива увага приділена розробленню індивідуальних стратегій мотивації та підтримки, що сприяє зниженню плинності кадрів і підвищенню рівня задоволеності працею.

Ключові слова: кадрова міграція, кризові ситуації, логістичний провайдер, мотивація, плинність кадрів, управління персоналом водіїв.

Вступ

Логістична галузь опинилася в епіцентрі випробувань, спричинених повномасштабною війною: мобілізація, міграція, трансформація ринкових потреб, знищення підприємств і складів – це лише частина викликів, з якими зіткнувся бізнес сьогодні [1].

Однією з глобальних проблем, яка викликана війною в Україні, є нестача кадрів на внутрішньому ринку. На даний час в нашій країні спостерігається дефіцит працездатного населення, частка якого оцінюється у 30 % [2]. До прикладу, в сфері вантажних автомобільних перевезень нестача водіїв сягає 25 % потреби в них, що в цифрах складає близько 30 тис. Частку дефіциту водіїв у сфері громадського пасажирського транспорту оцінюють в 30 %, що в цифрах складає близько 6 тис. необхідних галузі фахівців [3].

Подібна проблема спостерігається також у розвинених країнах, зокрема в Європейському Союзі та Сполучених Штатах Америки, де дефіцит кваліфікованих водіїв вантажного та пасажирського транспорту є суттєвим викликом для транспортної системи.

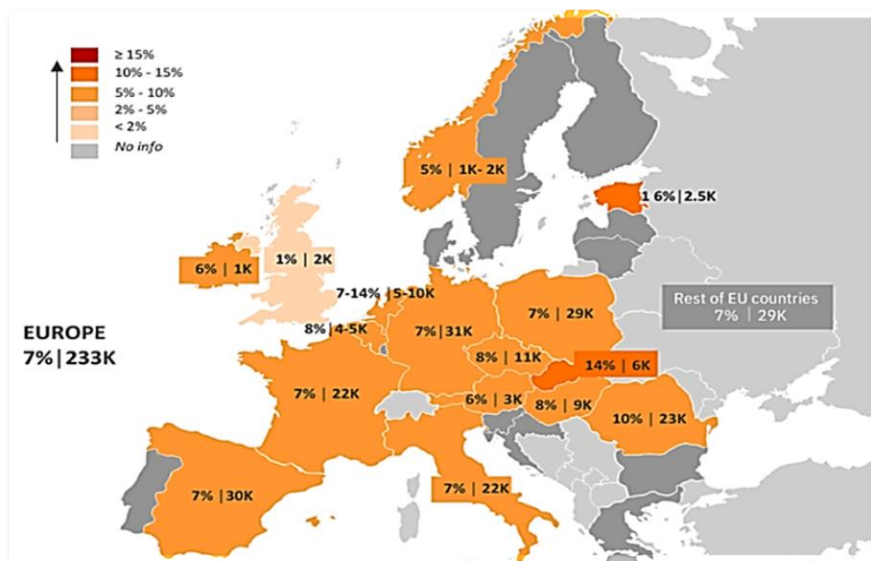


Рисунок 1 — Кількість вакантних посад водіїв вантажівок у 2023 р. % [4]

Дослідження, проведене Descartes Systems Group та дослідницьким інститутом Sapio за участю 1000 осіб, які приймають рішення в сфері логістики, з 9 європейських країн, а також Канади та США, показало, що 76 % логістичних провайдерів страждають від нестачі робочої сили. Вибірка включала 150 керівників ланцюгів постачання, а також персонал з виробництва, розподілу, логістики та транспорту. Виявилося, що транспорт найбільше постраждав. Це також стосується професій кваліфікованих фізичних осіб, таких як водії вантажівок (**рис. 1**) [4].

У новому звіті International Road Transport Union про нестачу водіїв вантажівок у Європі виявлено, що більше половини операторів не можуть розширити свій бізнес через нестачу водіїв. Інші наслідки дефіциту включають зниження продуктивності для майже 50 % компаній і падіння доходу для 39 % [5].

В ЄС, Норвегії та Великобританії разом бракує понад 233 000 водіїв вантажівок. За прогнозами, до 2028 року ця кількість перевищить 745 000 через відставку водіїв, якщо не буде вжито відповідних превентивних заходів [5].

Система управління персоналом водіїв у підприємствах логістичних провайдерів потребує постійного вдосконалення для формування організаційного процесу, спрямованого на збереження та раціональне використання людського потенціалу, що є ключовим для стабільного функціонування компанії. Ефективне управління персоналом водіїв сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємства, створенню комфортних умов праці та забезпеченню високої мотивації працівників, навіть в умовах воєнного стану, тобто невизначеності [6].

На цьому тлі актуальним стає вивчення основних проблем управління персоналом водіїв у підприємствах логістичних провайдерів та пошук шляхів їх ефективного вирішення.

Мета й завдання роботи є аналіз ключових аспектів управління персоналом водіїв у підприємствах логістичних провайдерів і розроблення рекомендацій щодо підвищення мотивації, покращення умов праці й морально-психологічного стану працівників, зокрема в умовах воєнного стану.

Основна частина

Хомутовська Я. М. зазначає, що процес удосконалення системи управління персоналом підприємств неможливий без аналізу існуючих проблем у цій сфері. Дослідниця наводить класифікацію проблем управління персоналом та коротко характеризує напрями їх розв'язання. У своїй роботі авторка також пропонує розглянути основні проблеми управління персоналом з різних позицій управління **табл. 1** [7].

Таблиця 1

Проблеми управління персоналом з різних підходів до управління та напрями їх розв'язання

Підхід	Опис проблеми	Рішення
на різних рівнях управління	Управління персоналом не є стратегічним та оперативним пріоритетом, що може призвести до організаційного хаосу на всіх рівнях управління	Для вирішення проблеми необхідно приділити більше уваги статусності персоналу, руху підприємства вперед
як бізнес-процес	Кадрові процеси не зв'язані у змістовному й процедурному відношеннях як один з одним, так і з іншими бізнес-процесами	Щоб вирішити проблему, рекомендовано приділити більше уваги динамічності й взаємозв'язкам бізнес-операцій
як наукове забезпечення управлінської діяльності	Якість наукових досліджень з проблем управління персоналом через відсутність фінансування перебуває на нижчому рівні, ніж того вимагає практика, що стає причиною низького рівня розвитку технологій управління.	Для вирішення проблеми необхідно приділити увагу матеріальному стимулюванню персоналу, залучаючи іноземних інвесторів та створюючи спільні науково-дослідницькі центри.
на інформаційному рівні	Більшість підприємств не мають комплексних інформаційних систем, що дозволяють вирішувати різні управлінські завдання.	Щоб вирішити проблему, рекомендовано впровадити нові управлінські інформаційні системи.
з точки зору компетенцій	Керівники погано володіють методами роботи з людьми, а тому не можуть прогнозувати й підвищувати успішність власних дій і дій підлеглих та якість управління.	Щоб вирішити проблему рекомендовано застосовувати методи гуманізації, підвищуючи кваліфікацію керівників.
як організаційно-функціональний устрій	Кадрові документи не збалансовані між собою й регламентами інших функціональних областей, що призводить до конфліктів і плинності кадрів.	Щоб вирішити проблему, рекомендовано приділити увагу точності постановки цілей.

А. В. Гривнак та О. І. Бала [8] вважають що, одним із найважливіших складових системи управління персоналом є люди з їх рівнем освіти, досвідом і майстерністю. Науковці виділяють ключові проблеми управління персоналом, які свідчать про те, що сучасні виклики в управлінні організаціями будь-якого бізнесу мають свої специфічні особливості. Згадані проблеми підкреслюють, що предметом кадрового менеджменту у невеликих за чисельністю персоналу організаціях є ефективність діяльності співробітників. На основі пропозицій авторів основні проблеми описані в **табл. 2**.

Таблиця 2

Проблеми управління персоналом через недостатню стратегію розвитку та мотивації

Проблема	Опис
Обмежене розуміння соціальної ролі організації	Співробітники та керівники недостатньо усвідомлюють соціальну відповідальність організації
	Відсутність чітких довгострокових цілей і продуманої стратегії розвитку.
	Зіткнення інтересів через відмову брати відповідальність за свої ді
Ресурсний підхід до персоналу	Персонал часто розглядається як витрати, а не як ключовий ресурс.
	Складно визначити ефект від інвестицій у розвиток людських ресурсів
	Адміністрація фокусується на поточних завданнях, ігноруючи стратегічні цілі
Нерозуміння специфіки людських ресурсів	Ігнорування емоційної реакції людей на методи управління
	Недооцінка здатності працівників до самовдосконалення та довгострокової співпраці
Слабке розуміння мотивів працівників	Нездатність керівництва виявляти потреби та проблеми персоналу
	Нерозвиненість трудової мотивації та формування патерналістської свідомості у працівників
Стереотипи утриманської поведінки	Опір змінам, консерватизм, відмова від участі у процесах змін
	Орієнтація на мінімальні, але гарантовані доходи при низькій інтенсивності праці

Ці проблеми свідчать про слабе усвідомлення організаціями важливості людського капіталу як ключового ресурсу, а також про недоліки в управлінні, які перешкоджають розвитку персоналу та адаптації до змін. Відсутність стратегічного підходу, недостатнє розуміння соціальної ролі та мотивів працівників, а також поширені стереотипи утриманської поведінки призводять до низької продуктивності та опору інноваціям, що негативно впливає на довгострокову конкурентоспроможність організації.

Авторка Гордєєва-Герасимова Л. Ю. [9] окреслює, що умови воєнного стану в Україні зумовлюють необхідність оновлення системи управління персоналом на підприємствах. Серед ключових проблем дослідниця виділяє дисбаланс у розподілі трудового потенціалу через переміщення працездатного населення до безпечних регіонів, зменшення кількості потенційних працівників через міграцію та мобілізацію чоловіків до Збройних сил України, а також збільшення частки осіб з обмеженою дієздатністю серед потенційних працівників (колишні військовослужбовці з бойовими пораненнями). На її думку, вирішення цих проблем (**табл. 3**) сприятиме створенню ефективної системи управління персоналом в сучасних умовах.

Дана класифікація проблем відображає критичні наслідки демографічних змін, міграційних процесів і нерівномірного розвитку регіонів і професійних сфер, що суттєво впливають на баланс і ефективність використання трудового потенціалу України.

Якщо попередні дослідники зосереджували увагу на проблемах системи управління персоналом загалом або в інших галузях, таких як агропромисловий комплекс [7], то Дмитро Карпенко акцентує увагу на виявленні типових проблем управління персоналом саме для логістичних

компаній. Він зазначає, що необхідне кардинальне переосмислення поточних стратегій, оскільки те, що працювало раніше, більше не гарантує успіху [1].

Таблиця 3

Проблеми, які впливають на підбір персоналу в Україні

Проблема	Опис
Зменшення кількості осіб працездатного віку	Серед 42,5 млн населення України наприкінці 2020 року лише 23 млн (54,1 %) були працездатними, на початок 2023 року країна втратила 30% трудового потенціалу через війну
Зменшення населення країни	У 2020 році населення зменшилося на 272,5 тис. осіб. У 2023 році 3,2 млн працездатних осіб перебувають за кордоном, а 1,3 млн — на окупованих територіях
Значна механічна рухливість населення	На початок 2020 року за межами України працювало близько 3 млн трудових мігрантів, що становило до 20 % населення або 37 % працездатних. З початку війни втрачено ще 5,5 млн осіб працездатного віку
Нерівномірний розподіл трудового потенціалу	Пропозиції праці традиційно зосереджувалися в центральних і східних регіонах, що ускладнювало розвиток інших територій. У воєнний час, через окупацію частини східних і південних територій та переміщення підприємств у безпечні регіони, працевлаштування тепер зосереджено в центральних і західних областях
Нерівномірний розподіл відносно професій	Зміщення інтересу до професій в управлінні, юриспруденції та економіці призвело до надлишку кадрів у цих сферах та дефіциту технічних фахівців.

Його дослідження спрямоване на аналіз специфічних викликів, з якими стикаються логістичні провайдери, таких як дефіцит кваліфікованих водіїв, висока плинність кадрів, складнощі з адаптацією до сучасних умов та забезпечення стабільної роботи транспорту в умовах змін (табл. 4) [1]. Цей підхід дозволяє запропонувати інноваційні рішення, орієнтовані на потреби саме логістичних компаній.

Таблиця 4

Типові проблеми управління персоналом для логістичних компаній

Проблеми	Причини виникнення
Висока плинність кадрів	Змінний графік роботи — логістична діяльність передбачає гнучкий підхід до робочого часу, що може включати денні та нічні зміни, а також роботу у вихідні й святкові дні. Водії, як і працівники складу, повинні бути готові до непередбачуваних ситуацій, зокрема затримок на маршрутах чи потреби в додаткових рейсах. Такий графік може бути виснажливим і підходить не всім, тому важливо забезпечити можливість відновлення сил через належну організацію змін та відпочинку.
	Мотивація та корпоративна культура — недостатня увага до мотиваційних програм, таких як премії за перевиконання планів, бонуси за безаварійну їзду або ініціативність, часто призводить до зниження морального духу працівників. Організація корпоративних заходів, включаючи тренінги, семінари чи навіть неформальні зустрічі, сприяє формуванню позитивної атмосфери в колективі та знижує рівень плинності кадрів.
	Сезонні коливання в логістиці створюють нерівномірне навантаження для водіїв, з надлишком рейсів у високий сезон і нестачею роботи в інші періоди. Це може спричинити невдоволення та невизначеність, тому важливо розробити механізми стабілізації зайнятості, такі як взаємозамінність ролей чи додаткові проекти.
	У логістиці, особливо для водіїв та складських працівників, часто відсутні очевидні шляхи професійного розвитку. Запровадження програм підвищення кваліфікації та наставництва може допомогти залучити й утримати персонал.

Проблеми	Причини виникнення
Висока плинність кадрів	Адаптація новачків — якщо нові співробітники, особливо водії, не отримують чітких інструкцій, підтримки або супроводу на початкових етапах роботи, вони можуть відчувати себе незахищеними. Важливо впровадити системи наставництва, де досвідчені працівники допомагатимуть новачкам інтегруватися в колектив і зрозуміти особливості роботи.
	Перевантаження роботою — через дефіцит фахівців часто виникають ситуації, коли працівники, включаючи водіїв, змушені працювати понаднормово або виконувати завдання, що виходять за межі їхньої компетенції. Це призводить до стресу, перевтоми, збільшення кількості помилок та зниження продуктивності. Рациональний розподіл обов'язків і збалансоване навантаження мають стати основою управління персоналом у логістичній галузі.
Дефіцит кваліфікованих працівників	Внутрішня міграція та еміграція працездатного населення — згідно зі статистикою ООН, понад 3,7 мільйона українців стали внутрішньо переміщеними особами, а ще 6,5 мільйона виїхали за кордон. Велика кількість цих людей — працездатного віку, що зменшує доступність трудових ресурсів у країні.
	Мобілізація та масовий призов — приблизно 30 % працівників фізичної праці було мобілізовано, що додатково ускладнює відновлення економіки та створює значні виклики для бізнесу, який залежить від кваліфікованих робітників.
Кадрова міграція	Прискорення циклу зміни роботи — водії дедалі частіше змінюють роботодавців через пошук кращих умов праці, зокрема вищої зарплати, зручнішого графіка або менших ризиків у роботі.
	Відсутність ефективної стратегії утримання персоналу — брак програм, які б мотивували водіїв залишатися, наприклад: бонусів за стаж, гнучких графіків чи підвищення кваліфікації для роботи з сучасними транспортними засобами.
	Складність у формуванні довгострокових трудових відносин — часта зміна складу водіїв створює проблеми з організацією стабільної роботи команди, особливо коли новачки ще не знайомі з маршрутами чи корпоративними стандартами.
	Низька адаптивність бізнесу до нових реалій ринку праці — багато роботодавців не враховують специфічних запитів водіїв, таких як якісні умови праці (відпочинок на рейсі, технічний стан транспорту) чи підтримка в разі надзвичайних ситуацій.
	Висока конкуренція між роботодавцями — водії легко знаходять альтернативні пропозиції, адже попит на кваліфікованих фахівців у цій сфері залишається високим.
Труднощі з утриманням ключових співробітників	Токсична корпоративна культура (62 %) — стрес, відсутність підтримки з боку керівництва чи колег, а також часті понаднормові рейси створюють негативну атмосферу, що сприяє вигоранню водіїв.
	Низька зарплата (59 %) — зарплата, що не відповідає зусиллям та ризикам, зокрема при водінні в складних умовах чи на дальніх рейсах, викликає незадоволеність.
	Неефективне планування маршрутів, брак комунікації та погана організація роботи створюють додаткові труднощі для водіїв (56 %).
	Довгі рейси, нічні зміни та відсутність часу для сім'ї негативно впливають на якість життя водіїв (49 %).
Недостатня мотивація персоналу в логістиці	Одноманітність роботи — завдання, що постійно повторюються, без можливості змінити рутину чи спробувати щось нове, знижують інтерес до роботи.
	Відсутність перспектив професійного зростання — брак можливостей для кар'єрного розвитку, навчання чи підвищення кваліфікації позбавляє працівників довгострокової мотивації залишатися в компанії.

Проблеми	Причини виникнення
Недостатня мотивація персоналу в логістиці	Недостатня підтримка з боку керівництва — відсутність зворотного зв'язку, визнання досягнень чи участі у вирішенні робочих проблем послаблює відчуття значущості виконуваної роботи.
	Низький рівень матеріального стимулювання — недостатня зарплата, брак бонусів чи інших фінансових заохочень створюють відчуття недооціненості зусиль працівників.
	Відсутність нематеріальних стимулів — нехтування корпоративною культурою, відсутність командних заходів, підтримки балансу між роботою та особистим життям негативно впливають на атмосферу в колективі.
	Високий рівень стресу та перевантаження — часто працівники стикаються з великими обсягами роботи, щільними графіками або необхідністю працювати у вихідні, що виснажує як фізично, так і морально.
	Слабка комунікація в колективі — відсутність якісної взаємодії між працівниками, а також недостатня передача інформації від керівництва до персоналу породжують відчуття ізоляції.
	Сезонні коливання — нестабільність у завантаженні роботи (періоди спаду чи пікові навантаження) створює відчуття невизначеності й перешкоджає формуванню стабільної мотивації.

Як видно, деякі проблеми, запропоновані Дмитром Карпенком [1], є наслідками інших, і їх виділення як окремих категорій може призвести до неповного розуміння причинно-наслідкових зв'язків. Як показано на **рис. 2**, недостатня мотивація персоналу є основною причиною, що веде до високої плинності кадрів, дефіциту кваліфікованих працівників та труднощів із утриманням ключових співробітників. Останні, в свою чергу, призводять до кадрової міграції, що є додатковим викликом для утримання кваліфікованих кадрів у компанії.



Рисунок 2 — Причинно-наслідкові зв'язки типових проблем управління персоналом для логістичних компаній

Для більш чіткого відображення реальної ситуації варто здійснити перегляд цієї класифікації, зважаючи на взаємозв'язки між проблемами, щоб уникнути їх дублювання та краще зрозуміти, які з них є первинними, а які — похідними.

Отже, водій — це основа логістичної діяльності, адже саме він фактично керує транспортними процесами, працюючи у складних умовах. Він відповідає за актив підприємства логістичного провайдера, який є джерелом доходу для всієї галузі. А управління персоналом водіїв — це справжнє мистецтво, адже кожен працівник унікальний і потребує індивідуального підходу [10].

На основі вищезазначеного пропонується враховувати три ключові аспекти в управлінні персоналом водіїв:

1. Індивідуальні характеристики водіїв (кваліфікація та досвід, психологічні аспекти, особисті потреби).
2. Особливості логістичного провайдера (розмір і структура, технологічне забезпечення, фінансові ресурси).
3. Зовнішні фактори (ситуація на ринку праці, регуляторні вимоги, геополітична та економічна ситуація).

Оскільки зовнішні чинники є важкокерованими через їхню незалежність від діяльності підприємства, доцільно зосередити увагу на дослідженні взаємозв'язку між індивідуальними характеристиками водіїв та особливостями логістичного провайдера, які враховують і сталі практики [11], що застосовуються в управлінні персоналом. Це дозволить розробити ефективні підходи до управління персоналом, орієнтовані на мінімізацію ризиків, пов'язаних із плинністю кадрів і кадровою міграцією.

На основі цього підходу, необхідно переосмислити традиційне уявлення про те, що проблеми управління персоналом є виключно відповідальністю підприємства. Ефективне управління персоналом водіїв залежить не лише від дій логістичного провайдера, але й від сприйняття ситуації самими водіями. У цьому контексті важливим є дослідження взаємозв'язку «водій – підприємство» (табл. 5), адже на рівень задоволеності й ефективність роботи впливають такі індивідуальні характеристики працівників, як вік, рівень освіти, професійний досвід, сімейний стан тощо.

Таблиця 5

**Типові виклики у підприємствах логістичних провайдерів,
спричинені поведінковими проявами водіїв і стратегії їх подолання**

Прояв поведінки водія	Причина	Наслідки для підприємства	Рекомендовані управлінські заходи
Пошук альтернативних варіантів працевлаштування	Низька заробітна плата або відсутність бонусів	Плинність кадрів, кадрова міграція	Забезпечити конкурентну систему матеріальної компенсації, включаючи премії, бонуси та інші фінансові стимули
Висловлення невдоволення умовами праці	Відсутність зворотного зв'язку або ігнорування скарг	Плинність кадрів	Впровадити регулярні опитування та зустрічі для збирання зворотного зв'язку; швидко реагувати на питання, які турбують працівників
Скарги на перевантаженість або втомлюваність	Нестача часу для відпочинку або порушення графіка робочого часу	Плинність кадрів, кадрова міграція	Забезпечити належне планування робочих змін, контроль за дотриманням часу відпочинку, надавати додаткові дні відпустки
Порушення правил безпеки або недотримання стандартів	Неправильно організовані умови роботи або зношене обладнання	Дефіцит кваліфікованих кадрів через травматизм, зниження продуктивності	Інвестувати в модернізацію обладнання, забезпечити комфортні умови праці (зокрема, спальні місця в автомобілях), регулярно проводити технічний огляд
Брак мотивації до професійного розвитку	Відсутність можливостей для кар'єрного зростання та навчання	Дефіцит кваліфікованих кадрів	Організувати програми підвищення кваліфікації, тренінги, підтримувати прагнення до розвитку та створювати можливості для професійного зростання

Прояв поведінки водія	Причина	Наслідки для підприємства	Рекомендовані управлінські заходи
Низький рівень залученості та відсутність ініціативи	Недостатня оцінка зусиль, відсутність системи заохочення	Плинність кадрів	Запровадити систему визнання досягнень працівників, включаючи бонуси, сертифікати, публічне визнання, нагородження найкращих співробітників
Відчуження від корпоративних цінностей	Відсутність залученості до місії та стратегічних цілей компанії	Плинність кадрів, кадрова міграція	Пояснювати місію та цінності компанії, залучати працівників до їх досягнення через командні зустрічі, обговорення результатів роботи та участь у корпоративних заходах

Для забезпечення цього балансу підприємство має розробити стратегії, які дозволяють охопити й задовольнити потреби всіх категорій трудового ресурсу. Це вимагає врахування різноманітності характеристик персоналу та забезпечення персоналізованого підходу до кожного водія. Однак таке завдання є доволі складним, оскільки управління персоналом водіїв потребує високого рівня професійної майстерності та вміння ухвалювати рішення з урахуванням унікальності кожного працівника.

Для спрощення цього процесу підприємству можна запропонувати групування водіїв за ключовими характеристиками, такими як досвід роботи, сімейний стан або вік. Це дозволить краще враховувати індивідуальні потреби працівників і розробляти цілеспрямовані заходи для їх задоволення. Таким чином, розроблення ефективних стратегій на основі групування водіїв сприятиме гармонізації умов праці, підвищенню задоволеності персоналу та зниженню рівня плинності кадрів.

Пропонується використати класифікацію водіїв за віковими групами, що описана в роботі Хромушиної Л., яка зазначає, що працівники різних поколінь мають свої специфічні риси, які можуть набувати різних форм залежно від життєвих та форс-мажорних обставин. У зв'язку з цим, при здійсненні управлінської діяльності HR-менеджеру необхідно враховувати положення теорії поколінь, а також психологічні риси, можливості, світоглядні цінності та потенціал представників цих поколінь [12].

Класифікація водіїв за віковими групами, зокрема на основі поколінь (так званих X, Y, Z поколінь), може бути ефективним підходом для розуміння специфічних потреб і мотиваційних факторів різних груп працівників. Для представлення класифікації водіїв за поколіннями пропонується структура, яка враховує специфічні характеристики кожної вікової групи та відповідні рекомендації для їх ефективного управління:

1. *Покоління X (народжені з 1965 по 1980 роки).*

Ці водії зазвичай стабільні, орієнтовані на досягнення та результат, надають перевагу чітким інструкціям і визначеним правилам. Вони можуть бути менш схильні до змін, але віддають перевагу надійності та безпеці [13, 14]. Для цієї групи важливо створювати стабільні умови праці, пропонувати чітке кар'єрне зростання та забезпечувати надійні системи компенсацій. Також варто звертати увагу на повагу до їх досвіду та цінності в компанії.

2. *Покоління Y (Міленіали, народжені з 1981 по 1996 роки).*

Водії цієї групи зазвичай орієнтовані на гнучкість, особистісний розвиток і кар'єрне зростання. Вони цінують баланс між роботою та особистим життям, а також можливості для самовираження і навчання. Тому, потрібно забезпечити гнучкість у графіках роботи, пропонувати можливості для навчання та професійного розвитку, створювати програми для підтримки здоров'я та благополуччя, а також використовувати технології для полегшення роботи.

3. *Покоління Z (народжені після 1997 року).*

Ці працівники мають високу технологічну грамотність, цінують інновації і швидко адаптуються до нових умов. Вони шукають швидкий зворотний зв'язок і можуть бути більш схильні до зміни роботи, якщо виявляються незадоволеними. Одним із нових викликів є явище «career

catfishing» [15], коли кандидати зникають без пояснень після співбесід, що є своєрідним протестом проти тривалих процесів відбору. Необхідно інтегрувати технології в робочі процеси, пропонувати інструменти для самонавчання та розвитку через цифрові платформи [16]. Важливим аспектом буде швидкий зворотний зв'язок і створення можливостей для постійного професійного росту.

Ця класифікація дозволяє планувати індивідуальні стратегії управління для кожної вікової групи, враховуючи їхні особливості та мотиваційні фактори. Такий підхід сприяє підвищенню ефективності, зниженню плинності кадрів і створенню комфортних умов праці.

Підприємствам важливо враховувати нові покоління, зокрема покоління Альфа (народжені з 2010 року), яке лише починає вступати на ринок праці. Це покоління відзначається високою технологічною обізнаністю та здатністю швидко освоювати цифрові інструменти, що може бути корисним для автоматизації процесів у транспорті. Однак представники цього покоління можуть віддавати перевагу гнучким умовам праці, що створює виклики для традиційних логістичних компаній, де стабільність і фізична присутність працівників є критично важливими. Тому підприємствам, які прагнуть наймати водіїв з цього покоління, доведеться адаптувати стратегії управління персоналом, орієнтуючись на технологічні навички, індивідуальні потреби працівників та надання більш гнучких умов праці.

Висновки

У роботі проаналізовано ключові аспекти управління персоналом водіїв у підприємствах логістичних провайдерів, зокрема в умовах нестабільності, що зумовлена кризовим станом в Україні. Виявлено важливість індивідуального підходу до кожного працівника, оскільки кожен водій має свої особливості, потреби та мотиваційні чинники, що безпосередньо впливають на ефективність виконуваних завдань і рівень задоволеності роботою.

Особливу увагу приділено індивідуальним характеристикам водіїв, таким як досвід роботи, рівень освіти, професійні та психологічні аспекти. Це дозволяє краще розуміти потреби кожного працівника та адаптувати підходи до управління для досягнення високих результатів.

Також було враховано особливості логістичних провайдерів, зокрема їхній розмір, структуру, технологічне забезпечення та наявність фінансових ресурсів для покращення умов праці водіїв. Це дозволяє розробити стратегії, які можуть підвищити ефективність роботи водіїв, враховуючи специфіку самого підприємства.

Зовнішні фактори, такі як ситуація на ринку праці, регуляторні вимоги та геополітична ситуація, також мають значення, проте вони залишаються важкокеруваними та потребують адаптації політики управління персоналом.

Крім того, було розглянуто класифікацію водіїв за віковими групами, що дозволяє краще розуміти специфіку потреб і мотивацій різних поколінь працівників. Запропоновано індивідуалізовані стратегії для кожної вікової групи, що сприятиме підвищенню задоволеності працівників і зниженню рівня плинності кадрів.

Далі, у рамках проведеного дослідження, можна буде поглиблено аналізувати ефективність впроваджених стратегій через результати анкетування. Зібрані дані дозволять зосередитись на конкретних аспектах мотивації водіїв, психологічних аспектах управління, а також на доцільності застосування технологій для покращення процесу роботи. У майбутніх роботах можна дослідити взаємозв'язок між стратегіями управління та результатами опитування для розроблення більш точних рекомендацій щодо управління персоналом водіїв.

Список літератури

1. Дмитро Карпенко. Типові проблеми управління персоналом для логістичних компаній та шляхи їх вирішення, 2024. URL: <https://fillin.ua/stati/vikliki-v-upravlinni-personalom-dlya-logistichnikh-kompaniy/> (дата звернення: 14.01.2025).
2. Сергій Гузенко. Логістична галузь: головний виклик – нестача кадрів, 2023. URL: <https://mind.ua/openmind/20260079-logistichna-galuz-golovnij-viklik-nestacha-kadriy> (дата звернення: 14.01.2025).
3. Дефіцит водіїв у транспортно-логістичній сфері через мобілізацію досяг 25 %. Інтерфакс України, 2024. URL: <https://interfax.com.ua/news/economic/1018315.html> (дата звернення: 14.01.2025).

4. Greg Gowans. 76 % of logistics operators suffering from labour shortages, 2024. URL: <https://cargoon.eu/en/community/blog/market-review/76-of-logistics-operators-suffering-from-labour-shortages/> (дата звернення: 14.01.2025).
5. Half of European truck operators can't expand due to driver shortages IRU, 2024. URL: <https://www.iru.org/news-resources/newsroom/half-european-truck-operators-cant-expand-due-driver-shortages> (дата звернення: 14.01.2025).
6. Kateryna Kompanets, Victoria Ilchenko, Anhelina Spitsyna, Svitlana Petrovska, Denys Ovchar, Mykola Horodetskyu. Innovation models for management of human capital in conditions of instability. *The International Conference on Business and Technology(ICBTOxford'2024)* (November 21–22, 2024, University of Oxford). Oxford – United Kingdom, 2024.
7. Хомутовська Я. М. Класифікація проблем управління персоналом в АПК і напрями їх вирішення. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2014. Вип. 150. С. 306–314. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2014_150_44.
8. Гривнак О. В., Бала О. І. Проблеми управління персоналом на сучасних підприємствах. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Львів, 2013. № 18(778), С. 10–17. URL: <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/dbf819f8-4087-42c2-8b3e-0929cc1239b6/content>.
9. Гордєєва-Герасимова Л. Управління персоналом підприємства: теоретичний аспект. *Молодий вчений*. 2023, № 12 (124). С. 163–167. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2023-12-124-30>.
10. Manoj Soni. Tips for driver management, 2016. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/tips-driver-management-mk-soni/> (дата звернення: 15.01.2025).
11. Галак І. І., Добровольська А. М., Добровольський О. С., Овчар Д. О. Підходи до впровадження сталих практик у діяльність логістичного провайдера. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ: НТУ, 2024. Вип. 116. Ч. 2. С. 278–297. DOI: <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-116.2-278-297>.
12. Хромушина, Л. А. Виклики і перспективи управління персоналом у контексті теорії поколінь та в умовах невизначеності. *Економіка та суспільство*. 2023. № 51. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-51-40>.
13. Янішевський С. В., Білоног О. Є., Корчевська А. А. Обмеження швидкості транспортних засобів в містах для підвищення безпеки вразливих учасників дорожнього руху. *Вісник Національного транспортного університету*. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. Київ: НТУ, 2023. Вип. 1(55). С. 335–347. DOI: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-335-347>.
14. Галак І. І. Небезпечний стан водія, що підвищує ризик виникнення дорожньо-транспортної пригоди. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ : НТУ, 2011. Вип. 2 (24). С. 131–133.
15. Chloe Berger Welcome to 'career catfishing' - Gen Z's new defiance against endless rounds of interviews and hiring managers who ghost, 2025. URL: <https://fortune.com/2025/01/09/career-catfishing-gen-z-ghost-interview-no-response-hiring-recruiter-work-interview-employer/> (дата звернення: 25.01.2025).
16. Bozhko, K., Antonenko, N., Ilchenko, V., Navrotska, T., Halak, I., Zaplitna, T. Assessment of Investment Efficiency in Human Capital of a Company Using Fuzzy Modeling Method Based on Linear and Logarithmic Input Scales. In: Khoury, R.E., Nasrallah, N. (eds) *Intelligent Systems, Business, and Innovation Research. Studies in Systems, Decision and Control*. 2024. Vol 489. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-36895-0_14.

References

1. Dmytro Karpenko. Typovi problemy upravlinnya personalom dlya logistichnykh kompaniy ta shlyakhy yikh vyrishennya, 2024. URL: <https://fillin.ua/stati/viklyki-v-upravlinni-personalom-dlya-logistichnykh-kompaniy/> (Last accessed: 14.01.2025) [in Ukrainian].
2. Serhii Huzhenko. Logistychna haluz: holovnyy vyklyk – nestacha kadriv, 2023. URL: <https://mind.ua/openmind/20260079-logistychna-galuz-golovnij-viklik-nestacha-kadriv> (Last accessed: 14.01.2025) [in Ukrainian].

3. Defitsyt vodiiv u transportno-logistychnii sferi cherez mobilizatsiyu dosiah 25 %. Interfaks Ukrainy, 2024. URL: <https://interfax.com.ua/news/economic/1018315.html> (Last accessed: 14.01.2025) [in Ukrainian].
4. Greg Gowans. 76 % of logistics operators suffering from labour shortages, 2024. URL: <https://cargoon.eu/en/community/blog/market-review/76-of-logistics-operators-suffering-from-labour-shortages/> (Last accessed: 14.01.2025) [in English].
5. Half of European truck operators can't expand due to driver shortages IRU, 2024. URL: <https://www.iru.org/news-resources/newsroom/half-european-truck-operators-cant-expand-due-driver-shortages> (Last accessed: 14.01.2025) [in English].
6. Kateryna Kompanets, Victoria Ilchenko, Anhelina Spitsyna, Svitlana Petrovska, Denys Ovchar, Mykola Horodetskyi. Innovation models for management of human capital in conditions of instability. *The International Conference on Business and Technology (ICBT Oxford '2024)* (November 21–22, 2024, University of Oxford). Oxford – United Kingdom, 2024 [in English].
7. Khomutovska Ya. M. Klasyfikatsiia problem upravlinnia personalom v APK i napriamy yikh vyrishennia (Classification of personnel management problems in the agricultural sector and directions for their solution). *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka*. Kharkiv, 2014. Vyp. 150. P. 306–314. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdтусg_2014_150_44 [in Ukrainian].
8. Hryvniak O. V., Bala O. I. Problemy upravlinnia personalom na suchasnykh pidpriemstvakh (Problems of personnel management in modern enterprises). *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika»*. Lviv, 2013. № 18(778), P. 10–17. URL: <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/dbf819f8-4087-42c2-8b3e-0929cc1239b6/content> [in Ukrainian].
9. Hordieieva-Herasymova L. Upravlinnia personalom pidpriemstva: teoretychnyi aspekt. *Molodyi vchenyi* (Enterprise personnel management: theoretical aspect.). 2023. № 12 (124), P. 163–167. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2023-12-124-30> [in Ukrainian].
10. Manoj Soni. Tips for driver management, 2016. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/tips-driver-management-mk-soni/> (Last accessed: 15.01.2025) [in English].
11. Halak I. I., Dobrovolska A. M., Dobrovolskyi O.S., Ovchar D.O. Pidkhody do vprovadzhennia stalykh praktyk u diialnist lohistychnoho provaidera (Approaches to the implementation of sustainable practices in the activities of a logistics provider). *Naukovyi zhurnal «Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo»*. Kyiv: NTU, 2024. Vyp. 116. Chastyna 2. P. 278–297. DOI: <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-116.2-278-297> [in Ukrainian].
12. Khromushyna, L. A. Vyklyky i perspektyvy upravlinnia personalom u konteksti teorii pokolin ta v umovakh nevyznachenosti (Challenges and prospects of personnel management in the context of the theory of generations and in conditions of uncertainty). *Ekonomika ta suspilstvo*. 2023. No 51, DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-51-40> [in Ukrainian].
13. Yanishevskyi S. V., Bilonoh O. Ye., Korchevska A. A. Obmezhenia shvydkosti transportnykh zasobiv v mistakh dlia pidvyshchennia bezpeky vrazlyvykh uchastnykiv dorozhnoho rukhu (Speed limits for vehicles in cities to increase the safety of vulnerable road users). *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriiia «Tekhnichni nauky»*. Naukovo-tekhnichniy zbirnyk. Kyiv: NTU, 2023. Vyp. 1(55). P. 335–347. DOI: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-335-347> [in Ukrainian].
14. Halak I. I. Nebezpechnyi stan vodiia, shcho pidvyshchuie ryzyk vynyknennia dorozhno-transportnoi pryhody (Dangerous condition of the driver, which increases the risk of a road accident). *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu*. Kyiv : NTU, 2011. Vyp. 2 (24). P. 131–133 [in Ukrainian].
15. Chloe Berger. Welcome to ‘career catfishing’ - Gen Z’s new defiance against endless rounds of interviews and hiring managers who ghost, 2025. URL: <https://fortune.com/2025/01/09/career-catfishing-gen-z-ghost-interview-no-response-hiring-recruiter-work-interview-employer/> (Last accessed: 25.01.2025) [in English].
16. Bozhko, K., Antonenko, N., Ilchenko, V., Navrotska, T., Halak, I., Zaplitna, T. (2024). Assessment of Investment Efficiency in Human Capital of a Company Using Fuzzy Modeling Method Based on Linear and Logarithmic Input Scales. In: Khoury, R. E., Nasrallah, N. (eds) *Intelligent Systems, Business, and Innovation Research. Studies in Systems, Decision and Control*. 2024. Vol 489. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-36895-0_14 [in English].

Denys Ovchar, <https://orcid.org/0000-0002-9359-2206>

National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

KEY ASPECTS OF DRIVER PERSONNEL MANAGEMENT IN LOGISTICS PROVIDER ENTERPRISES UNDER CONDITIONS OF ECONOMIC INSTABILITY AND CRISIS SITUATIONS

Abstract

Introduction. In modern conditions, logistics providers are forced to adapt to new realities, introducing modern methods of personnel management aimed at retaining employees, increasing their motivation and productivity. Important aspects are the development of professional development programs for drivers, improving working conditions, introducing flexible schedules and increasing the level of social security. Research into the main aspects of driver personnel management in crisis conditions is necessary to develop effective strategies for preserving human resources and ensuring the sustainability of logistics providers in conditions of instability.

Problem Statement. The logistics sector in Ukraine is facing serious challenges caused by current crisis conditions, which affect business operations and personnel management. Martial law, mobilization, significant population migration, and other factors have significantly impacted the workforce of enterprises. The shortage of freight and passenger transport drivers, observed not only in Ukraine but also in developed countries, necessitates the search for effective approaches to improving driver personnel management in logistics provider enterprises under crisis conditions.

Purpose. To analyze the main factors affecting the effectiveness of driver personnel management in crisis conditions, identify key problems and propose methodological approaches to improving these processes, which allow maintaining high productivity and reducing driver turnover in an unstable economy.

Materials and Methods. In the process of writing the article, a comprehensive approach was used to analyze the problems of personnel management in Ukraine, in particular, attention was focused on driver management. The main sources of information were scientific publications devoted to personnel management methods, strategic planning and personnel policy in both logistics and other areas. To achieve the set goals, the following research methods were used: the method of analysis and synthesis (used to generalize existing theoretical approaches to personnel management, highlight key problems and their cause-and-effect relationships); the comparative method (allowed us to compare different approaches to personnel management in logistics companies and assess their effectiveness); the systematization method (contributed to the classification of the main problems of driver personnel management according to criteria that take into account the individual characteristics of employees, the characteristics of the enterprise and external factors, etc.); graphic and tabular methods (used to clearly display cause-and-effect relationships).

The use of these methods made it possible to form a comprehensive vision of the issues of driver personnel management in logistics provider enterprises and to develop recommendations for improving personnel policy in the face of modern challenges.

Results. The study can be used to develop recommendations for improving management processes at logistics provider enterprises, which will allow for effective adaptation to economic instability and crisis situations.

Conclusions. The paper identifies that in conditions of economic instability and crisis situations, the importance of an individualized approach to driver personnel management is significantly increasing, which includes taking into account factors such as age groups, professional experience, motivational needs and psychological characteristics of employees. Particular attention is paid to the development of individual motivation and support strategies, which contributes to reducing staff turnover and increasing job satisfaction.

Keywords: driver personnel management, staff turnover, crisis situations, motivation, logistics provider, personnel migration.

МОЖЛИВОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВІДЕОАНАЛІЗУ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ОПОРУ У ВУЗЛАХ ТРАНСПОРТНОЇ МОДЕЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ ІСА

Анотація

Вступ. Обстеження дорожнього руху (ДР) за допомогою візуальних спостережень у польових умовах залишається основним методом збору даних про інтенсивність транспортних потоків. Однак, в останні роки, зростає популярність використання програмного забезпечення для автоматизованого відеоаналізу ДР, що базується на технологіях штучного інтелекту. Такий підхід стає альтернативою традиційним методам збору даних, забезпечуючи високу ефективність і точність у вимірюванні показників ДР. За допомогою пост-обробки відеоматеріалів руху можна отримувати матриці зародження-призначення для транспортних засобів (ТЗ) конкретного типу, а також аналізувати експлуатаційні показники ДР для кожного ТЗ, що дозволяє отримати детальні дані про транспортні потоки та покращити якість планування й управління дорожньою інфраструктурою.

Проблематика. Метод використання відеоаналізу даних ДР за допомогою програмного забезпечення DataFromSky від R.C.E. systems може бути ефективно застосований для розрахунку опору у вузлах (intersection capacity analysis – ICA) в транспортній макромоделі, що створена в програмному забезпеченні PTV Visum. Однак на даний момент дослідження, які б були спрямовані на перевірку ефективності інтеграції двох зазначених технологій, не проводились.

Мета. Оцінювання можливостей програмного забезпечення для автоматизованого відеоаналізу даних ДР для моделювання опору у вузлах транспортної макромоделі.

Матеріали і методи. У роботі використані відеоаналіз даних ДР на основі штучного інтелекту, розрахунок показників ДР за методикою HCM та транспортне моделювання опору у вузлах у програмному забезпеченні PTV Visum із застосуванням ІСА.

Результати. На прикладі регульованого перехрестя вулиці В. Матусевича та проспекту Металургів у місті Кривий Ріг було встановлено, що різниця в отриманих показниках ДР, визначеними за допомогою ІСА та програмного забезпечення DataFromSky є незначною, що свідчить про можливість використання результатів аналізу, здійсненого за допомогою програмного забезпечення DFS, для калібрування транспортної моделі, створеної в PTV Visum.

Висновки. До показників, які можуть бути перевірені за допомогою результатів аналізу ДР в DataFromSky, відносяться: середній загальний час очікування (затримка), середній рівень обслуговування (LOS), відношення завантаження до пропускної здатності, обсяг руху (інтенсивність транспортного потоку), фактор години пік, максимальний обсяг руху за 15 хвилин, а також доли правих і лівих поворотів. Показники черги ТЗ, які визначаються за ІСА, не мають аналога в DataFromSky, але дані звіту Trajectories Movement Dynamics, який генерується у даному програмному забезпеченні, дозволяють встановити залежності між швидкістю руху, відстанню та часом у дорозі для конкретного ТЗ. Незважаючи на те, що підходи до аналізу показників транспортних потоків та транспортних розв'язок в ІСА та DataFromSky мають різний рівень деталізації, результати відеоаналізу даних ДР можуть бути використані для калібрування транспортних моделей і порівняння модельних та натурних показників ДР.

Ключові слова: відеоаналіз дорожнього руху, опір у вузлах, показники дорожнього руху, транспортне моделювання, штучний інтелект, DataFromSky, HCM, ICA, PTV Visum.

Вступ

Дані про інтенсивність руху, швидкість, прискорення та уповільнення та інші параметри транспортних потоків (ТП) за визначений період часу є необхідними для оцінки стану доріг,

проектування дорожньої інфраструктури та реорганізації руху на окремих ділянках вулично-дорожньої мережі [1]. Обстеження дорожнього руху (ДР) за допомогою візуальних спостережень у польових умовах залишається основним методом отримання даних про інтенсивність ТП, незважаючи на те, що вони мають низку обмежень, зокрема непередбачуваність результатів, необхідність залучення більшої кількості обліковців для великих за площею транспортних розв'язок, складність перевірки отриманих даних. Використання автоматизованої обробки даних про ДР дозволяє лише частково подолати зазначені незручності. Сучасні інструменти для визначення статистичних показників ДР базуються на використанні детекторів транспорту, що працюють за принципом індукційної петлі, а також ультразвукових датчиків, які призначені для підрахунку кількості транспортних засобів (ТЗ), що проходять визначену ділянку дороги. Вони, як і візуальні спостереження, мають ряд слабких сторін, зокрема, необхідність фіксації обладнання на конкретній ділянці дороги, обмежений оглядовий кут та залежність від типу конструктивних характеристик використовуваних датчиків [2]. Крім того, складні транспортні розв'язки важко обстежити в повному обсязі через їх великі площі та конструктивні особливості систем спостереження, що фіксуються зазвичай лише на вхідних та вихідних ділянках, а також через високі витрати на встановлення детекторів. Повітряне відеоспостереження з використанням широкооглядових датчиків відкриває нові можливості для дослідження дорожнього руху на локаціях подібного типу, а безпілотні літальні апарати (БПЛА), обладнані стабілізаторами та камерами високої роздільної здатності, можуть слугувати більш ефективним інструментом для збору якісних даних.

Програмне забезпечення для автоматизованого відеоаналізу даних ДР, що базується на технологіях штучного інтелекту (ШІ), стає альтернативою традиційним методам збору даних про ДР. У останні роки методи збору даних, що використовують відеоаналіз ДР, набувають все більшої популярності [3 – 6]. Зокрема, за допомогою пост-обробки відеоматеріалів ДР можна отримувати матриці призначення-відправлення у розрізі ТЗ конкретного типу та експлуатаційні показники ДР у розрізі кожного ТЗ.

Обмеженням використання зазначеної технології в Україні є заборона польотів цивільної авіації під час воєнного стану. Крім того, слід враховувати, що незалежно від обраного інструментального методу визначення інтенсивності ДР, нормативний документ [7] встановлює порогові значення відносної похибки вимірювань годинної інтенсивності руху для інструментальних методів у порівнянні з результатами візуальних спостережень. Згідно з вимогами стандарту [7] відносна похибка вимірювань не повинна перевищувати 10 % для доріг Іа, Іб, ІІ та ІІІ категорій, а для доріг ІV і V категорії — 20 %.

Метод використання відеоаналізу даних ДР за допомогою програмного забезпечення DataFromSky від R.C.E. systems [3] для калібрування транспортної мікромоделі, виконаної у програмному забезпеченні PTV Vissim [8], описаний у статті [1]. У той же час, потреба у детальному моделюванні перетинів вулично-дорожньої мережі виникає й на макрорівні моделювання у програмному забезпеченні PTV Visum [9]. У цьому випадку для розрахунку опору в конкретних вузлах і поворотах транспортної моделі зазвичай використовується додаткова опція програми «розрахунок опору у вузлах за методом HCM 2000» — аналіз пропускної здатності перехрестя (intersection capacity analysis, ICA) [9]. На сьогоднішній день можливості відеоаналізу даних руху для розрахунку опору в вузлах і поворотах транспортної моделі на основі ICA не були достатньо досліджені.

Мета роботи — Оцінювання можливостей програмного забезпечення відеоаналізу даних дорожнього руху для моделювання опору у вузлах і поворотах транспортної моделі на макрорівні.

Основна частина

Загальна архітектура системи розпізнавання відео зображень на основі технології ШІ, представлена на **рис. 1** [10], складається з трьох основних етапів: попередньої обробки, виявлення ТЗ та відстеження (управління траєкторією). Класифікатор вищого рівня розподілений на дві частини: сильну та слабку. Виявлення, здійснене сильним класифікатором, застосовуються для ініціалізації нових цілей або оновлення зовнішніх моделей вже існуючих цілей під час їх взаємодії. Виявлення, виконані слабким класифікатором, використовуються як підказка в процесі відстеження.

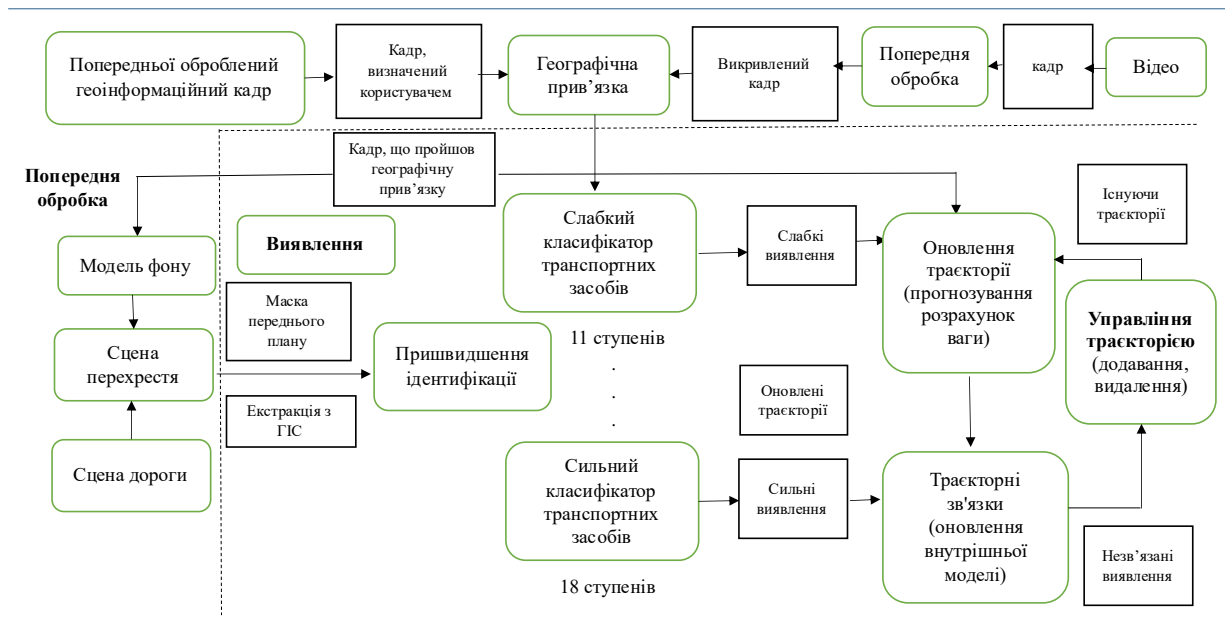


Рисунок 1 — Архітектура системи розпізнавання відеокadrів ДР із використанням ШІ [10]

На першочерговому етапі відеозапис дорожнього руху, зафіксований на перехресті, завантажується на хмарну платформу DataFromSky (DFS) [3], де автоматично генерується журнал відстеження з розширенням «tg1x». Подальша обробка цього файлу здійснюється за допомогою інструменту DataFromSky Viewer, що дозволяє створити нову конфігурацію робочої розмітки відеокadrів, що включає лічильники, смуги, вузли та географічну прив'язку. Дані про інтенсивність руху транспорту і пішоходів експортуються у форматі CSV для кожної відповідності «пункт відправлення - пункт призначення» (OD-матриця) (Origin-Destination Statistics), а також генерується статистика, що відображає динаміку транспортних потоків (звіти Trajectories Movement Dynamics, Traffic Analysis).

Розширений список властивостей цього інструменту включає:

- Визначення транспортних навантажень на лічильниках.
- Класифікація всіх об'єктів відстеження, включаючи велосипедистів та пішоходів.
- Підрахунок матриць зародження-призначення / поворотів у визначених напрямках, їх кольорове маркування та створення Excel-звітів для налаштованих лічильників.
- Вимірювання швидкості та прискорення в будь-якій точці сцени із створенням теплових карт.
- Розширений аналіз дорожнього руху, зокрема, аналіз часу розриву ТП та часу до слідування.
- Вимірювання відстані між транспортними засобами в потоці (м, с).
- Аналіз безпеки руху на основі замісних показників, таких як час до зіткнення (TTC) або час після вторгнення (PET).

Перелік ТЗ відображає всі траєкторії, що були виявлені або відстежені у відеоряді. Для кожної траєкторії доступна наступна інформація:

- *ID* – унікальний ідентифікаційний номер траєкторії.
- *Тип ТЗ* – класифікаційна ознака ТЗ.
- *Поточна швидкість* – абсолютне значення вектора поточної швидкості руху ТЗ в км/год.
- *Повздовжнє прискорення* – поточне тангенціальне прискорення ТЗ, виміряне в м/с²; позитивне значення означає прискорення, негативне – уповільнення.
- *Бокове прискорення* – поточне бокове прискорення транспортного засобу в м/с²; позитивне значення відповідає прискоренню праворуч, негативне – ліворуч.
- *Загальне прискорення* – абсолютне значення вектора миттєвого прискорення.

- *Середня швидкість на перехресті* – середня швидкість ТЗ в районі перехрестя (між вхідним та вихідним лічильником) в км/год.
- *Час на перехресті* – тривалість часу, який ТЗ проводить у районі перехрестя, в с.
- *Перше зображення ID* – індекс зображення від початку відеокадру, де починається траєкторія.
- *Останнє зображення ID* – індекс зображення від початку відеокадру, де закінчується траєкторія.
- *Вхідний лічильник ID* – унікальний ідентифікаційний номер вхідного лічильника, який перетинає ТЗ при в'їзді на територію перехрестя. Список лічильників для аналізу ДР включає всі доступні лічильники та відповідні дані. Лічильники поділяються на три класи: вхідний, вихідний, нейтральний. Для кожного типу доступні такі дані:
 - *Унікальний лічильник ID* – унікальний ідентифікатор, присвоєний лічильнику програмним засобом DataFromSky.
 - *Журнал лічильників* – значення, яке може бути призначене користувачем до лічильника за допомогою інструментів маркування DataFromSky. За замовчуванням це значення збігається з ідентифікатором Gate Unique.
 - *Транспортні засоби, що пройшли* – кількість ТЗ, що пройшли лічильник.
 - *Середня швидкість* – середня швидкість ТЗ, що проходять лічильник.

Метод HCM 2010, застосовуваний в ІСА, є одним із визнаних методів для аналізу ефективності вузлів (транспортних розв'язок в одному рівні), враховуючи з високим рівнем деталізації розподіл смуг руху та конфліктуючі повороти [11]. Однак даний підхід вимагає значних витрат на моделювання та калібрування розв'язок, оскільки вузли, для яких розраховується опір за допомогою ІСА, потребують додаткового опрацювання [9]. Для калібрування опору у вузлах пропонується використовувати результати відеоаналізу ДР як фактичні показники ДР. У таблиці 1 представлені показники ДР, отримані шляхом розрахунку опору у вузлах (ІСА) у PTV Visum, які можуть бути перевірені за допомогою даних звітів Trajectories Movement Dynamics та Traffic Analysis.

Порівнюючи підходи до визначення показників ДР у звітах ІСА та DFS, можна виявити кілька ключових відмінностей у методології та описах для кожного з показників на прикладі перехрестя, які регулюються світлофорною сигналізацією.

Середній час очікування для транспортного вузла, розрахований за методом HCM 2010 в звітах ІСА, представляє собою середньозважений час очікування для кожного під'їзду до вузла. Останній показник є середньозваженим значенням часу очікування для групи смуг руху, з урахуванням навантаження на кожен смугу руху V_i . При цьому група смуг руху або група сигналів є однією або декількома смугами руху у напрямку вузла, які мають однакову фазу світлофора. Таким чином, геометрія вузла розбирається на групи смуг руху або групи сигналів, які застосовуються як одиниця аналізу. Середній час очікування для кожного ТЗ у групі смуг руху i , у свою чергу, передбачає врахування декількох складових затримки [9]:

$$d_i = d_{Ui} \cdot PF + d_{Ii} + d_{Ri}, \quad (1)$$

де d_{Ui} — рівномірний час очікування;
 PF — коефіцієнт врахування оптимізації координування;
 d_{Ii} — час очікування, що покроково збільшується;
 d_{Ri} — час очікування залишкового попиту.

Рівномірний час очікування для групи смуг руху залежить від пропускної здатності групи смуг руху c_i , коефіцієнта завантаження v/c , долі часу дозволяючого сигналу у загальному часі циклу — g/C .

Стохастичний час очікування d_{Ii} виникає через нерівномірність розподілу часу прибуття ТЗ за період аналізу T , залежить від транспортного завантаження.

Час очікування залишкового попиту d_{Ri} виводиться із попиту, який є незадовільненим на початковому етапі аналізу та розраховується тільки у тому випадку, якщо на початку аналізу виникає такий незадовільнений попит.

Як й інші показники ДР, в DFS затримка ТЗ не розраховується через опосередковані індикатори, а визначається на основі розпізнання траєкторій об'єктів відстеження, тому вона не прив'язана до конкретних груп смуг руху, а може бути знайдена для конкретного ТЗ. Значення даного показника для локації обстеження виводиться як середньоарифметичне значення по всіх об'єктах відстеження або конкретному типу ТЗ. У ICA затримка фокусується саме на часі, проведеному ТЗ на перехресті при забороняючому сигналі світлофора, тоді як у DFS стаціонарний час включає більш широкий спектр ситуацій, у тому числі, спричинених затором, коли ТЗ рухаються з дуже низькою швидкістю або стоять.

Класифікація рівня обслуговування LOS (Level of Service) при ICA з використанням методу розрахунку HCM 2010 ґрунтується на показнику середнього часу очікування вузла, а при використанні ICU 1, ICU2 та TRB Circular 212 [9] – на співвідношенні між навантаженням та потоком насичення v/s . Рівень обслуговування за DFS можна визначити через середній загальний стаціонарний час. При ICA рівень обслуговування оцінюється на основі різних факторів, таких як затримка і потік насичення. У DFS середній LOS для перехрестя залежить від часу, проведеного ТЗ в стаціонарному стані.

У ICA співвідношення між обсягом руху і пропускною здатністю v/c визначається на одному з етапів розрахунку вузла, надаючи загальне уявлення про його завантаженість. У DFS v/c не є вихідним параметром аналізу ДР, а базується на даних матриці OD, що дозволяє врахувати інформацію про походження і призначення потоків ТЗ між конкретними напрямками руху (вхідними та вихідними лічильниками).

У методиці ICA обсяг руху (навантаження) визначається безпосередньо за одну годину в залежності від заданої геометрії вузла та поворотів у вузлі. Початковий обсяг руху задається користувачем як результат підрахунків або оптимізоване значення із моделі попиту. Натомість у DFS цей показник представляє собою «фактичну» величину, визначену на основі матриці OD, що дозволяє враховувати рух ТЗ за конкретними маршрутами між вхідними та вихідними лічильниками.

Початкове навантаження в ICA (починаючи від одиниці аналізу «група смуг руху») оптимізується під інтервал години «пік» для вузлів та поворотів. Для цього використовується фактор години пік (Peak hour factor — PHF), який показує, наскільки стабільними є транспортні потоки в годину пік. PHF порівнює загальну інтенсивність руху в годину пік з інтенсивністю руху в найбільш завантажені 15 хвилин години пік [11].

Таблиця 1

Порівняння показників ДР за ICA та DFS

Показник у звіті ICA	Опис	Показник-відповідник в DFS та джерело його визначення	Опис
Весь перетин			
Середній загальний час очікування, с	Середній час, який ТЗ витрачає на перехресті у затримці	Загальний стаціонарний час, с (Trajectories Movement Dynamics)	Загальна кількість часу, протягом якого ТЗ залишаються на місці або рухаються з дуже низькою швидкістю на певній ділянці дороги або перехресті
Середній LOS	Середній рівень обслуговування для всіх учасників руху на перехресті	Середній LOS (Розрахунок)	Визначається окремо через показник загального стаціонарного часу
Коефіцієнт v/c	Співвідношення між обсягом ДР і пропускною здатністю перехрестя	Коефіцієнт v/c (Розрахунок)	Визначається окремо через місткість OD-матриці та з урахуванням нормативних значень пропускної здатності

Показник у звіті ICA	Опис	Показник-відповідник в DFS та джерело його визначення	Опис
Напрямки руху на перетині			
Обсяги руху, авт./год	Середнє годинне значення інтенсивності руху	Перетинання лічильнику (OD-матриця)	Визначаються по кожному маршруту руху ТЗ
Фактор години пік (PHF)	Дозволяє порівняти середній обсяг руху на перехресті протягом доби з його максимальним обсягом під час годин пік	Фактор часу пік (PHF) (Графік інтенсивності транспортного потоку)	Розраховується при проведенні обстеження у пікову годину доби
Максимальний обсяг руху за 15 хв, авт.	Використовується для оцінки інтенсивності руху в умовах пікових навантажень	Транспортний потік, приведений до інтервалу 15 хв. (OD-матриця, графік інтенсивності транспортного потоку)	Визначається по кожному маршруту руху ТЗ
Долі правих/лівих поворотів	Визначається для груп смуг руху	Поворотні рухи (Traffic Analysis)	Визначаються по кожному маршруту руху ТЗ
Поток насичення (пропускна здатність), авт./год/см	Максимальна кількість ТЗ, які можуть пройти у даному напрямку за годину, при цьому зберігаючи стабільний рух і без значних затримок	Поток насичення (Розрахунок)	Розраховується окремо графоаналітичним методом

У DFS параметр PHF не визначається безпосередньо, однак його можна обчислити через відомий аналітичний вираз [11]:

$$PHF = \frac{V}{V_{max,15}} \cdot 4, \quad (2)$$

де V — годинна інтенсивність ДР у пікову годину, авт./год;
 $V_{max,15}$ — інтенсивність руху у пікові 15-хвилин даної години, авт./год.

Якщо DFS використовується як окремий інструмент для аналізу ДР, розрахунок програми світлосигнального регулювання не здійснюється, і обстеження відповідної локації проводиться у піковий 15-хвилинний інтервал конкретної години доби, то немає необхідності в визначенні PHF, оскільки отримані показники навантаження для кожного напрямку руху є остаточними, що не потребують корегування.

Виходячи з відомого PHF можливо розрахувати інтенсивність руху у пікові 15-хвилин для години, у якій була проведена відеозйомка ДР, якщо ця година є піковою. Також, за необхідності, PHF можна визначити аналітичним шляхом, провівши обстеження локації тривалістю мінімум одна пікова година (технічні можливості БПЛА дозволяють виконати за понад годину часу 4 польоти по 15 хвилин кожен).

Показник $V_{max,15}$ за допомогою ICA визначається як оптимізоване навантаження для групи смуг руху i через формулу (2), в якій під V розуміється неоптимізоване (введене) навантаження для тієї ж групи смуг руху. У DFS максимальний обсяг руху за 15 хвилин у пікову годину добу може

бути визначений із графіка інтенсивності транспортного потоку як для перехрестя у цілому, так і для конкретного напрямку руху, приведеного до 15-хвилинного інтервалу руху. Даний графік доповнюється матрицею OD (рис. 2). Таким чином, перевагою використання DFS для аналізу ДР є можливість безпосереднього визначення $V_{max,15}$, у той час як, при ІСА для виконання даної задачі проводяться розрахунки за HCM 2010 [11]. Таким чином, DFS дозволяє провести перевірку транспортного навантаження на конкретних напрямках руху, які розраховані за ІСА у вузлі та його поворотах після оптимізації.

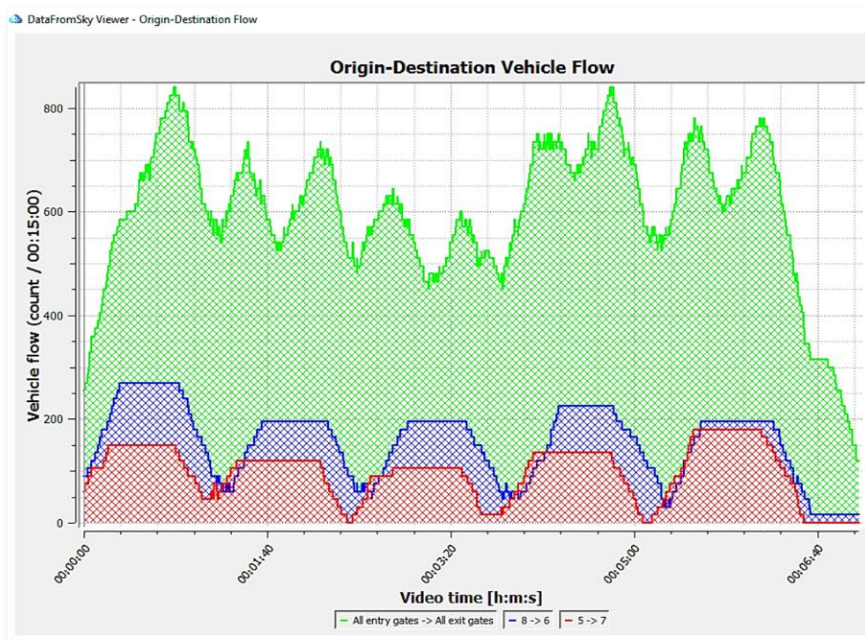


Рисунок 2 — Графіки інтенсивності транспортних потоків

Для кожної групи смуг руху в ІСА розраховується доля навантаження поворотів праворуч PRT та ліворуч PLT ітеративним шляхом відповідно до HCM 2010 [11]:

$$\begin{aligned} PLT &= \frac{V_{LT}}{V_i}, \\ PRT &= \frac{V_{RT}}{V_i}, \end{aligned} \quad (3)$$

де V_{LT} — навантаження ТЗ, які повертають ліворуч для групи смуг руху, авт./год;
 V_{RT} — навантаження ТЗ, які повертають праворуч для групи смуг руху, авт./год;
 V_i — оптимізоване навантаження ТЗ для групи смуг руху i .

Долі транспортних навантажень при розподілі руху за напрямками для окремих типів ТЗ в DFS визначаються зі звіту підрахунку інтенсивності ДР Traffic Analysis.

Потік насичення відіграє значну роль у визначенні пропускної здатності вузла. Для кожної групи смуг руху за допомогою ІСА проводиться розрахунок потоку насичення, виходячи із заданого потоку насичення S_0 та корегуючих коефіцієнтів [11]:

$$S_i = S_0 \cdot N \cdot (f_1 \dots f_{14}), \quad (4)$$

де S_i — потік насичення для групи смуг руху i ;
 S_0 — базовий потік насичення для кожної смуги руху (зазвичай приймається 1 900 авт./год/см);
 $f_1 \dots f_{14}$ — коефіцієнти оптимізації потоку насичення.

У DFS за відомого базового показника потоку насичення можливий розрахунок потоку насичення для групи смуг руху шляхом визначення коефіцієнтів оптимізації. Для цього необхідною стає інформація по інтенсивності транспортних потоків з матриці OD, графіку інтенсивності транспортного потоку, звіту Traffic Analysis. Таким чином, прямого визначення потоку насичення в DFS не передбачено й показники, які дозволяють отримати результати відеоаналізу ДР, у подальшому можуть бути використані для визначення S_i за методом HCM 2010 [11]. Під час моделювання на макрорівні з використанням ICA для визначення опору у вузлах та поворотах перевірка потоку насичення за допомогою показників з DFS є трудомісткою, виходячи із складності визначення коефіцієнтів оптимізації $f_1 \dots f_{14}$.

Показники черги ТЗ, які розраховуються при використанні ICA (середня довжина, проценти довжини черги, кількість ТЗ), не мають прямого відповідника в DFS.

Для пояснення запропонованого підходу використано результати дослідження ДР, проведеного за допомогою відеоаналізу руху в програмному забезпеченні DataFromSky Viewer на перехресті вулиці В. Матусевича та проспекту Металургів у місті Кривий Ріг. Дослідження проводилося в години пік робочого дня з 16:00 до 18:00, тривалість відеозапису становила 15 хвилин, а його основні результати представлені у роботі [1].

На **рис. 3** показана конфігурація маркування позначень в DataFromSkyViewer для даного перехрестя.

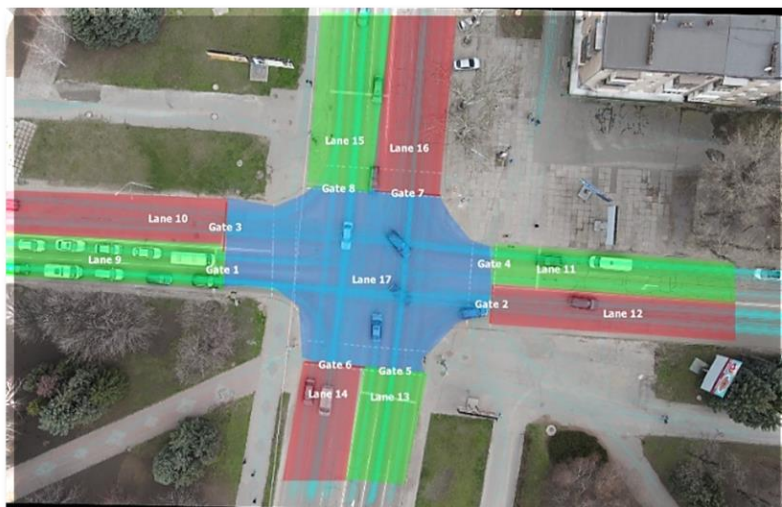


Рисунок 3 — Маркування позначень на досліджуваному перехресті в DataFromSky Viewer

Враховуючи позначені лічильники ТЗ в DataFromSky Viewer (**рис. 3**), можна проводити аналіз інтенсивності ДР, приведеної до 15-хвилинного інтервалу, для конкретних напрямків, зокрема, з виділенням найбільш навантажених (**рис. 2**).

У **табл. 2** наведено отримані за ICA та DFS значення показників ДР для даного перехрестя. Різниця в отриманих показниках є несуттєвою, що говорить про можливість використання результатів аналізу з DFS для калібрування транспортної моделі.

Звіт Trajectories Movement Dynamics, який створюється в DFS в CSV форматі, дозволяє проводити поглиблений аналіз тих показників ДР, які можуть бути використані при перевірці результатів моделювання у PTV Visum при будь-якому методі розрахунку опору у вузлах та поворотах (на основі функцій «обсяг-затримка» або ICA), насамперед, при перевірці швидкісних параметрів транспортних потоків.

Обробка даних звіту Trajectories Movement Dynamics дозволяє встановити залежності показників ДР в категоріях «швидкість руху – пройдена відстань», «швидкість руху – час руху», «відстань – час» по кожному об'єкту відстеження (**рис. 4 – рис. 6**).

Таблиця 2

Визначені показники ДР за ICA (HCM 2010) та DFS

Показник у звіті ICA		Значення				Показник-відповідник в DFS		Значення	
Весь перетин									
Середній загальний час очікування, с		26				Загальний стаціонарний час, с		22	
Середній LOS		C				Середній LOS		C	
Коефіцієнт v/c		0,36				Коефіцієнт v/c		0,32	
Напрямки руху на перетині*									
	1	2	3	4		1	2	3	4
Обсяги руху, авт./год	526	431	623	500	Перетинання лічильнику	587	461	597	486
Фактор години пік (PHF)	0,38	0,36	0,36	0,37	Фактор часу пік (PHF)	0,40	0,37	0,35	0,37
Максимальний обсяг руху за 15 хв., авт.	225	186	222	198	Транспортний потік, приведений до інтервалу 15 хв.	235	171	214	180
Долі правих/лівих поворотів	0,31/ 0,28	0,12/ 0,60	0,42/ 0,15	0,23/ 0,40	Поворотні рухи	0,27/ 0,27	0,10/ 0,55	0,48/ 0,10	0,19/ 0,46

*1 – Gate 8; 2 – Gate 4; 3 – Gate 5; 4 – Gate 1

З рис. 4 виходить, що більшість легкових автомобілів проходять відстань на перехресті у діапазоні від 80 м до 140 м, витрачаючи при цьому від 10 с до 60 с (рис. 6). Середня пройдена відстань складає 99,1 м із стандартним відхиленням у 39,0 м.

Швидкість руху легкових автомобілів зменшується по експоненті із збільшенням часу руху при проїзді перехрестя (рис. 5).

В редакторі вузла PTV Visum для кожного з поворотів на основі перерозподілу індивідуального транспорту в залежності від прийнятої моделі опору визначається час повороту в завантаженій мережі для конкретної системи транспорту.

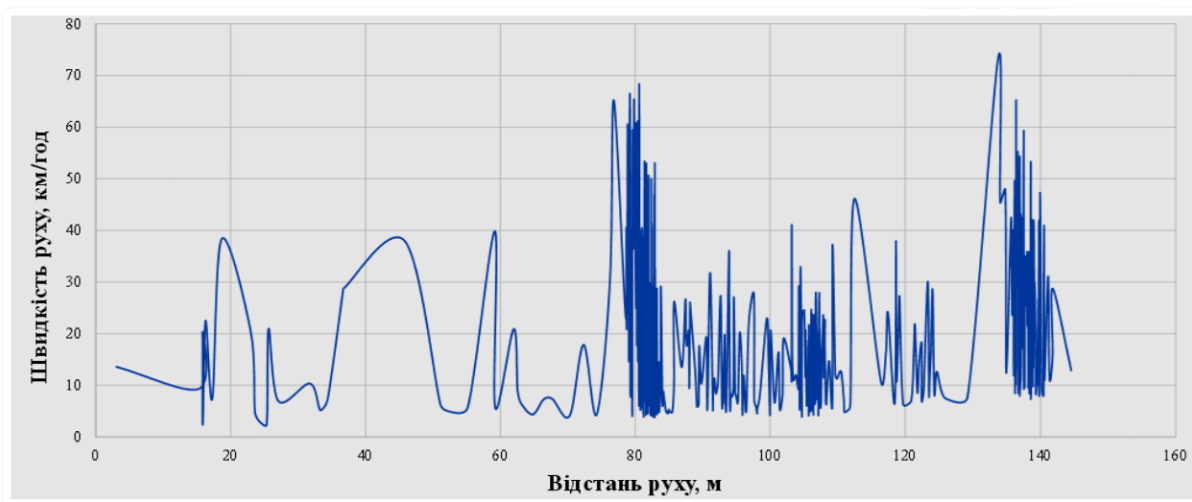


Рисунок 4 — Залежність швидкості руху легкових автомобілів від пройденої відстані

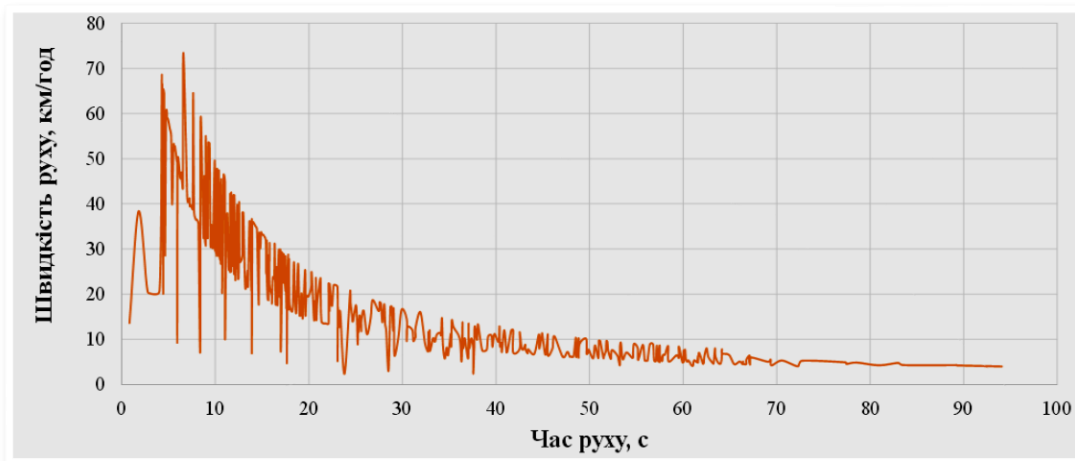


Рисунок 5 — Залежність швидкості руху легкових автомобілів від часу руху

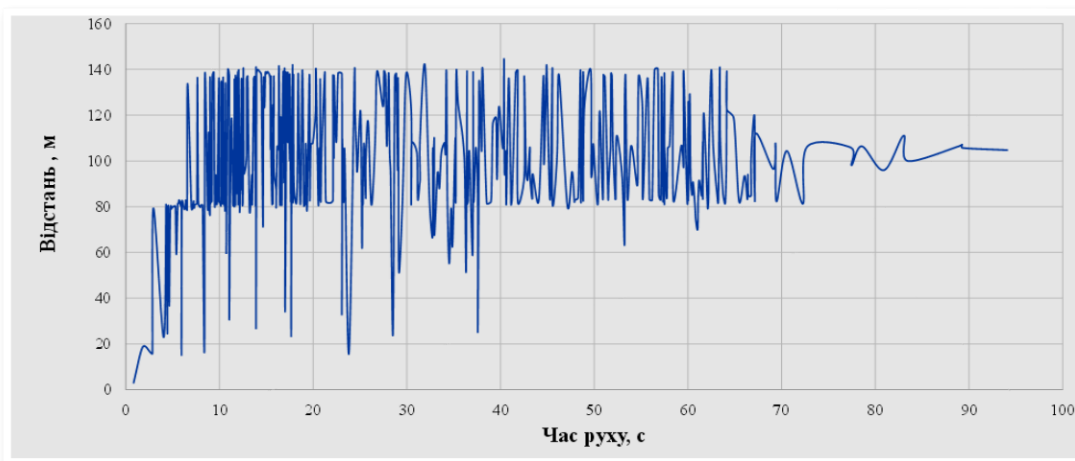


Рисунок 6 — Залежність пройденої відстані легкових автомобілів від часу руху

За допомогою сортування об'єктів відстеження в звіті Trajectories Movement Dynamics за відповідними лічильниками з'являється можливість порівняння модельних показників часу повороту з натурними даними. Так, для перехрестя, що розглядається, модельний час повороту становить від 21 с до 33 с для різних напрямків руху та систем транспорту, а час повороту отриманий з DFS — від 24 с до 36 с.

Для кожного ТЗ DFS визначає мінімальну, середню та максимальну загальну швидкість руху. Середнє значення розподілу швидкості руху при під'їзді до відповідного вхідного лічильника та при виїзді через вихідний лічильник може бути використано у транспортній моделі для калібрування поточної швидкості як атрибуту відрізків, що примикають до вузла, за допомогою якого відтворюється досліджуване перехрестя. При цьому для таких відрізків мають бути дозволені системи індивідуального та громадського транспорту, які були розпізнані DFS.

На **рис. 7** для перехрестя, що досліджується, представлено епюру із зображенням поточної швидкості легкових автомобілів у завантаженій мережі. Поточна швидкість легкових автомобілів у завантаженій мережі у PTV Visum визначається у результаті розрахунку процедури перерозподілу індивідуального транспорту. Порівняння графіків на **рис. 4** та **рис. 5** з результатами перерозподілу на **рис. 7** показує, що величини модельних швидкостей руху значно перевищують польові показники. Таким чином, на даному прикладі стає зрозумілим, що транспортна модель потребує калібрування.



Рисунок 7 — Епюра поточної швидкості легкових автомобілів у завантаженій мережі

Висновки

Порівнюючи підходи до визначення показників ДР у звітах ICA та DFS, можна виявити кілька ключових відмінностей та подібностей у методології та описах для кожного з показників для перехресть, які регулюються світлофорною сигналізацією. Розрахунок опору у вузлах та поворотах через ICA за методом HCM дає загальне уявлення про стан ДР на перехресті, тоді як DFS пропонує глибший аналіз з можливостями врахування показників ДР по кожному об'єкту (ТЗ). Для можливості калібрування транспортної моделі при використанні ICA, з DFS потрібні дані руху, які створюються у матрицях зародження-призначення, звітах Traffic Analysis та Trajectories Movement Dynamics. До показників, які можуть бути відкалібровані за допомогою результатів аналізу в DFS відносяться: середній загальний час очікування (затримка), середній LOS, відношення завантаження до пропускної здатності, обсяг руху, фактор години пік, максимальний обсяг руху за 15 хв, долі правих та лівих поворотів.

На прикладі перехрестя вулиці В. Матусевича та проспекту Металургів у місті Кривий Ріг встановлено, що різниця в отриманих показниках дорожнього руху (ДР) є незначною, що підтверджує можливість використання результатів аналізу, виконаного за допомогою DFS, для калібрування транспортної моделі у PTV Visum. Показники черги ТЗ, які обчислюються за допомогою ICA (середня довжина черги, проценти довжини черги, кількість ТЗ у черзі), не мають прямого аналогу в DFS. Водночас дані зі звіту Trajectories Movement Dynamics надають можливість встановлення залежностей між показниками ДР у таких категоріях, як «швидкість руху — пройдена відстань», «швидкість руху — час руху», «відстань — час» для кожного ТЗ та його типу.

Після сортування показників ДР в звіті Trajectories Movement Dynamics за відповідними лічильниками з'являється можливість отримання та порівняння модельних показників часу повороту з натурними даними.

Швидкісні характеристики транспортних потоків на підходах до перехрестя також можуть бути проаналізовані шляхом порівняння швидкості руху при під'їзді до вхідного лічильника та при виїзді через вихідний лічильник, що дозволяє оцінити зміну швидкості як атрибут відрізків дороги, що примикають до відповідного вузла, і забезпечує більш точну інформацію про динаміку руху транспортних засобів на цих ділянках.

Список літератури

1. Sistuk V., Monastyrskiy Y., Maksymenko I. Calibration of traffic microsimulation models using the results of intelligent video analysis of the traffic. *Transport Means: Proceedings of the 27th International Scientific Conference* (4 – 6 Oct. 2023, Palanga). Palanga, 2023. P. 368–374.
2. Степенко І. В., Стельмах О. П. Технологія визначення інтенсивності дорожнього руху за даними відеоряду. *Технічні науки та технології*. Чернівці, 2020. Вип. 2(20). С. 116–125.
3. One traffic framework. Any video source. All traffic tasks. Brno, 2024. URL: <https://datafromsky.com/> (Дата звернення 01.12.2024).
4. intuVision VA Traffic. Woburn, 2024. URL: https://www.intuvisiontech.com/intuvisionVA_solutions/intuvisionVA_traffic (Дата звернення 01.12.2024).
5. Video Analytics for Traffic & Transport Monitoring. Teddington, 2024. URL: <https://vcatechnology.com/industry-solution/traffic-video-monitoring/> (Дата звернення 01.12.2024).
6. Traffic Data Collection from Video. London, 2024. URL: <https://goodvisionlive.com/solutions/traffic-data-collection/> (Дата звернення 01.12.2024).
7. ДСТУ 8824:2019 Автомобільні дороги. Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку. Київ, 2019. 33 с. (Інформація та документація).
8. Manual PTV VISSIM 2024. Karlsruhe, 2023, 1250 p.
9. Manual PTV VISUM 2023. Karlsruhe, 2023. 2694 p.
10. Apeltauer J., Babinec A., Herman D., Apeltauer T. Automatic vehicle trajectory extraction for traffic analysis from aerial video data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (25 – 27 March 2015, Munich). Munich, 2015. P. 9–15.
11. HCM 2010: highway capacity manual. Washington D. C., 2010. 1475 p.

References

1. Sistuk V., Monastyrskiy Y., Maksymenko I. Calibration of traffic microsimulation models using the results of intelligent video analysis of the traffic. *Transport Means: Proceedings of the 27th International Scientific Conference* (4 - 6 Oct. 2023, Palanga). Palanga, 2023. P. 368–374. 125 [in English].
2. Inna Stetsenko, Oleksandr Stelmakh. Tekhnolohiia vyznachennia intensyvnosti dorozhnoho rukhu za danymy videoriadu (Technology of traffic intensity evaluation according to the video data). *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii*. Chernihiv, 2020. Vol. 2(20). P. 116–125 [in Ukrainian].
3. One traffic framework. Any video source. All traffic tasks. Brno, 2024. URL: <https://datafromsky.com/> (Last accessed: 01.12.2024) [in English].
4. IntuVision VA Traffic. Woburn, 2024. URL: https://www.intuvisiontech.com/intuvisionVA_solutions/intuvisionVA_traffic (Last accessed: 01.12.2024) [in English].
5. Video Analytics for Traffic & Transport Monitoring. Teddington, 2024. URL: <https://vcatechnology.com/industry-solution/traffic-video-monitoring/> (Last accessed: 01.12.2024) [in English].
6. Traffic Data Collection from Video. London, 2024. URL: <https://goodvisionlive.com/solutions/traffic-data-collection/> (Last accessed: 01.12.2024) [in English].
7. DSTU 8824:2019 Avtomobilni dorohy. Vyznachennya intensyvnosti rukhu ta skladu transportnoho potoku [State Standard of Ukraine (DSTU 8824:2019) Highways. Determining the traffic intensity and composition of the traffic flow]. Kyiv, 2019. 33 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
8. Manual PTV VISSIM 2024. Karlsruhe, 2023, 1250 p. [in English].
9. Manual PTV VISUM 2023. Karlsruhe, 2023. 2694 p. [in English].
10. Apeltauer J., Babinec A., Herman D., Apeltauer T. Automatic vehicle trajectory extraction for traffic analysis from aerial video data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (25 – 27 March 2015, Munich). Munich, 2015. P. 9–15 [in English].
11. HCM 2010: highway capacity manual. Washington D.C., 2010. 1475 p. [in English].

Volodymyr Sistuk, Ph.D., Assoc. Prof., <https://orcid.org/0000-0003-4907-4265>

Kyryvyi Rih National University, Kyryvyi Rih, Ukraine

THE POTENTIAL OF AUTOMATED VIDEO ANALYSIS OF TRAFFIC FOR ESTIMATING IMPEDANCE IN TRANSPORTATION MODEL NODES WITH ICA

Abstract

Introduction. Road traffic surveys based on visual field observations continue to be the primary method for collecting traffic flow data. However, in recent years, the adoption of automated video analysis software utilizing artificial intelligence technologies has gained significant traction. This approach is emerging as a viable alternative to traditional data collection techniques, offering enhanced efficiency and precision in measuring traffic parameters. By processing traffic video footage, it is possible to generate origin-destination matrices for specific vehicle types and analyze individual vehicle performance. This enables the collection of detailed traffic flow data, thereby improving the planning and management of road infrastructure.

Problem statement. The approach of utilizing traffic data video analysis with DataFromSky software by R.C.E. Systems can be effectively employed to calculate node impedance with intersection capacity analysis (ICA) within a transport macro model developed using PTV Visum software. However, to date, no studies have been conducted to assess the effectiveness of integrating these two technologies.

Purpose. Evaluation of the capabilities of software for automated video analysis of traffic data for modeling impedance in the nodes of a transport macro-model.

Materials and Methods. The study utilized traffic data video analysis powered by artificial intelligence, traffic indicator calculation based on the Highway Capacity Manual (HCM) methodology, and transport modeling of node impedance using ICA in PTV Visum.

Results. The case study of the controlled intersection at V. Matushevych Street and Metalurhiv Avenue in Kyryvyi Rih revealed that the difference in traffic indicators obtained using ICA and DataFromSky (DFS) software was minimal. This suggests that the results from DFS analysis can be effectively used to calibrate the transport model developed in PTV Visum.

Conclusions. The indicators that can be assessed through traffic analysis results in DataFromSky include average total waiting time (delay), average level of service (LOS), load-to-capacity ratio, traffic volume (flow intensity), peak hour factor, maximum traffic volume in 15 minutes, and the proportion of right and left turns. While the vehicle queue indicators determined by ICA do not have a direct equivalent in DataFromSky, the Trajectories Movement Dynamics report generated by this software enables the establishment of relationships between speed, distance, and travel time for individual vehicles. Although ICA and DataFromSky employ different methodologies for analyzing traffic flow and intersection indicators, the results from video traffic data analysis can still be utilized for calibrating transport models and comparing model-based and real-world traffic indicators.

Keywords: artificial intelligence, DataFromSky, HCM, ICA, nodes impedance, PTV Visum, traffic video analysis, transport modeling, traffic indicators.

УДК 625.1

Шемаєв В. В.¹, д-р екон. наук, <https://orcid.org/0000-0001-5599-3941>Ананьєв М. Ю.², канд. екон. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-9459-9522>¹Транспортна академія України, м. Київ, Україна²Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана, м. Київ, Україна

СТРАТЕГІЧНІ ПРІОРИТЕТИ РОЗВИТКУ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ КОЛІЇ 1 435 мм В УКРАЇНІ

Анотація

Вступ. Залізничний транспорт був і залишається основним видом транспорту для перевезення вантажів в Україні. Разом з цим, через військову агресію проти України з лютого 2022 року не доступним залишається авіаційний транспорт, яким здійснювались більшість міжнародних пасажирських перевезень. Частково закритим залишається судноплавство через блокаду агресором морських портів і каналів України. Зазначене обумовлює актуальність забезпечення сталого функціонування альтернативних наземних маршрутів у напрямку ЄС, організації вантажних і пасажирських перевезень у взаємодії з країнами Європи.

Проблематика. Зважаючи на відмінний від більшості країн-сусідів в ЄС розмір ширини колії, особливого значення набувають проєкти, спрямовані на збільшення пропускної та провізної спроможності з країнами Європейського Союзу шляхом розвитку залізничної мережі колії шириною 1 435 мм (євроколія) на території України, а також організації мультимодальних терміналів на кордоні та інфраструктури з організації пунктів перестановки візків.

Мета. Аналіз ініціатив та пріоритетів з розвитку залізничної мережі колії шириною 1 435 мм (євроколія) на території України.

Матеріали й методи. У статті були використанні матеріали стратегії інтеграції української та молдовської залізничних систем до ЄС, розроблених експертами JASPERS¹, державної стратегії розвитку та розбудови прикордонної інфраструктури з країнами Європейського Союзу та Республікою Молдова до 2030 року, а також власні статистичні дані АТ «Укрзалізниця». За допомогою техніко-економічного аналізу, синтезу та класифікації, а також узагальнення накопиченої інформації було досліджено шляхи розвитку євроколії (1 435 мм) в Україні, досягнуто необхідних висновків щодо вибору варіантів імплементації євроколії в Україні.

Результати. Проаналізовано можливі сценарії розвитку євроколії в Україні та запропоновано для обговорення три пріоритети з вартісною оцінкою імплементації на базі дослідження експертів JASPERS.

Висновки. Трансформація існуючих залізничних коридорів, шляхом будівництва паралельної мережі колій 1 435 мм, повинна сприяти інтеграції України до європейського транспортного простору шляхом покращення сполучення з ЄС та збільшення пропускної спроможності нових експортних коридорів. При цьому з економічної та технічної точки зору наразі не вбачається доцільними повний перехід на колію шириною 1 435 мм. Розвиток залізничної мережі з шириною колії 1 435 мм в Україні має здійснюватися по-етапно, оскільки будівництво публічної інфраструктури загального користування потребує значного фінансування. Джерелами покриття майбутніх проєктів будівництва можуть бути кошти міжнародних фінансових організацій, державного бюджету та іноземних урядів.

Ключові слова: будівництво колії європейського стандарту 1 435 мм, збільшення пропускної спроможності, інтеграція залізничної системи до ЄС, інфраструктура, коридори TEN-T.

¹ Програма Joint Assistance to Support Projects in European Regions (JASPERS) була започаткована Європейською Комісією, Європейським інвестиційним банком та Європейським банком реконструкції та розвитку у листопаді 2005 року.

Вступ

З початку повномасштабного вторгнення до України країни Європейського Союзу стали ключовими логістичними партнерами для допомоги Україні, зокрема у рамках ініціативи Solidarity Lanes (Ліній солідарності). Особливо тісна співпраця здійснюється на рівні залізниць як в пасажирському, так і вантажному сегментах, і така взаємодія буде посилюватися, у тому числі враховуючи курс України на інтеграцію в ЄС і в європейський транспортний простір.

За даними АТ «Укрзалізниця» у 2022-2023 роках в Україні здійснювалася реалізація проєктів з капітального ремонту колій шириною 1 435 мм, а також суміщеної колії у загальному обсязі близько 60 км на ділянках:

- Ковель – Ягодин – Держкордон (колія 1 435 мм);
- Станційних колій ст. Мостиська ІІ;
- Хирів – Старжава (суміщена колія);
- Старжава – Держкордон (колія 1 435 мм);
- Хирів – Нижанковичі – Держкордон;
- Хирів – Самбір, Рава-Руська – Держкордон (Хребенне) (колія 1 435 мм).

Питання, які потрібно буде вирішувати у найближчій перспективі – створення інтегрованого до європейської транспортної мережі безпечно функціонуючого та ефективного транспортного комплексу України, логістичної організації вантажних і пасажирських перевезень з країнами Європейського Союзу та забезпечення розвитку залізничної мережі України та наближення до вимог Регламенту (ЄС) № 1315/2013 стосовно загальноєвропейської мультимодальної мережі TEN-T.

Виклад основного матеріалу

Будівництво та відновлення залізничної колії шириною 1 435 мм потребують вирішення таких проблемних питань:

— відсутність у вітчизняних суб'єктів господарювання, зокрема АТ «Укрзалізниця», відповідних машин, механізмів і засобів діагностики, що унеможливило забезпечення власними силами ремонту, обслуговування та діагностування євроколій;

— відсутність нормативних документів для проєктування, будівництва та утримання як рухомого складу так і інфраструктури (наразі здійснюється підготовка ДБН В.2.3-XX:202X. Залізничні колії 1 435 мм. Норми проєктування);

— обмежений досвід у вітчизняних суб'єктів господарювання будівництва рухомого складу для колії ширини 1 435 мм тощо.

Забезпечення сталого функціонування та логістичної організації вантажних і пасажирських перевезень з країнами Західної Європи неможливо без комплексного вирішення питання інтеграції залізниць України до транспортного простору Євросоюзу.

Основними цілями розвитку євроколій в Україні є:

— підвищення рівня інтеграції залізничного транспортного комплексу України до транспортної мережі Європейського Союзу;

— підвищення рівня технічного та технологічного розвитку залізничної мережі України та інтеграція залізничного транспортного комплексу до транспортної мережі Європейського Союзу стосовно загальноєвропейської мультимодальної Транс'європейської транспортної мережі (далі – TEN-T);

— забезпечення швидкого, безпечного та якісного сполучення між Україною та країнами ЄС;

— створення умов для економічного та науково-технічного розвитку України;

— поглиблення соціально-економічних зв'язків між Україною та державами Європи;

— створення конкурентного середовища на ринку транспортних послуг;

— забезпечення швидкісного (200 км/год +) руху пасажирських поїздів на основних залізничних напрямках, у тому числі які сполучатимуть міста України з містами з країн Європейського Союзу.

Експертами Європейської служби JASPERS було оцінено низку варіантів, починаючи від повного переходу на колію 1 435 мм і закінчуючи модернізацією існуючої мережі колій шириною 1 520 мм [1]. Основним висновком і рекомендацією дослідження є розроблення в Україні нової магістральної мережі колії 1 435 мм, яка буде експлуатуватися разом з існуючою мережею колії 1 520 мм, на наступних засадах:

- система колії 1 435 мм буде зосереджена на швидкісних перевезеннях (міжнародні пасажирські, міжнародні залізничні та контейнерні / платформні перевезення), а система 1 520 мм — на перевезеннях середньої та низької швидкості (місцеві та регіональні пасажирські перевезення, а також перевезення вантажів);

- розвиток магістральної мережі 1 435 мм буде здійснюватися поетапно, із заходу на схід, при цьому найбільші міські агломерації в кінцевому підсумку будуть з'єднані з новими коридорами 1 435 мм для підтримки майбутнього економічного розвитку;

- для кожного варіанту розвитку євроколії визначається необхідна конфігурація (тільки 1 435 мм, тільки 1 520 мм або обидві).

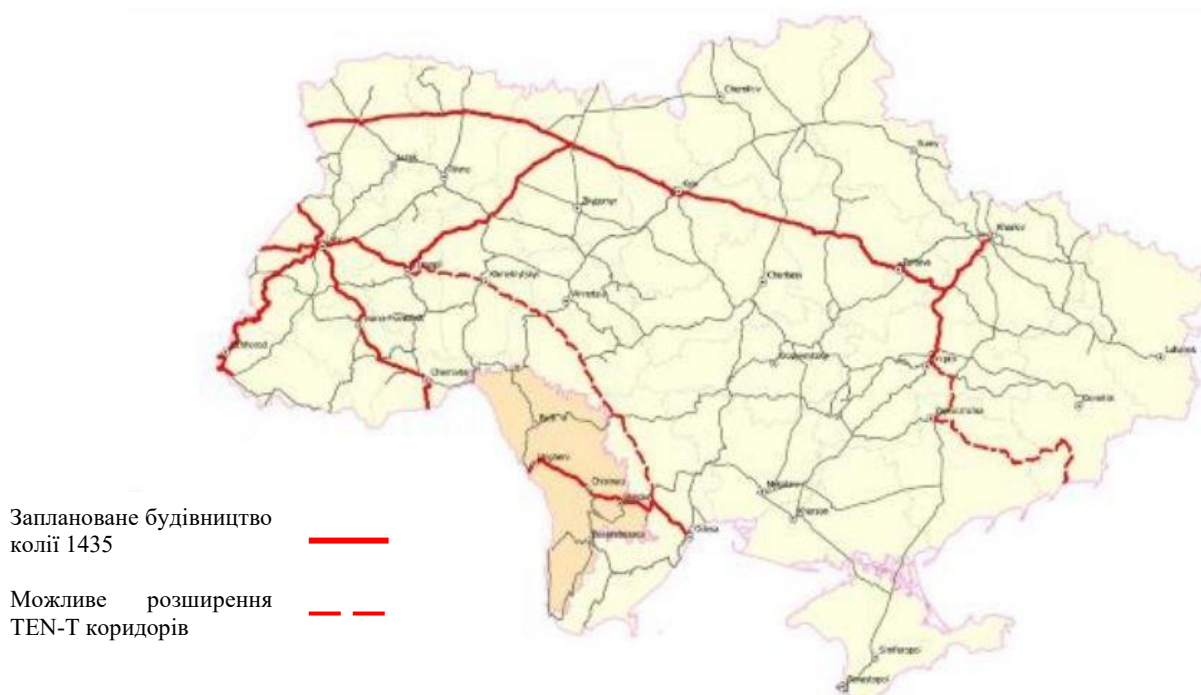


Рисунок 1 — Запланований розвиток євроколії та можливе розширення TEN-T коридорів в Україні [1]

У рамках цих зусиль, було прийняте Єврокомісією Комюніке [2] «План дій для шляхів солідарності Україна — ЄС для сприяння експорту сільськогосподарської продукції з України та двосторонньої торгівлі з ЄС», у якому було визначено коротко-, середньо- та довгострокові заходи, спрямовані на розкриття логістичного потенціалу та сприяння післявоєнній торгівлі України і підтримці відновлення країни.

Різниця в ширині колії, що призводить до складних і дорогих перевантажувальних операцій на кордонах, перешкоджає повній інтероперабельності між відповідними мережами ЄС, України та Молдови. Пропозиція включає заходи з переходу на євроколію, коли це економічно виправдано. Це також стосується нестандартної ширини колії в межах ЄС; труднощі на українсько-молдовському кордоні підкреслили, що відсутність сумісності робить залізничну мережу в Україні та Молдові вразливою.

Пропозиція полягає в тому, щоб розширити наступні коридори TEN-T до України і Молдови [3]:

1. Північне море – Балтійське;
2. Рейн – Дунай;
3. Балтійське море – Чорне море – Егейське море.

У наведеній нижче таблиці узагальнено основні характеристики залізничної мережі України (табл. 1).

Залізнична мережа України в основному складається з колій з проєктною швидкістю нижче 120 км/год (92,8 % від загальної довжини колій). Високошвидкісна мережа країни недостатньо розвинена і складається з обмеженої кількості ділянок (2 900 км), які експлуатуються з максимальною швидкістю 160 км/год. Більшість високошвидкісних ділянок мають максимальну швидкість 120 км/год, що значно нижче, ніж в інших європейських країнах.

Таблиця 1
Основні характеристики залізничної мережі України (станом на дату звіту) [1]

Компонент	Дані
Експлуатаційна довжина головних колій	19 790 км (без урахування тимчасово окупованої території)
Довжина ділянок двоколіїної залізничної лінії	6 767 км
Довжина одноколіїних ділянок залізничних ліній	12 975 км
Ширина колії	– 1 520 мм; – близько 350 мм у 1 435 мм; – близько 400 мм у вузькій колії 750 мм
Електрифікована мережа	9 926 км (47,3 %)
Кількість залізничних станцій	1 447
Кількість залізничних зупинок	2 268
Кількість залізничних переїздів	4 198

Всі сусідні країни ЄС (Польща, Угорщина, Словаччина та Румунія) мають колію шириною 1 435 мм. Для поїздів, що перетинають кордони ЄС, за деякими винятками, зміна колії є обов'язковою. Наразі існують різні рішення щодо необхідності зміни колії, такі як двоколіїність, заміна візків, інший рухомий склад, пов'язаний з рухом поїздів, або просто передача вантажів чи пасажирів.

Експертами JASPERS було розроблено 9 варіантів модернізації залізничної мережі України з метою її інтеграції до залізничної системи ЄС (табл. 2). Через значні інвестиції, необхідні для розвитку магістральної мережі 1 435 мм в Україні, жоден з дев'яти розглянутих варіантів інфраструктури не включає розвиток нової двоколіїної лінії 1 435 мм в окремому напрямку. У техніко-економічних обґрунтуваннях для різних коридорів цей варіант може бути розглянутий, якщо буде виявлено значний потенціал попиту на колію 1 435 мм. Аналогічно, варіанти дослідження не включають розвиток високошвидкісних залізничних ліній. Варіант 8 передбачає розвиток нової колії шириною 1 435 мм на окремій лінії для збільшення швидкості. Однак, вона передбачена як звичайна колія, а не високошвидкісна. Розвиток високошвидкісних залізничних ліній вимагає детальних досліджень, включаючи надійний прогноз попиту.

Якщо розглядати варіант використання рухомого складу зі змінною шириною колії, що доступний на ринку і широко використовується для пасажирських перевезень, з різними доступними технологіями (TALGO, SUW2000, DB AG/Rafі, CAF тощо), але не всі вони сумісні між собою. Цей рухомий склад оснащений специфічними та складними осями, що дозволяють змінювати відстань між колесами.

Колієзмінні пристрої складаються з пристрою, який «примушує» регулювати ширину колії коліс. Він складається з пари «бігових» рейок, які поступово змінюють ширину між двома коліями, в поєднанні з іншими рейками та важелями для виконання зміни ширини колії.

Для вантажних поїздів ці технології здебільшого перебувають на стадії розроблення, більшість з них все ще на рівні прототипів або тестування. Крім того, необхідно мати спеціальний парк вагонів з дорогими візками, а також спеціальне обладнання для зміни колії.

Виходячи з вищесказаного, рухомий склад зі змінною шириною колії може, бути прийнятним рішенням для пасажирських перевезень, особливо в короткостроковій перспективі, поки не буде розвинена мережа колій шириною 1 435 мм. Його впровадження для деяких послуг і вздовж деяких коридорів може значно скоротити тривалість подорожі для міжнародних пасажирських перевезень. Однак, технології змінної ширини колії вимагають значних інвестицій від залізничних операторів.

Таблиця 2

Варіанти, що розглядались та їх орієнтовна вартість [1]

Ч. ч.	Варіант	Орієнтовна вартість, 1 км (млн євро)	
		рівнинна місцевість	пересічна місцевість
1	«Статус-кво» капітальний ремонт двоколіїної колії 1 520 мм	0,998	1,137
2	Модернізація двоколіїної лінії 1 520 мм	3,632	4,159
3	Модернізація одноколіїної системи 1 520 мм; трансформація одноколіїної системи 1 520 мм у 1 435 мм	4,153	4,854
4	Трансформація двоколіїної лінії з 1 520 мм на 1 435 мм	4,314	5,051
5	Модернізація одноколіїної лінії 1 520 мм; трансформація 1 520 мм на 1 520 мм / 1 435 мм одноколіїну / суміщену колію	5,600	6,326
6	Трансформація двоколіїної лінії 1520 мм у двоколіїну / суміщену 1 520 / 1 435 мм	7,357	8,219
7	Модернізація двоколіїної лінії 1 520 мм; паралельне нове будівництво одноколіїної лінії 1 435 мм	5,592	6,797
8	Модернізація двоколіїної лінії 1 520 мм; незалежне нове будівництво 1 435 мм одноколіїної лінії	6,158	7,184
9	Трансформація одноколіїної лінії 1 520 мм у 1 435 мм	2,330	2,736

Отже, порівнюючи вартість варіантів з 2 по 9, найдорожчим є Варіант 6, що підтверджує, що реалізація двоколіїних рішень є набагато дорожчою (хоча вартість Варіанту 8 може перевищувати його за окремими статтями, якщо враховувати витрати на придбання землі). Найдешевшим є Варіант 9, оскільки він передбачає лише одноколіїну модернізацію. Варіанти 7 і 8 з трьома коліями, логічно, є дорожчими для реалізації (особливо Варіант 8, з виділенням окремої лінії 1 435 мм), ніж варіанти 2, 3 і 4. Різниця у вартості між варіантами 2, 3 і 4 здебільшого пов'язана із запропонованою системою сигналізації для кожного з них.

Через високий рівень невизначеності на цьому етапі та узагальнений підхід до оцінки вартості, доцільно розглядати відхилення в межах $\pm 15\%$ від значень, наведених у **табл. 2**.

Основним принципом розвитку нової мережі 1 435 мм є максимальне відокремлення операцій нової мережі від операцій на існуючій мережі 1 520 мм, мінімізація перетину між ними та зменшення кількості інтерфейсів (наприклад, можливість впровадження різних систем сигналізації в обох мережах).

Під час впровадження мережі 1 435 мм можна виділити такі загальні принципи [1]:

- мінімізація інвестиційних витрат;
- операційне розділення між мережами 1 435 мм і 1 520 мм (швидкий коридорний трафік і повільний масовий та мережевий трафік);
- обслуговування операційних потужностей існуючої мережі 1 520 мм;
- ефективне використання існуючих перевантажувальних потужностей;
- контроль операційних витрат;
- мінімізація порушень в роботі залізничної системи під час впровадження проєкту.

Виходячи з вищезазначеного, експертами JASPERS було розроблено три пріоритети впровадження колії 1 435 мм в Україні.

Пріоритет I. З огляду на потенційний попит, актуальність і розташування, з'єднання з Медика / Мостиська (кордон України і Польщі) до Львова (A1 на **рис. 2**). Було оцінено три варіанти прокладання колії шириною 1 435 мм в існуючому коридорі – варіанти 3, 4 і 7. Орієнтовна вартість кожного варіанту становить (без урахування вартості трансформації Львівського вузла):

- Варіант 3: 323,347 млн євро;
- Варіант 4: 335,746 млн євро;
- Варіант 7: 434,018 млн євро.

Варіант 7 є найкращим варіантом для цього з'єднання.



Рисунок 2 — Медика / Мостиська – Львів [1]

Пріоритет II. Другим пріоритетом є з'єднання Львів – Київ. Сполучення між Києвом і Польщею є переважно пасажирським, хоча має потенціал для розвитку контейнерних перевезень. Сполучення між Львовом та Угорщиною / Словаччиною / Румунією використовується переважно для вантажних перевезень, де швидкісні параметри є менш важливими.

Для розвитку двох сполучень з Києвом, від польського кордону та зі Львова, було визначено кілька альтернативних варіантів шляхом об'єднання різних існуючих залізничних ділянок. На першому етапі аналіз варіантів виконується для кожної ділянки окремо. Потім різні варіанти об'єднуються для визначення чотирьох альтернативних варіантів (**рис. 3**).

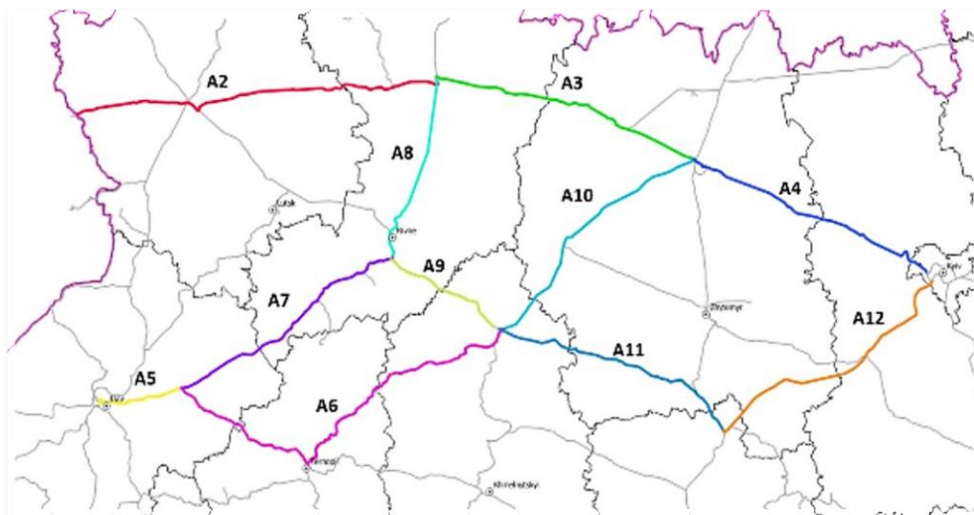


Рисунок 3 — Розвиток колії 1 435 мм на коридорі Дорогуськ (кордон Польщі та України) – Київ та Львів – Київ [1]

Для визначення найкращого варіанту колії шириною 1 435 мм від Києва до польського кордону та Львова, відрізки від A4 до A12 були об'єднані для визначення чотирьох можливих альтернатив.

Підсумовуючи аналіз вищезазначених альтернатив, експерти JASPERS стверджують, що:

— **Альтернатива I** є найменш витратною, але забезпечує найдовше сполучення між Львовом та Києвом і має більший вплив на основний коридор між Львовом та Києвом, ніж Альтернатива II;

— **Альтернатива II та Альтернатива III** мають дуже схожу оцінку вартості та довжину. Альтернатива II є кращою, оскільки вона має менший вплив на основний коридор між Львовом та Києвом;

— **Альтернатива IV** забезпечує найшвидше можливе сполучення, але є значно дорожчою за інші альтернативи і має найбільший вплив на основний коридор між Львовом і Києвом (**рис. 4**).

Отже, з точки зору JASPERS, Альтернатива II є найкращою альтернативою.

Якщо розглядати коридор від Чопу (кордон Словаччини / Угорщини / Румунії) до Львова (**рис. 5**), то ця ділянка проходить через Карпатські гори, що потребуватиме значних інвестицій для досягнення горизонтального вирівнювання для більшої операційної швидкості. Однак, як зазначалося вище, це сполучення призначене переважно для вантажних перевезень, тому швидкість не є настільки важливою.

Було визначено два альтернативні коридори для цього сполучення: Чоп – Батьово – Львів та Чоп – Ужгород – Самбір – Львів. Обидва коридори мають спільні ділянки між кордоном України та Угорщини, Румунії, Словаччини.

Ділянка кордон UA / SK-HU-RO – Чоп – Батьово (B1) характеризується наявністю декількох ліній з різною шириною колії та перевантажувальними пристроями. Для спрощення, для цих ділянок використовувалася оцінка вартості Варіанту 7 (модернізація двоколісної лінії шириною 1 520 мм і будівництво одноколісної лінії шириною 1 435 мм).

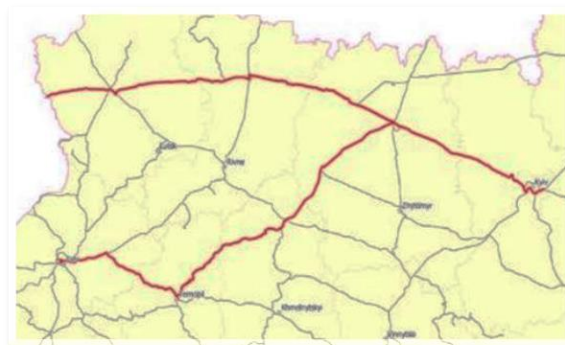
Однак, для спрощення, було взято вартість Варіанту 9 для з'єднання з румунським кордоном в Халмеу, дана ділянка є лише одноколісною із суміщеною колією. Таким чином, загальні інвестиційні витрати для сегменту B1 становлять 189 млн євро [1].

Альтернативна I



Ця альтернатива складається з сегментів A2, A3, A4, A5, A7 та A8, а також вузлів Львів, Ковель, Сарни та Коростень. Загальна кошторисна вартість становить 4 183,541 млн євро

Альтернативна I



Ця альтернатива складається з сегментів A2, A3, A4, A5, A6 та A10, а також вузлів Львів, Ковель, Сарни, Шепетівка та Коростень. Загальна кошторисна вартість становить 4 648,749 млн євро

Альтернативна III



Ця альтернатива складається з сегментів A2, A3, A4, A5, A7, A9 і A10 та вузлів Львів, Ковель, Сарни, Шепетівка та Коростень. Загальна кошторисна вартість становить 4 682,907 млн євро

Альтернативна IV



Ця альтернатива складається з сегментів A2, A3, A4, A5, A7, A9, A11 та A12, а також вузлів Львів, Ковель, Сарни, Шепетівка, Коростень, Козятин та Фастів. Загальна кошторисна вартість становить 5 947,235 млн євро

Рисунок 4 — Порівняльна таблиця альтернативних варіантів розвитку колії 1 435 від Києва до польського кордону та Львова [1]

Альтернатива I. Ділянка між Батьово та Львовом (B2) наразі є двоколійною. У цьому випадку, варіанти 3, 4 і 7 були оцінені для реалізації 1 435 мм. Орієнтовна вартість для кожного варіанту становить (без урахування вартості трансформації Львівського вузла):

- Варіант 3: 1 333,116 млн євро
- Варіант 4: 1 372,996 млн євро
- Варіант 7: 1 702,676 млн євро

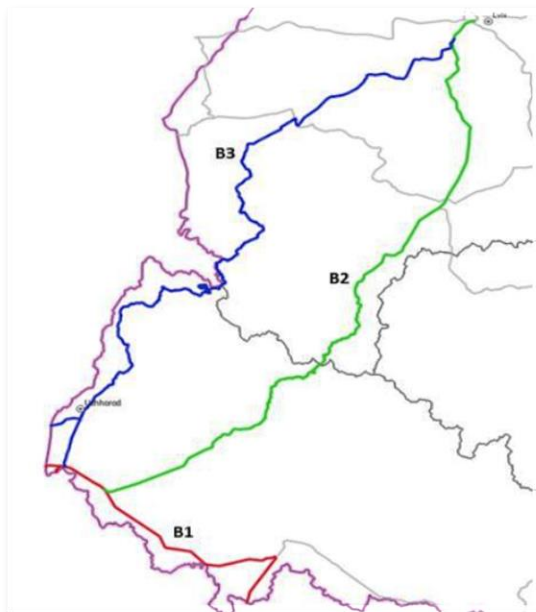


Рисунок 5 — Схема коридору Чоп (кордон Словаччини / Угорщини / Румунії) – Львів [1]

Альтернатива II. Ділянка Чоп – Ужгород – Самбір – Львів (B3) є одноколісною. Таким чином, між Ужгородом і Львовом розглядався лише Варіант 9 для реалізації колії шириною 1 435 мм. Орієнтовна інвестиційна вартість становить 933,474 млн євро (без урахування вартості трансформації Львівського вузла). Однак, між Чопом і Ужгородом необхідно буде зберегти існуюче одноколісне з'єднання 1 520 мм, щоб забезпечити зв'язок з лінією 1 520 мм, що проходить з України до Кошице в Словаччині. На цій ділянці необхідно буде побудувати нову паралельну одноколісну лінію шириною 1 435 мм. Для оцінки вартості були прийняті ті ж самі витрати, що і для Варіанту 3, що призвело до оцінки 84,354 млн євро для цієї ділянки. Нарешті, модернізація існуючої колії 1 520 мм з'єднання між Ужгородом і Матшовце (кордон між Україною і Словаччиною) була включена в оцінку вартості цього варіанту. Оскільки, це дуже коротка ділянка, пропонується модернізувати існуючу колію 1 520 мм і побудувати паралельну колію 1 435 мм, щоб забезпечити доступність для обох колій. Для спрощення, було взято вартість Варіанту 3 до цієї ділянки, загалом 41,528 млн євро.

Загальна вартість Альтернативи II орієнтовно становить 1 059,355 млн євро. Альтернатива II є значно дешевшою, ніж обрана комбінація варіантів для Альтернативи I. Вона має нижчий швидкісний профіль, але не вимагає будівництва нової лінії через складний рельєф місцевості. Таким чином, Альтернатива II є запропонованою альтернативою для реалізації коридору шириною 1 435 мм у цьому зв'язку.

Загальна кошторисна вартість Альтернативи II, включаючи ділянку витрат B1, становить 1 248,316 млн євро.

Запропонована конфігурація для ділянки Чоп – Львів

Чоп / Матшовце – Ужгород
Одна колія 1 435 мм та одна колія 1 520 мм.



Ужгород – Львів
Одна колія 1 435 мм.



Загальна вартість пріоритету II складе 5 897,066 млн євро.

Пріоритет III. Розвиток колії 1 435 мм на коридорі Київ – Харків – Дніпро (рис. 6). Наступним пріоритетом є продовження мережі 1 435 мм від Києва до Харкова та Дніпра, двох найбільших міст України, які вважаються дуже важливими для майбутнього потенціалу контейнерних перевезень. Для першої частини цього з'єднання, між Києвом і Полтавою, оцінюється лише одна альтернатива. Однак, за межами Полтави розглядаються два варіанти з'єднання з Харковом і Дніпром. Вартість трансформації київського вузла розглядається як частина цього з'єднання, однак вартість повної трансформації харківського та дніпровського вузлів не включена, оскільки обидва міста будуть знаходитися на периферії мережі 1 435 мм.

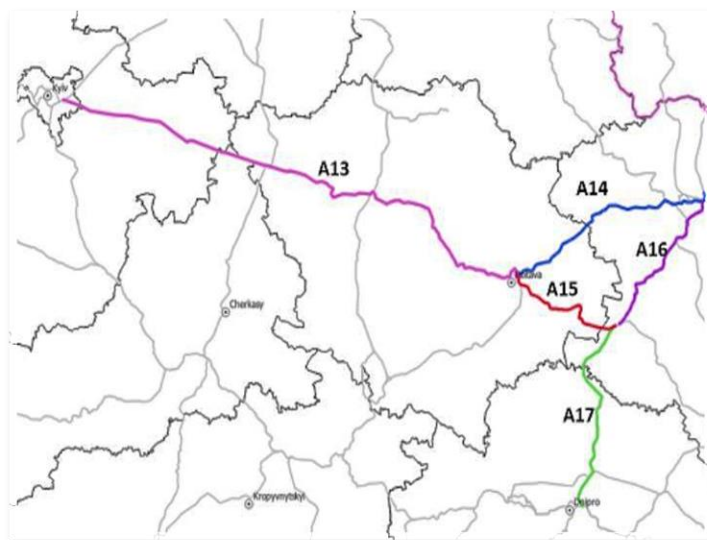


Рисунок 6 — Схема розвитку колії 1 435 мм на коридорі Київ – Харків – Дніпро [1]

Ділянка Київ – Полтава (A13). Між Києвом і Гребінкою коридор є двоколіїним, а між Гребінкою і Полтавою – двоколіїним на деяких ділянках і одноколіїним на інших. Для інтеграції колії шириною 1 435 мм в існуючий коридор були оцінені варіанти 3, 4 і 7. Орієнтовна вартість Варіанту 3 (що вважається найбільш вигідним з точки зору експертів JASPERS) становить (не включаючи вартість трансформації Київського вузла) 1 410,667 млн євро [1].

Ділянка Полтава – Харків (A14) вже є двоколіїною. Варіанти 3, 4 і 7 були оцінені для реалізації колії шириною 1 435 мм у вихідному коридорі. Орієнтовна вартість Варіанту 3 (без вартості трансформації Харківського вузла) становить 565,932 млн євро.

Ділянка Полтава – Красноград (A15) У цьому випадку, хоча є ряд коротких двоколіїних ділянок, з метою спрощення було розглянуто лише вартість перетворення однієї колії шириною 1 520 мм на 1 435 мм (Варіант 9). Орієнтовна вартість становить 201,182 млн євро.

Ділянка Харків – Красноград (A16) – це одноколійна ділянка (за винятком околиць Харкова), було розглянуто лише Варіант 9. Орієнтовна вартість становить 224,082 млн євро.

Ділянка Красноград – Дніпро (A17) – одноколійна ділянка (за винятком ділянки між Самар і Дніпром), було розглянуто лише Варіант 9. Орієнтовна вартість становить 296,794 млн євро.

Також, до пріоритету III відносяться ділянки:

Рава-Руська (кордон України та Польщі) – Львів (коридор Варшава – Львів). Для цього існуючого одноколіїного сполучення не існує альтернативних коридорів, і розглядався лише Варіант 9. Між Равою-Руською та українсько-польським кордоном у Гребенному вже існує колія шириною 1 435 мм. У детальному ТЕО слід оцінити, чи потрібна повна модернізація цієї ділянки. Вартість повної модернізації орієнтовно становить 154,273 млн євро (без урахування витрат на трансформацію Львівського вузла).

Львів – Вадул-Сірет / Багринівка через Ходорів – Івано-Франківськ – Чернівці (кордон між Україною та Румунією). Оскільки, в даний час це одноколіїний коридор, а функціональність

1 520 мм має бути забезпечена до Бурштинської електростанції та другорядних ліній 1 520 мм до Чернівців, для цієї частини коридору розглядався Варіант 3. Від Чернівців до кордону між Україною та Румунією в Багринівці розглядався Варіант 9. Орієнтовна вартість реалізації становить 1 234,476 млн євро.

Одеса – Кишинів. Для розвитку даного напрямку розглядається два варіанти: перший: Кишинів – Кайнари – Басарабська – Одеса. Для цього варіанту пропонується перетворення існуючої одноколіїної лінії шириною 1 520 мм між Кишинівом і Одесою через Кайнари і Басарабську на 1 435 мм (Варіант 9). Вартість реалізації цього варіанту також включає з'єднання з Ізмаїльським річковим портом, оскільки в іншому випадку він буде ізольованим, і становить 1 084,459 млн євро; другий: Кишинів – Бендери – Тирасполь – Одеса. Це сполучення є двоколіїним між Бендерами та Одесою. Лише ділянка між Кишинівом та Бендерами є одноколіїною. Беручи до уваги, що між Кишинівом і Унгенами (Модова) пропонується нова колія 1 435 мм паралельно існуючій колії 1 520 мм, було б доцільно запропонувати таке ж рішення (одна колія 1 520 мм і одна колія 1 435 мм) для всього сполучення між Кишинівом і Роздільною в Україні, тобто Варіант 3. Між Роздільною та Одесою сполучення буде здійснюватися через основний коридор, що з'єднує Одесу зі Львовом та Києвом, де не рекомендується зменшувати існуючу пропускну спроможність 1 520 мм. Таким чином, для цієї ділянки пропонується Варіант 7. Орієнтовна вартість становить 875,903 млн євро.

Загальна вартість пріоритету III (з урахуванням сполучення з Одесою через Бендери та Тирасполь): 4 896,187 млн євро.

Запропонована експертами JASPERS орієнтовна вартість рішень з імплементації залізничної мережі 1 435 мм в Україні для кожного пріоритету наведена в **табл. 3**.

Таблиця 3

Порівняння вартостей пріоритетів

Номер пріоритету	Вартість, млн євро
Пріоритет I	698,825
Пріоритет II	5 897,066
Пріоритет III	4 896,187
Всього	11 492,079

Висновки

Трансформація існуючих залізничних коридорів, шляхом будівництва паралельної мережі колій 1435 мм, повинна сприяти інтеграції України до європейського транспортного простору шляхом покращення **сполучення** з ЄС та збільшення пропускну спроможності нових експортних коридорів. Також нові дільниці євроколії мають сприяти підвищенню стійкості транспортної системи та логістичних ланцюгів шляхом зменшення їхньої вразливості до надзвичайних подій, зокрема таких як блокада українських портів. При цьому з економічної та технічної точки зору наразі не вбачається доцільними повний перехід на колію шириною 1 435 мм, базуючись на досвіді співіснування різних систем в Іспанії, Португалії, Фінляндії, країн Балтії.

Розвиток залізничної мережі з шириною колії 1435 мм в Україні має здійснюватися по-етапно, оскільки будівництво публічної інфраструктури загального користування потребує значного фінансування. Першочерговими проєктами будівництва можуть стати дільниці, що поєднують обласні центри регіонів з країнами ЄС, як то зі Львовом, Ужгородом, Чернівцями. Подальший розвиток євроколії в напрямку Києва й інших областей України — за результатами техніко-економічних обґрунтувань, проєктною документацією для співвідношення економічного ефекту з інвестиціями в інфраструктуру. Джерелами покриття майбутніх проєктів будівництва можуть бути кошти міжнародних фінансових організацій, державного бюджету та іноземних урядів.

Список літератури

1. Strategy for the EU integration of the Ukrainian and Moldovan rail systems / JASPERS 11 July 2023, режим доступу: URL: <https://jaspers.eib.org/knowledge/publications/a-strategy-for-the-eu-integration-of-the-ukrainian-and-moldovan-rail-systems> (дата звернення: 01.03.2025).

2. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the Committee of the regions / An action plan for EU-Ukraine Solidarity Lanes to facilitate Ukraine's agricultural export and bilateral trade with the EU, European Commission, Brussels, 12.5.2022 COM(2022) 217 final\$ (дата звернення: 01.03.2025).

3. Офіційний сайт Єврокомісії, режим доступу: URL: <https://webgate.ec.europa.eu/tentec-maps/web/public/screen/home> (дата звернення: 01.03.2025).

4. New transport proposals target greater efficiency and more sustainable travel, режим доступу: URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_6776 (дата звернення: 01.03.2025).

5. Communication From The Commission To The European Parliament And The Council on the extension of the trans-European transport network (TEN-T) to neighbouring third countries, COM(2021) 820 final, Brussels, 14.12.2021 (дата звернення: 01.03.2025).

6. Про схвалення Стратегії розвитку та розбудови прикордонної інфраструктури з країнами Європейського Союзу та Республікою Молдова до 2030 року і затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2024-2030 роках: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.12.2024 № 1337-р. / База даних Законодавство України / Верховна рада України / URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1337-2024-%D1%80#Text> (дата звернення: 01.03.2025).

7. Белашов Є. В., Модернізація залізничної інфраструктури як чинник підтримки національної економіки в умовах війни на виснаження. Національний інститут стратегічних досліджень, режим доступу: URL: <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2022-07/belashov.pdf> (дата звернення: 01.03.2025).

8. Мельник М. І., Лещух І. В. Розвиток інфраструктури мультимодальних перевезень в Україні у контексті зміни транспортно-логістичних маршрутів в умовах війни: наукова доповідь Львів, 2023. 51 с. (Серія «Проблеми регіонального розвитку»).

9. Курган М. Б., Курган Д. М., Байдак С. Ю., Новік Р. Б., Хмелевська Н. П. Обґрунтування доцільності перебудови однієї з колій двоколіїної ділянки на колію європейського стандарту (1 435 мм). *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*, 2024. Вип. 209. С. 75–90. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.209.2024.314320>.

References

1. Strategy for the EU integration of the Ukrainian and Moldovan rail systems / JASPERS 11 July 2023, rezhym dostupu: URL: <https://jaspers.eib.org/knowledge/publications/a-strategy-for-the-eu-integration-of-the-ukrainian-and-moldovan-rail-systems> (date of application: 01.03.2025) [in English].

2. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the Committee of the regions / An action plan for EU-Ukraine Solidarity Lanes to facilitate Ukraine's agricultural export and bilateral trade with the EU, European Commission, Brussels, 12.5.2022 COM(2022) 217 final\$. (date of application: 01.03.2025) [in English].

3. Ofitsiynyi sait Yevrokomisii, rezhym dostupu: URL: <https://webgate.ec.europa.eu/tentec-maps/web/public/screen/home> (date of application: 01.03.2025) [in English].

4. New transport proposals target greater efficiency and more sustainable travel, rezhym dostupu: URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_6776. (date of application: 01.03.2025) [in English].

5. Communication From The Commission To The European Parliament And The Council on the extension of the trans-European transport network (TEN-T) to neighbouring third countries, COM(2021) 820 final, Brussels, 14.12.2021 (date of application: 01.03.2025) [in English].

6. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy "Pro skhvalennia Stratehii rozvytku ta rozbudovy prykordonnoi infrastruktury z krainamy Yevropeiskoho Soiuzu ta Respublikoiu Moldova do 2030 roku i zatverdzhennia operatsiinoho planu zakhodiv z yii realizatsii u 2024-2030 rokakh" vid 24.12.2024 No. 1337-p [in Ukrainian].

7. Bielashov Ye. V., Modernizatsiia zaliznychnoi infrastruktury yak chynnyk pidtrymky natsionalnoi ekonomiky v umovakh viiny na vysnazhennia (Modernization of railway infrastructure as a factor in supporting the national economy in the conditions of a war of attrition). Natsionalnyi instytut stratehichnykh doslidzhen, rezhym dostupu: URL: <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2022-07/belashov.pdf> [in Ukrainian].

8. Melnyk M. I., Leshchukh I. V. Rozvytok infrastruktury multimodalnykh perevezen v Ukraini u konteksti zminy transportno-lohistychnykh marshrutiv v umovakh viiny: naukova dopovid (Development of multimodal transportation infrastructure in Ukraine in the context of changing transport and logistics routes in war conditions). Lviv, 2023. 51 p. (Seriia «Problemy rehionalnoho rozvytku») [in Ukrainian].

9. Kurhan M. B., Kurhan D. M., Baidak S. Yu., Novik R. B., Khmelevska N. P., Obgruntuvannia dotsilnosti perebudovy odniiei z kolii dvokoliinoi dilianky na koliiu yevropeiskoho standartu (1 435 mm). (ustification of the feasibility of rebuilding one of the tracks of the double-track section to the European standard track (1 435 mm)) Zbirnyk naukovykh prats UkrDUZT, 2024. Vyp. 209. P. 75–90 DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.209.2024.314320> [in Ukrainian].

Volodymyr Shemayev¹, D.Sc., <https://orcid.org/0000-0001-5599-3941>

Mykola Ananiev², Ph.D., Assoc. Prof., <https://orcid.org/0000-0002-9459-9522>

¹Transport Academy of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman, Kyiv, Ukraine

STRATEGIC DEVELOPMENT PRIORITIES OF THE EUROPEAN GAUGE 1435 MM IN UKRAINE

Abstract

Introduction. Rail transport has been and remains the main mode for cargo transportation in Ukraine. At the same time, due to the military aggression against Ukraine, air transport, which was used for most international passenger transportation, has not been available since February 2022. Shipping remains partially closed due to the aggressor's blockade of Ukrainian seaports and canals. This makes it important to ensure the sustainable functioning of alternative land routes to the EU, as well as the organization of cargo and passenger transportation in cooperation with European countries.

Problem Statement. Given the different gauge size from most EU neighboring countries, projects aimed at increasing throughput and freight capacity with the European Union by developing a 1 435 mm gauge railway network (Euro gauge) in Ukraine, as well as organizing multimodal terminals at the border and infrastructure for transferring bogies are of particular importance.

Purpose. Analysis of initiatives and priorities for the development of the 1 435 mm gauge (European gauge) railway network in Ukraine.

Materials and methods. The article uses the materials of the strategy for the integration of the Ukrainian and Moldovan railway systems into the EU, developed by JASPERS experts, the State Strategy for the Development and Construction of Border Infrastructure with the European Union and the Republic of Moldova until 2030, as well as the own statistics of JSC "Ukrainian Railways". With the help of technical and economic analysis, synthesis and classification, as well as generalization of the accumulated information, the ways of development of the European gauge (1 435 mm) in Ukraine were investigated, and the necessary conclusions were reached regarding the choice of options for the implementation of the European gauge in Ukraine.

Results. The authors analyze possible scenarios for the development of the European gauge in Ukraine and propose three priorities for discussion with a cost estimate of implementation based on the input of JASPERS experts.

Conclusions. The transformation of existing railroad corridors by building a parallel 1 435 mm gauge network should facilitate Ukraine's integration into the European transport space by improving connectivity with the EU and increasing the capacity of new export corridors. At the same time, from an economic and technical point of view, a full transition to a 1 435 mm gauge is not currently feasible. The development of the 1 435 mm gauge railway network in Ukraine should be carried out in stages, as the construction of public infrastructure for general use requires significant funding. Funds from international financial organizations, the state budget and foreign governments can be used to cover future construction projects.

Keywords: infrastructure, construction of the European 1 435 mm gauge railroad, TEN-T corridors, integration of the railway system into the EU, increasing capacity.

УДК 502.131.1:629.1:338.47

Білоног О. Є., канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0003-2471-5388>Янішевський С. В., канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-0113-5463>Костюченко О. В., <https://orcid.org/0009-0007-0959-9135>Фартучний В. І., <https://orcid.org/0009-0002-8278-4955>Черненко І. О., <https://orcid.org/0009-0000-4393-221X>Янішевський Є. С., <https://orcid.org/0000-0002-0362-9619>*Національний транспортний університет, Київ, Україна*

ВПРОВАДЖЕННЯ ПІДХОДІВ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПІД ЧАС УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СУБ'ЄКТІВ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Анотація

Вступ. У статті запропоновано методичні підходи до реалізації положень концепції сталого розвитку під час управління процесами транспортного обслуговування суб'єктів господарської діяльності в частині зниження негативного впливу на довкілля від транспортних засобів як пересувних джерел забруднення.

Проблематика. Останні статистичні дані щодо екологічної ситуації в нашій країні свідчать про актуальність теми даного дослідження. Негативний вплив на довкілля, який спричиняється стаціонарними та пересувними джерелами забруднення, у загальних обсягах викидів є суттєвим, хоча і має тенденцію до зниження. Стаціонарні джерела забруднення, до яких належать підприємства різних галузей промисловості, зумовлюють приблизно 30 % загального обсягу викидів. Найбільший вклад у ці викиди здійснюють підприємства з виробництва електроенергії (понад 36 %) та металургійного сектору (понад 24 %). Внесок автомобільного транспорту в загальні викиди залежно від регіону складає понад 45 %. Основними викидами, які спричиняють автотранспортні засоби, є діоксид вуглецю, оксид вуглецю, оксиди азоту, а також леткі органічні сполуки.

Мета роботи полягає у формуванні пропозицій та розробленні механізму практичного впровадження підходів сталого розвитку під час управління процесами транспортного обслуговування суб'єктів господарської діяльності.

Матеріали та методи. У статті використано методичні підходи, які застосовуються для розрахунку викидів забруднюючих речовин і парникових газів у повітря від транспортних засобів при проведенні статистичних спостережень на державному рівні.

Результати. На основі результатів розрахунків викидів забруднюючих речовин суб'єкти господарської діяльності можуть більш обґрунтовано планувати свої бізнес-процеси та обирати автотранспортні засоби для роботи на конкретних маршрутах на основі критерію мінімізації негативного впливу на довкілля (викидів забруднюючих речовин).

Висновки. У роботі в контексті реалізації підходів сталого розвитку в частині зниження впливу на довкілля запропоновано механізм практичного застосування методики розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря на рівні окремих суб'єктів господарської діяльності. У практичному аспекті дана методика була застосована на прикладі транспортного обслуговування виробничого підприємства під час розвезення готової продукції до замовників.

Ключові слова: бізнес-процеси, викиди забруднюючих речовин, сталий розвиток, суб'єкти господарської діяльності, транспортні засоби, транспортне обслуговування.

Вступ

Реалізація положень концепції сталого розвитку, яка спрямована на встановлення балансу між задоволенням сучасних потреб суспільства і захистом інтересів майбутніх поколінь, включаючи їх потребу у безпечному та здоровому довкіллі, передбачає фокусування усіх зусиль в економічній,

екологічній та соціальній сфері в таких напрямках як енерго- та ресурсозбереження, а також мінімізація негативного впливу на довкілля.

Сукупність суб'єктів, на які покладається відповідальність за реалізацію концепції сталого розвитку, є дуже широким і залежить як від рівня, так і від контексту. Зокрема, за ієрархією відповідальності серед основних можна виділити наступні рівні: держави та їх уряди, представники бізнесу різного рівня, місцеві громади, громадські та неурядові організації, міжнародні інституції та кожен окремий індивідуум [1].

На найвищому рівні ієрархії передбачається розробка політики та виконання міжнародних зобов'язань. До прикладу, уряди формують національні стратегії сталого розвитку, розробляють і впроваджують законодавчу базу, регуляції, а також контролюють міжнародні зобов'язання щодо виконання цілей сталого розвитку, визначених ООН, у рамках Порядку денного на період до 2030 року.

Діяльність представників бізнесових структур різного рівня в умовах реалізації концепції сталого розвитку передбачає впровадження відповідального управління та інновацій. Відповідальне управління полягає в інтеграції принципів сталого розвитку у виробничі процеси, управління ресурсами та корпоративну політику, а інноваційні підходи реалізуються через розробку екологічних технологій та зменшення впливу на довкілля [2].

Оскільки саме громади відіграють ключову роль у реалізації проєктів, пов'язаних із розвитком інфраструктури, охороною довкілля, освітою тощо, то для реалізації положень стратегії сталого розвитку також передбачається залучення громад на місцевому рівні.

Роль громадських та неурядових організацій під час реалізації цілей сталого розвитку полягає у просвітницькій місії та адвокації. Саме вони сприяють підвищенню рівня обізнаності суспільства, проводять моніторинг політичних процесів та захищають права громад. Також громадські та неурядові організації контролюють реалізацію проєктів щодо виконання ініціатив у сферах екології, соціальної рівності та економічного розвитку.

Роль міжнародних інституцій в умовах впровадження підходів сталого розвитку полягає, з одного боку, у координації дій таких міжнародних організацій, як ООН, Світовий банк, ЄС тощо, які надають фінансову підтримку, розробляють рамкові угоди та забезпечують моніторинг, а, з іншого – у пошуку та забезпеченні належного фінансування через гранти, кредити та інші ресурси.

Життя кожної окремої людини в умовах сталого розвитку полягає у формуванні нової філософії існування, де основними аспектами є особиста відповідальність та громадська участь. Передбачається формування нової моделі екологічно-відповідальної поведінки (економія ресурсів, свідоме споживання, сортування сміття тощо). У свою чергу, громадська участь передбачає залучення до місцевих ініціатив і підтримка відповідних проєктів.

Зрозуміло, що ключ до успішної реалізації цілей сталого розвитку полягає у партнерстві між структурами усіх рівнів відповідальності. Аналізуючи екологічний вектор стратегії, варто звернути особливу увагу на представників бізнесових структур виробничої сфери, оскільки масштаби їхньої діяльності та характер бізнес-процесів безпосередньо пов'язується з загостренням проблеми впливу на довкілля. Окремої уваги також заслуговують процеси транспортного обслуговування вищезгаданих підприємств. Таким чином, для мінімізації негативного впливу на довкілля за даних обставин у фокусі стають інноваційні підходи, які передбачають розробку та впровадження екологічних технологій та зменшення екологічного навантаження, а також інтеграція принципів сталого розвитку у відповідні бізнес-процеси.

Останні статистичні дані щодо екологічної ситуації в нашій країні свідчать про актуальність теми даного дослідження. Негативний вплив на довкілля, який спричиняється стаціонарними та пересувними джерелами забруднення, в загальних обсягах викидів є суттєвим, хоча і має тенденцію до зниження. У зв'язку з повномасштабною військовою агресією росії проти нашої держави та оголошеним воєнним станом компетентні структури, на які покладається проведення статистичних спостережень, наразі не оприлюднюють статистичні дані по пересувним джерелам забруднення, до яких відносяться всі транспортні засоби (остання офіційна статистична інформація стосується 2021 року). Надання оперативної інформації буде поновлено після завершення

встановленого Законом України «Про захист інтересів суб'єктів подання звітності та інших документів у період дії воєнного стану або стану війни» терміну для подання статистичної та фінансової звітності [3].

Стаціонарні джерела забруднення, до яких належать підприємства різних галузей промисловості, зумовлюють приблизно 30 % загального обсягу викидів. Найбільший вклад у ці викиди здійснюють підприємства з виробництва електроенергії (понад 36 %) та металургійного сектору (понад 24 %). Серед основних речовин-забруднювачів, які спричиняють стаціонарні джерела — діоксид сірки, діоксид азоту, оксид вуглецю, пилові частинки та інші речовини [3]. Внесок автомобільного транспорту в загальні викиди залежно від регіону складає понад 45 % [3]. Основними викидами, які спричиняють автотранспортні засоби (АТЗ), є діоксид вуглецю, оксид вуглецю, оксиди азоту, а також леткі органічні сполуки. Відомості щодо динаміки викидів забруднюючих речовин від стаціонарних і пересувних джерел наведені на **рис. 1**.



Рисунок 1 — Викиди забруднюючих речовин від стаціонарних і пересувних джерел забруднення, тис. т [3]

Зрозуміло, що транспорт відіграє ключову роль при забезпеченні розвитку економіки країни, але, разом із тим, робота транспорту супроводжується загостренням явищ, які негативно впливають на якість життя населення, а також на розвиток природного і соціального середовища. Останні, зокрема, проявляються у загостренні енергетичних проблем, збільшенні частоти виникнення заторів у великих містах, забрудненні довкілля тощо. За даних обставин впровадження підходів сталого розвитку в сфері транспортного обслуговування суб'єктів господарської діяльності виступає одним із реальних шляхів розв'язання зазначених проблем.

Останнім часом багато як зарубіжних, так і вітчизняних дослідників приділяють значну увагу загальним питанням впровадження цілей сталого розвитку [4, 5, 6]. У роботах [7, 8] досліджується проблематика функціонування транспорту в умовах сталого розвитку. Також заслуговують на увагу роботи [9, 10, 11], які присвячені особливостям забезпечення сталого управління ланцюгами постачань та підприємствами логістичних провайдерів, серед ключових бізнес-процесів яких є функція транспортування. Окремий напрямок наукових досліджень у сфері забезпечення сталості транспортних систем простежується в роботах, які фокусуються на плануванні систем сталої мобільності у великих містах [12, 13]. Аналіз вищезазначених робіт показав, що більшість із них стосується адаптації цілей сталого розвитку до українського контексту або ж розробленню концептуальних основ впровадження підходів сталого розвитку в даній сфері. Хоча варто зазначити, що сучасні реалії життя в Україні вимагають якнайшвидшого переходу від стадії дослідження питань сталого розвитку до стадії практичної реалізації.

Основна частина

Аналіз основних екологічних впливів, які виникають в умовах транспортного обслуговування суб'єктів господарювання, показав, що вони стосуються, головним чином:

- викидів в атмосферу шкідливих речовин, які спричиняють транспортні засоби;
- використання більш дешевих видів палива, продукти переробки яких негативно впливають на стан довкілля та здоров'я людини;
- шумового та вібраційного забруднення;
- надавання переваги використанню автомобільного транспорту при можливості застосування більш екологічно стійких видів транспорту (морського, річкового чи залізничного).

В Україні на державному рівні проводяться статистичні спостереження за викидами забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від пересувних джерел (транспортних засобів). Метою таких спостережень є отримання повної та достовірної статистичної інформації про забруднення атмосфери як для національних потреб, так і для відображення стану виконання міжнародних зобов'язань країни у зв'язку з ратифікацією «Конвенції про трансграничне забруднення повітря на великі відстані», Стокгольмської конвенції про стійкі органічні забруднювачі і Рамкової конвенції ООН про зміну клімату [3]. Основним завданням таких спостережень є визначення обсягів викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від використання пересувних транспортних засобів (автомобілів, автобусів, залізничних потягів, повітряних, морських та річкових суден, промислової, сільськогосподарської, будівельної та іншої техніки).

Інструментом для статистичного спостереження виступає методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів [14]. Дана методика дозволяє проводити визначення обсягів забруднюючих речовин та парникових газів, які потрапляють у повітря, до яких, зокрема, відносяться: оксид вуглецю, аміак, метан, оксид азоту, сажа, діоксид азоту, діоксид сірки, свинець, вуглекислий газ, неметанові леткі органічні сполуки, бензопірен. Крім того, вказана методика дозволяє проводити розрахунки для транспортних засобів, які перебувають у власності суб'єктів господарської діяльності (юридичних осіб), а також фізичних осіб.

Очевидно, що в умовах впровадження принципів сталого розвитку при управлінні процесами транспортного обслуговування АТЗ (зокрема, щодо мінімізації негативного впливу на довкілля) підходи, на яких ґрунтується дана методика, можуть бути використані на рівні окремих суб'єктів господарської діяльності. На основі результатів розрахунків викидів забруднюючих речовин останні можуть більш обґрунтовано планувати свої бізнес-процеси та обирати АТЗ для роботи на конкретних маршрутах на основі критерію мінімізації впливу на довкілля (викидів забруднюючих речовин).

Базовою інформацією для проведення розрахунків є статистична інформація щодо обсягів використання транспортними засобами палива (бензину автомобільного, газойлів (дизельного палива), стисненого і скрапленого природного газу, бензину авіаційного, палива бензинового реактивного, палива реактивного типу гас, гасу для технічних цілей, мазутів топкових важких), передбачена державними статистичними спостереженнями, та питомі викиди забруднюючих речовин і парникових газів в атмосферу від споживання однієї тонни палива, рекомендовані Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів.

Викиди свинцю визначаються тільки від споживання етильованого бензину. Викиди вуглекислого газу від транспортних засобів визначаються лише від використання бензину та газойлю (дизельного палива), палива бензинового реактивного, бензину авіаційного, палива реактивного типу гас та гасу для технічних цілей.

На державному рівні розрахунок викидів забруднюючих речовин та парникових газів від транспортних засобів проводиться щорічно у розрізі об'єктів адміністративно-територіального устрою України відповідно до КОАТУУ, за видами економічної діяльності відповідно до КВЕД, організаційно-правовими формами господарювання відповідно до КОПФГ.

Оскільки в даному дослідженні методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря пропонується застосувати для умов автотранспортного обслуговування виробничого підприємства, надалі буде детально розглянута та її частина, яка стосується діяльності

автомобільного транспорту юридичних осіб. Зокрема, питомі викиди забруднюючих речовин в атмосферу від споживання однієї тонни палива та коефіцієнти впливу технічного стану автотранспорту, які представлені в **табл. 1**.

Вихідними даними для проведення розрахунків обсягів викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від АТЗ суб'єктів господарської діяльності є:

- витрати палива на пробіг та транспортну роботу АТЗ;
- питомі викиди забруднюючих речовин та парникових газів з одиниці використаного палива та коефіцієнти технічного стану АТЗ.

Для забезпечення роботи АТЗ суб'єктів господарської діяльності можуть використовуватися бензин, газойль (дизельне паливо), зріджений нафтовий газ, стиснений природний газ. Витрати палива на експлуатацію АТЗ наводяться в одиницях об'єму. Для їх переведення у вагові одиниці застосовуються наступні коефіцієнти (k_i):

- для бензину – 0,74 кг/л;
- для газойлю (дизельного палива) – 0,85 кг/л;
- для газу скрапленого – 0,55 кг/л;
- для газу стисненого – 0,59 кг/м³.

Таблиця 1

Питомі викиди забруднюючих речовин і парникових газів та коефіцієнти технічного стану транспортних засобів [14]

Забруднюючі речовини та парникові гази	Види палива, (кг/т)				Коефіцієнт впливу технічного стану АТЗ на питомі викиди (K_{TC})			
	бензин	газойль (дизельне паливо)	газ скраплений	газ стиснений	бензин	газойль (дизельне паливо)	газ скраплений	газ стиснений
Оксид вуглецю	201,8	36,2	201,8	87,7	1,5	1,5	1,5	1,7
Діоксид азоту	21,0	31,4	21,0	27,4	0,9	0,95	0,9	0,9
Діоксид сірки	1,0	4,3	1,0	–	1,0	1,0	1,0	1,0
Неметанові леткі органічні сполуки	53,0	3,08	25,7	22,7	1,0	1,0	1,0	1,0
Метан	0,94	0,083	0,96	–	1,5	1,4	1,5	1,8
Оксид азоту	0,188	0,165	–	–	1,0	1,0	1,0	1,0
Аміак	0,004	–	–	–	1,0	1,0	1,0	1,0
Сажа	–	3,85	–	–	1,0	1,8	1,0	1,0
Вуглекислий газ	3 183	3 138	–	–	1,0	1,0	1,0	1,0
Бенз(а)пірен	–	0,03	–	–	1,0	1,0	1,0	1,0
Свинець	0,013	–	–	–	1,0	1,0	1,0	1,0

Для розрахунку обсягів витраченого палива суб'єктом господарської діяльності за певними групами АТЗ використовують наступний вираз:

$$M_{ik} = O_{ik}k_i, \quad (1)$$

де M_{ik} — маса витраченого i виду палива k групою АТЗ суб'єкта господарської діяльності (т);

O_{ik} — кількість витраченого i виду палива k групою АТЗ суб'єкта господарської діяльності в одиницях об'єму (тис. л, тис. м³);

k_i — коефіцієнти переведення у вагові одиниці i виду палива (кг/л, кг/м³).

Викиди свинцю визначаються тільки для етильованого бензину. Обсяги використання етильованого бензину суб'єктами господарювання визначають за формулою:

$$M_{ik} = O_{ik} k_i K_{ет}, \quad (2)$$

де M_{ik} — маса використаного етильованого бензину k групою АТЗ суб'єкта господарювання;
 O_{ik} — загальний обсяг бензину, використаного k групою АТЗ суб'єкта господарювання, тис. л;
 k_i — коефіцієнт переведення у вагові одиниці (0,74 кг/л);
 $K_{ет}$ — частка етильованого бензину.

Для розрахунку викидів забруднюючих речовин і парникових газів від АТЗ суб'єкта господарської діяльності використовуються питомі викиди забруднюючих речовин в атмосферу від споживання однієї тонни палива та коефіцієнти впливу технічного стану АТЗ на них. Значення даних показників наведені в **табл. 2** і **табл. 3**.

Таблиця 2
Питомі викиди забруднюючих речовин і парникових газів від АТЗ, кг/т [14]

Групи АТЗ	Вид палива	Оксид вуглецю	Неметанові леткі органічні сполуки	Метан	Діоксид азоту	Сажа	Оксид азоту	Аміак	Вуглекислий газ	Діоксид сірки	Свинець	Бензопірен
Вантажні автомобілі	Бензин	197,8	28,5	0,64	21,6	—	0,035	0,004	3183	1,0	0,013	—
	Газойль (дизельне паливо)	36,2	8,16	0,25	31,4	3,85	0,12	—	3 138	4,3	—	0,03
	Газ скраплений	197,8	47,0	—	21,6	—	—	—	—	1,0	—	—
	Газ стиснений	87,7	22,7	—	27,4	—	—	—	—	—	—	—
Пасажи́рські автобуси	Бензин	205,5	28,5	0,64	20,5	—	0,035	0,004	3 183	1,0	0,013	—
	Газойль (дизельне паливо)	37,4	8,16	0,25	31,0	3,85	0,12	—	3 138	4,3	—	0,03
	Газ скраплений	205,5	49,2	—	20,5	—	—	—	—	1,0	—	—
	Газ стиснений	88,6	24,5	—	26,5	—	—	—	—	—	—	—
Пасажи́рські легкові автомобілі	Бензин	201,8	53,0	0,94	21,0	—	0,188	0,004	3 183	1,0	0,013	—
	Газойль (дизельне паливо)	36,2	3,08	0,083	31,4	3,85	0,165	—	3 138	4,3	—	0,03
	Газ скраплений	201,8	25,7	0,96	21,0	—	—	—	—	1,0	—	—
	Газ стиснений	87,7	22,7	—	27,4	—	—	—	—	—	—	—

Групи АТЗ	Вид палива	Оксид вуглецю	Неметанові леткі органічні сполуки	Метан	Діоксид азоту	Сажа	Оксид азоту	Аміак	Вуглекислий газ	Діоксид сірки	Свинець	Бензопірен
Спеціальні автомобілі легкові	Бензин	201,8	47,4	0,8	21,0	–	0,059	0,004	3 183	1,0	0,013	–
	Газойль (дизельне паливо)	36,2	4,64	0,055	31,4	3,85	0,188	–	3 138	4,3	–	0,03
	Газ скраплений	201,8	25,7	0,96	21,0	–	–	–	–	1,0	–	–
	Газ стиснений	87,7	22,7	–	27,4	–	–	–	–	–	–	–
Спеціальні автомобілі нелегкові	Бензин	197,8	28,5	0,64	21,6	–	0,035	0,004	3 183	1,0	0,013	–
	Газойль (дизельне паливо)	36,2	8,16	0,25	31,4	3,85	0,12	–	3 138	4,3	–	0,03
	Газ скраплений	197,8	47,0	–	21,6	–	–	–	–	1,0	–	–
	Газ стиснений	87,7	22,7	–	27,4	–	–	–	–	–	–	–

Таблиця 3

Коефіцієнти впливу технічного стану АТЗ на питомі викиди забруднюючих речовин і парникових газів [14]

Групи АТЗ	Вид палива	Оксид вуглецю	Неметанові леткі органічні сполуки	Метан	Діоксид азоту	Сажа	Оксид азоту	Аміак	Вуглекислий газ	Діоксид сірки	Свинець	Бензопірен
Вантажні автомобілі	Бензин	1,7	1,0	1,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Газойль (дизельне паливо)	1,5	1,0	1,4	0,95	1,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Газ скраплений	1,7	1,0	1,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Газ стиснений	1,7	1,0	1,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Пасажи́рські автобуси	Бензин	1,7	1,0	1,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Газойль (дизельне паливо)	1,5	1,0	1,4	0,95	1,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Групи АТЗ	Вид палива	Оксид вуглецю	Неметанові леткі органічні сполуки	Метан	Діоксид азоту	Сажа	Оксид азоту	Аміак	Вуглекислий газ	Діоксид сірки	Свинець	Бензопірен
Пасажи́рські автобуси	Газ скраплений	1,7	1,0	1,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Газ стиснений	1,7	1,0	1,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Пасажи́рські легкові автомобілі	Бензин	1,5	1,0	1,5	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Газойль (дизельне паливо)	1,5	1,0	1,4	0,95	1,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Пасажи́рські легкові автомобілі	Газ скраплений	1,5	1,0	1,5	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Газ стиснений	1,7	1,0	1,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Спеціальні автомобілі легкові	Бензин	1,5	1,0	1,5	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Газойль (дизельне паливо)	1,5	1,0	1,4	0,95	1,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Газ скраплений	1,5	1,0	1,5	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Газ стиснений	1,7	1,0	1,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Спеціальні автомобілі нелегкові	Бензин	1,7	1,0	1,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Газойлі (дизельне паливо)	1,5	1,0	1,4	0,95	1,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Газ скраплений	1,7	1,0	1,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Газ стиснений	1,7	1,0	1,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Розрахунок викидів забруднюючих речовин (окрім свинцю) і парникових газів у повітря від використання палива АТЗ суб'єкта господарської діяльності здійснюють за формулою:

$$V_{ijk} = M_{ik} K_{пвijk} K_{тсijk}, \quad (3)$$

де V_{ijk} — обсяги викидів j забруднюючої речовини (окрім свинцю) від спожитого палива i виду k групою автотранспорту суб'єкта господарської діяльності;
 M_{ik} — обсяги спожитого палива i виду k групою автотранспорту суб'єкта господарської діяльності;
 $K_{пвijk}$ — питомі викиди j забруднюючої речовини (окрім свинцю) від використання палива i виду k групою автотранспорту суб'єкта господарської діяльності;
 $K_{тсijk}$ — коефіцієнт впливу технічного стану на питомі викиди j забруднюючої речовини (крім свинцю) від використання i виду k групою АТЗ.

Викиди свинцю від використання етильованого бензину визначаються за формулою:

$$V_{ijk(c)} = M_{ik} K_{пвijk} K_{тсijk}, \quad (4)$$

- де $V_{ijk(c)}$ — обсяги викидів свинцю від споживання етильованого бензину k групою АТЗ суб'єкта господарської діяльності;
- M_{ik} — обсяги споживання етильованого бензину k групою АТЗ суб'єкта господарської діяльності;
- $K_{пвijk}$ — питомі викиди свинцю від споживання етильованого бензину k групою автотранспорту;
- $K_{тсijk}$ — коефіцієнт впливу технічного стану k -ї групи АТЗ на питомі викиди свинцю від споживання бензину.

Загальні обсяги викидів забруднюючих речовин та парникових газів від АТЗ, які експлуатуються суб'єктами господарської діяльності, по районах, містах обласного та республіканського підпорядкування (з урахуванням підпорядкованих населених пунктів) визначаються як сума обсягів викидів окремих забруднюючих речовин та парникових газів по підпорядкованих адміністративно-територіальних одиницях відповідно до КОАТУУ.

Сумарні обсяги викидів забруднюючих речовин та парникових газів за видами економічної діяльності та організаційно-правовими формами господарювання визначаються з використанням чинних класифікацій.

Практичний аспект застосування методики розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у рамках даного дослідження передбачає визначення вищезгаданих викидів в атмосферне повітря в процесі логістичного обслуговування виробничого підприємства ТОВ «Пивоварня Зіберта» під час розвезення готової продукції до замовників. Розрахунки проводилися для обґрунтування вибору АТЗ, який буде обслуговувати маршрут м. Фастів – м. Суми – м. Харків – м. Дніпро – м. Фастів. Було розглянуто чотири альтернативні вантажні АТЗ: DAF XF 105.460, MAN TGX 26.440, КАМАЗ 5490–001–68 та МАЗ–5440В5–8420–002. Схема розвізного маршруту м. Фастів – м. Суми – м. Харків – м. Дніпро – м. Фастів, довжина якого складає 1 258 км, наведена на **рис. 2**.

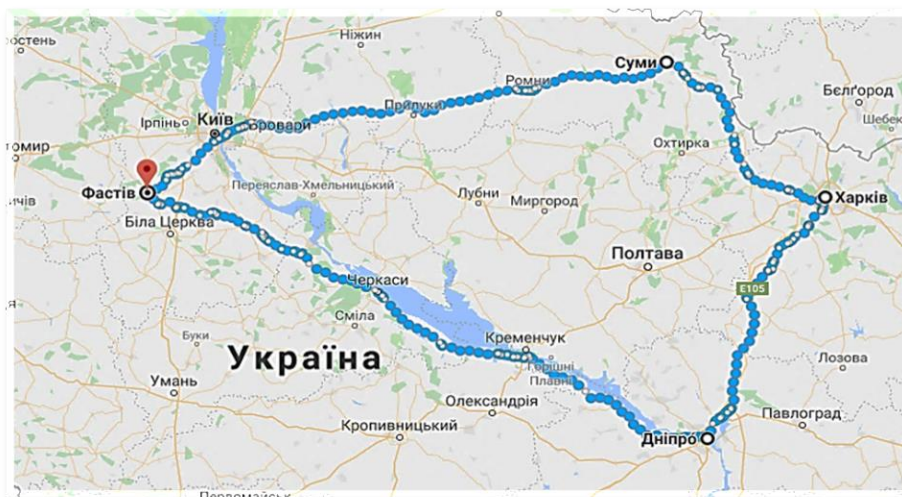


Рисунок 2 — Схема маршруту м. Фастів – м. Суми – м. Харків – м. Дніпро – м. Фастів

Під час проведення розрахунків було враховано коефіцієнт для переведення палива з одиниць об'єму у вагові одиниці, який для газойлів (дизельного палива) складе 0,85, а також додаткові витрати палива, пов'язані з проїздом через міста України, для яких встановлений відсоток зростання коливається від 5 % до 15 %. Дані, за якими проводиться коригування витрат пального при проїзді через міста, наведено в **табл. 4**.

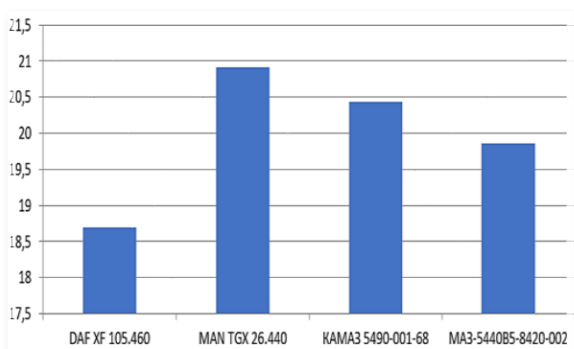
Таблиця 4

Додаткові витрати пального при проїзді містами

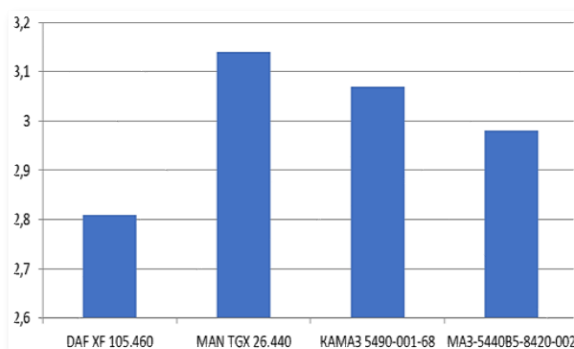
Показник	Місто					
	Київ	Бровари	Суми	Черкаси	Харків	Дніпро
% додаткових витрат пального	15	10	10	10	15	15
Відстань проїзду в межах міста, км	15	5	8	6	12	11

Дослідження маршруту показало, що та його частина, де рух здійснювався дорогами загального користування склала 1 201 км, а та частина, де рух здійснювався по вулично-дорожній мережі міст — 57 км відповідно.

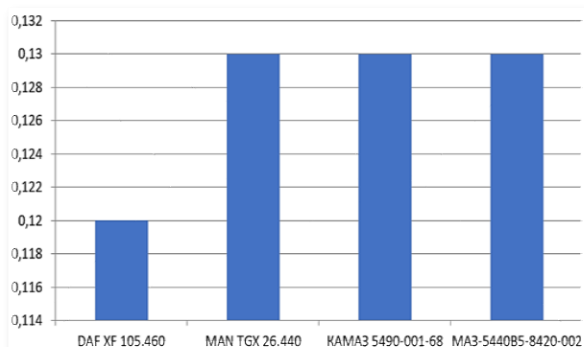
Результати розрахунків викидів забруднюючих речовин, які були проведені на основі рівняння (3) окремо для кожного АТЗ представлені у вигляді порівняльних діаграм (рис. 3).



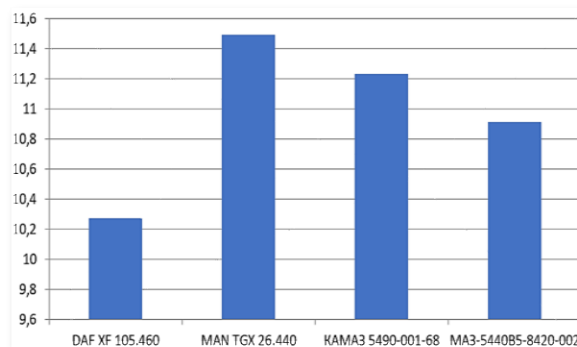
а)



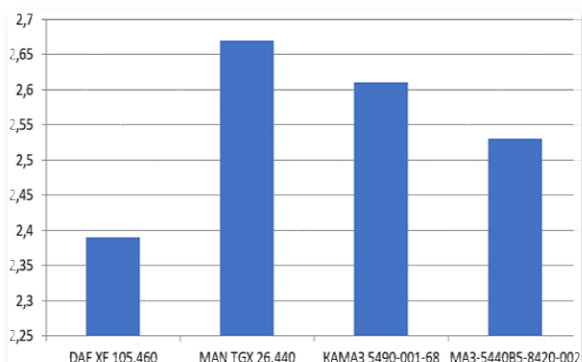
б)



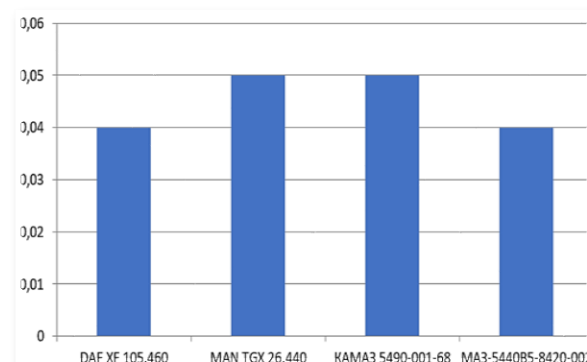
в)



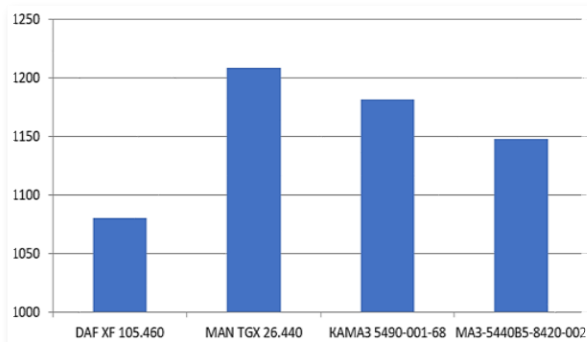
г)



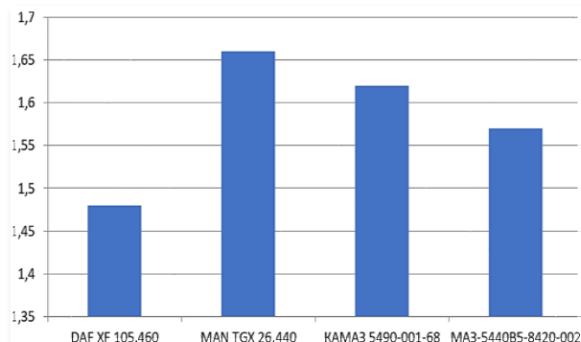
д)



е)



ж)



з)

а) оксид вуглецю;	д) сажа;
б) неметанові леткі органічні сполуки;	е) оксид азоту;
в) метан;	ж) вуглекислий газ;
г) діоксид азоту;	з) діоксид сірки.

Рисунок 3 — Порівняння викидів різними АТЗ при обслуговуванні маршруту м. Фастів – м. Суми – м. Харків – м. Дніпро – м. Фастів, кг

Виходячи з критерію вибору АТЗ, в якості якого виступає мінімізація загальних обсягів викидів забруднюючих речовин ті парникових газів, та відповідно до результатів розрахунків можна зробити висновок, що найкращим з варіантів АТЗ виявився автомобіль DAF XF 105.460. Даний транспортний засіб характеризується найменшими витратами пального і, як результат, спричиняє найменші обсяги викидів забруднюючих речовин і парникових газів.

Висновки

Реалізація положень концепції сталого розвитку, яка спрямована на встановлення балансу між задоволенням сучасних потреб суспільства і захистом інтересів майбутніх поколінь, включаючи їхні потреби в безпечному і здоровому довкіллі, передбачає фокусування усіх зусиль в економічній, екологічній та соціальній сфері в таких напрямках як енерго- та ресурсозбереження, а також мінімізація негативного впливу на довкілля.

Аналіз основних екологічних впливів, які виникають в умовах транспортного обслуговування суб'єктів господарювання, показав, що вони стосуються, головним чином:

- викидів в атмосферу шкідливих речовин, які спричиняють транспортні засоби;
- використання більш дешевих видів палива, продукти переробки яких негативно впливають на стан довкілля та здоров'я людини;
- шумового та вібраційного забруднення;
- надавання переваги використанню автомобільного транспорту при можливості застосування більш екологічно стійких видів транспорту (морського, річкового чи залізничного).

В Україні на державному рівні проводяться статистичні спостереження за викидами забруднюючих речовин і парникових газів у повітря від пересувних джерел (транспортних засобів). Інструментом такого спостереження виступає методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів, яка дозволяє проводити розрахунки для транспортних засобів, які перебувають у власності суб'єктів господарської діяльності (юридичних осіб), а також фізичних осіб.

Очевидно, що в умовах впровадження принципів сталого розвитку під час управління процесами транспортного обслуговування АТЗ (зокрема, щодо мінімізації негативного впливу на довкілля) підходи, на яких ґрунтується дана методика, можуть бути використані на рівні окремих суб'єктів господарської діяльності. Базовою інформацією для проведення відповідних розрахунків є статистична інформація щодо обсягів використання транспортними засобами палива, передбачена державними статистичними спостереженнями, та питомі викиди забруднюючих речовин і парникових газів в атмосферу від споживання однієї тонни палива, рекомендовані Міністерством

захисту довкілля та природних ресурсів. У свою чергу, вихідними даними для цих розрахунків є витрати палива на пробіг та транспортну роботу АТЗ, а також питомі викиди забруднюючих речовин і парникових газів з одиниці використаного палива та коефіцієнти технічного стану АТЗ.

У роботі в контексті реалізації підходів сталого розвитку в частині зниження впливу на довкілля запропоновано механізм використання методики розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів, а також приклад її застосування для обґрунтування вибору доцільного вантажного АТЗ під час розвезення готової продукції за маршрутом м. Фастів – м. Суми – м. Харків – м. Дніпро – м. Фастів. Порівнювались загальні обсяги викидів забруднюючих речовин для чотирьох вантажних АТЗ – DAF XF 105.460, MAN TGX 26.440, КАМАЗ 5490–001–68 та МАЗ–5440В5–8420–002. Як засвідчили результати розрахунків, найкращим варіантом для роботи на досліджуваному маршруті за критерієм мінімізації викидів забруднюючих речовин був визначений автомобіль DAF XF 105.460.

Список літератури

1. Цілі сталого розвитку. Організація Об'єднаних Націй. Україна. URL: <https://ukraine.un.org> (дата звернення: 20.02.2025).
2. Керівництво «Посилення ролі бізнесу в досягненні ЦСР в Україні». URL: <https://www.undp.org/uk/ukraine/publications/kerivnytstvo-posylennya-rolu-biznesu-v-dosyahnenni-tssr-v-ukrayini> (дата звернення: 20.02.2025).
3. Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 20.02.2025).
4. Боголюбов В. М., Клименко М. О., Мельник Л. Г., Ракоїд О. О. Стратегія сталого розвитку: Підручник. За редакцією професора В. М. Боголюбова. К.: ВЦ НУБПУ, 2018. 446 с.
5. Стратегія сталого розвитку: Європейські горизонти Київ. НУХТ, 2022. 337 с. URL: https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/7990/1/stratetiia_staloho.pdf (дата звернення: 20.02.2025).
6. Коломієць Л. В. Стратегія сталого розвитку: Навч. посібник. Кропивницький: 2019. 126 с.
7. Павлишин О. В., Вовк Ю. Я. Сталий розвиток транспорту в Україні. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/74516093.pdf> (дата звернення: 20.02.2025).
8. Бойко О. В., Двудіт З. П. Сталий розвиток транспортної системи України. URL: https://nv.ntu.edu.ua/Archive/2013/23_18/94_Boj.pdf (дата звернення: 20.02.2025).
9. Галак Ірина, Косинський Дмитро. Інтеграція принципів сталого розвитку в управління ланцюгом постачання у логістичних провайдерів. Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції “Modern Perspectives on Global Scientific Solutions”, 7 – 9 жовтня 2024, Берген, Норвегія, 2024. С. 75–85.
10. Галак І.І., Косинський Д.В. Особливості стійкого управління ланцюгом постачання у логістичних провайдерів в країнах, що розвиваються. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні рішення в сучасній науці, освіті та практиці», 15 – 16 жовтня 2024р.: тези доп. Київ, НТУ, 2024. С. 244– 248.
11. Галак І. І., Добровольська А. М., Добровольський О. С., Овчар Д. О. Підходи до впровадження сталих практик у діяльність логістичного провайдера. *Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво»*, 2024. Вип. 116. Ч. 2. Київ. С. 278–297. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/116.2/278.pdf.
12. Білоног О.Є., Янішевський С.В., Пенківська К.С., Костур С.А. Планування систем сталої міської мобільності. Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції “SCIENCE AND SOCIETY: MODERN TRENDS IN A CHANGING WORLD” 18 – 20 грудня 2023 року, тези доповідей, Відень, Австрія, 2023. С. 589–596. URL: <https://sci-conf.com.ua>.
13. Білоног О.Є., Янішевський С.В., Климчук Ю.О., Черненко І.О. Міська мобільність в Україні: аналіз основних викликів. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Науково-технічний збірник. К.: НТУ, 2024. Вип. 1 (58). С. 11–22. URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/58/011.pdf>.
14. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/metod_polog/metod_doc_/2008/452/metod.htm (дата звернення: 20.02.2025).

References

1. Tsili staloho rozvytku. Orhanizatsiia Obiednanykh Natsii (THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION.). Ukraina. URL: <https://ukraine.un.org> (data zvernennia: 20.02.2025) [in Ukrainian].
2. Kerivnytstvo «Posylennia roli biznesu v dosiahnenni TsSR v Ukraini». (On the provision of construction products on the market) URL: <https://www.undp.org/uk/ukraine/publications/kerivnytstvo-posylennya-rol-biznesu-v-dosyahnenni-tssr-v-ukrayini> (data zvernennia: 20.02.2025) [in Ukrainian].
3. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy (State Statistics Service of Ukraine). URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> (data zvernennia: 20.02.2025) [in Ukrainian].
4. Boholiubov V. M., Klymenko M. O., Melnyk L. H., Rakoid O. O. Stratehiia staloho rozvytku: Pidruchnyk. Za redaktsiieiu profesora (Sustainable Development Strategy: Textbook) V. M. Boholiubova. K.: VTs NUBIPU, 2018. 446 p. [in Ukrainian].
5. Stratehiia staloho rozvytku: Yevropeiski horyzonty Kyiv (Sustainable development strategy: European Horizons Kyiv). NUKhT, 2022. 337 P. URL: https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/7990/1/stratehiia_staloho.pdf (data zvernennia: 20.02.2025) [in Ukrainian].
6. Kolomiiets L. V. Stratehiia staloho rozvytku: Navch. Posibnyk (Sustainable development strategy: Study guide). Kropyvnytskyi: 2019. 126 p. [in Ukrainian].
7. Pavlyshyn O. V., Vovk Yu. Ia. Stalyi rozvytok transportu v Ukraini (Sustainable development of transport in Ukraine.). URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/74516093.pdf> (data zvernennia: 20.02.2025) [in Ukrainian].
8. Boiko O. V., Dvulit Z. P. Stalyi rozvytok transportnoi systemy Ukrainy. URL: https://nv.ntu.edu.ua/Archive/2013/23_18/94_Boj.pdf (data zvernennia: 20.02.2025) [in Ukrainian].
9. Halak Iryna, Kosynskyi Dmytro. Intehratsiia pryntsyviv staloho rozvytku v upravlinnia lantsiuhom postachannia u lohistychnykh provaideryv (Integration of sustainable development principles into supply chain management in logistics providers). Materialy I Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii “Modern Perspectives on Global Scientific Solutions”, 7 – 9 zhovtnia 2024, Berhen, Norvehiia, 2024. P. 75–85 [in Ukrainian].
10. Halak I. I., Kosynskyi D. V. Osoblyvosti stiikoho upravlinnia lantsiuhom postachannia u lohistychnykh provaideryv v krainakh, shcho rozvyvaiutsia (Features of sustainable supply chain management in logistics providers in developing countries). Materialy II Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Innovatsiini rishennia v suchasni nautsi, osviti ta praktytsi», 15 – 16 zhovtnia 2024 p.: tezy dop. Kyiv, NTU, 2024. P. 244–248 [in Ukrainian].
11. Halak I. I., Dobrovolska A. M., Dobrovolskyi O. S., Ovchar D. O. Pidkhody do vprovadzhennia stalykh praktyk u diialnist lohistychnoho provaidera (Approaches to the implementation of sustainable practices in the activities of a logistics provider). *Naukovyi zhurnal “Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo”*, 2024. Vyp. 116. Chastyna 2. Kyiv. P. 278–297. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtdorogi_i_stroitelstvo/116.2/278.pdf [in Ukrainian].
12. Bilonoh O. Ie., Yanishevskyi S. V., Penkivska K. S., Kostur S. A. Planuvannia system staloi miskoi mobilnosti. Materialy I Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii “SCIENCE AND SOCIETY: MODERN TRENDS IN A CHANGING WORLD” (Planning of sustainable urban mobility systems. Proceedings of the First International Scientific and Practical Conference “SCIENCE AND SOCIETY: MODERN TRENDS IN A CHANGING WORLD”) 18 – 20 hrudnia 2023 roku, tezy dopovidei, Viden, Avstriia, 2023. P. 589–596. URL: <https://sci-conf.com.ua> [in Ukrainian].
13. Bilonoh O. Ie., Yanishevskyi S. V., Klymchuk Yu.O., Chernenko I.O. Miska mobilnist v Ukraini: analiz osnovnykh vyklykiv (Urban mobility in Ukraine: analysis of the main challenges). *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriya “Tekhnichni nauky”*. Naukovo-tekhichniy zbirnyk. K. : NTU, 2024. Vyp. 1 (58). P. 11–22. URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/58/011.pdf> [in Ukrainian].
14. Metodyka rozrakhunku vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn ta parnykovykh haziv u povitria vid transportnykh zasobiv (Methodology for calculating emissions of pollutants and greenhouse gases into the air from vehicles). URL: https://www.ukrstat.gov.ua/metod_polog/metod_doc/2008/452/metod.htm (data zvernennia: 20.02.2025) [in Ukrainian].

Oksana Bilonoh, *Ph.D., Assoc. Prof.*, <https://orcid.org/0000-0003-2471-5388>

Serhii Yanishevskiy, *Ph.D., Assoc. Prof.*, <https://orcid.org/0000-0002-0113-5463>

Oleksandra Kostiuhenko, <https://orcid.org/0009-0007-0959-9135>

Volodymyr Fartuchnyi, <https://orcid.org/0009-0002-82783-4955>

Igor Chernenko, <https://orcid.org/0009-0000-4393-221X>

Yevgen Yanishevskiy, <https://orcid.org/0000-0002-0362-9619>

National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

IMPLEMENTATION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT APPROACHES IN THE MANAGEMENT OF TRANSPORT SERVICE PROCESSES OF ECONOMIC ENTITIES

Abstract

Introduction. The article proposes methodological approaches to the implementation of the provisions of the concept of sustainable development in the management of transport service processes of economic entities in terms of reducing the negative impact on the environment from vehicles as mobile sources of pollution.

Issues. The latest statistical data on the environmental situation in our country indicate the relevance of the topic of this study. The negative impact on the environment caused by stationary and mobile sources of pollution is significant in terms of total emissions, although it tends to decrease. Stationary sources of pollution, which include enterprises of various industries, account for approximately 30 % of the total emissions. The largest contribution to these emissions is made by enterprises in the electricity generation sector (over 36 %) and the metallurgical sector (over 24 %). The contribution of road transport to total emissions, depending on the region, is over 45 %. The main emissions caused by motor vehicles are carbon dioxide, carbon monoxide, nitrogen oxides, and volatile organic compounds.

The purpose of the work is to formulate proposals and develop a mechanism for the practical implementation of sustainable development approaches in the management of transport service processes of economic entities.

Materials and methods. The article uses methodological approaches that are used to calculate emissions of pollutants and greenhouse gases into the air from vehicles when conducting statistical observations at the state level.

Results. Based on the results of calculations of pollutant emissions, economic entities can more reasonably plan their business processes and choose vehicles for work on specific routes based on the criterion of minimizing the negative impact on the environment (pollutant emissions).

Conclusions. In the context of implementing sustainable development approaches in terms of reducing environmental impact, the paper proposes a mechanism for practical application of the methodology for calculating emissions of pollutants and greenhouse gases into the air at the level of individual economic entities. In a practical aspect, this methodology was applied to the example of transport services of a manufacturing enterprise when delivering finished products to customers.

Keywords: sustainable development, business processes, transport services, vehicles, economic entities, pollutant emissions.

УДК 504:625.7

Харитонova Н. М., <https://orcid.org/0000-0001-5732-3407>Ярошук О. С., <https://orcid.org/0000-0003-1550-0131>*Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури (ДП «НІРІ»)
м. Київ, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРОТИОЖЕЛЕДНИХ МАТЕРІАЛІВ РІЗНИМИ КРАЇНАМИ СВІТУ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ПІД ЧАС ЗИМОВОГО УТРИМАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація

Вступ. Одним із ключових чинників безпеки дорожнього руху в зимовий період є належний рівень зчеплення шин з дорожнім покриттям. У зв'язку із цим зростають вимоги до якості зимового утримання автомобільних доріг, зокрема щодо ефективного зменшення слизькості покриття. У різних країнах застосовуються різні підходи до використання протиожедних матеріалів, що зумовлено кліматичними особливостями, типами дорожнього покриття, інтенсивністю транспортних потоків, екологічними міркуваннями та економічними чинниками. Значну роль відіграють як фізико-хімічні властивості матеріалів, так й оптимізація їх складу та дозування відповідно до конкретних умов експлуатації.

Проблематика. З початком повномасштабного вторгнення РФ було зруйновано завод «Артемсіль» — основне підприємство, що забезпечувало постачання солі для зимового утримання автомобільних доріг в Україні. Це поставило перед фахівцями термінове завдання — пошук альтернативних протиожедних матеріалів для забезпечення безпеки дорожнього руху в зимовий період. На сьогодні тривають дослідження властивостей матеріалів, які постачаються з різних країн і мають відмінне походження та характеристики. Особливе значення надається підвищенню ефективності їх використання, а також удосконаленню норм витрат з урахуванням реальних кліматичних і експлуатаційних умов.

Мета. Виконати аналіз і врахувати досвід та найкращі практики використання протиожедних матеріалів різними країнами світу під час зимового утримання автомобільних доріг.

Матеріали та методи. Аналізування існуючого досвіду поводження з протиожедними матеріалами інших країн надасть можливість запровадження його на території нашої країни.

Результати. У статті розглянуті дослідження, які проводились різними країнами щодо використання і поводження з протиожедними матеріалами.

Висновки. У сучасних умовах актуальним є завдання оптимізації системи поводження з протиожедними матеріалами в Україні. Це передбачає впровадження новітніх методів і стратегій, спрямованих на підвищення ефективності зимового утримання доріг. Необхідно розробити чіткі процедури лабораторних випробувань та методики оцінювання ефективності різних типів протиожедних реагентів у реальних (польових) умовах експлуатації. Такий підхід дозволить обґрунтовано обирати матеріали з урахуванням як їхніх технічних характеристик, так і економічної доцільності.

Ключові слова: автомобільна дорога, дорожній покриття, зимова слизькість, зимове утримання, протиожедні матеріали.

Вступ

Зимова слизькість на автомобільних дорогах призводить до численних аварій і небезпечних ситуацій. Застосування протиожедних матеріалів є ефективним засобом боротьби із цією проблемою. Зважаючи на підвищену частоту несприятливих погодних умов та зміну клімату, вивчення властивостей і характеристик протиожедних матеріалів набуває все більшої

актуальності [1, 2]. Вибір типу протиожеледного матеріалу, схеми нанесення їх на дорожній покриття залежать від різних чинників:

- кліматичні умови (у різних регіонах світу температура та вологість відрізняються);
- інтенсивність транспортних потоків;
- екологічні аспекти (деякі матеріали можуть мати негативний вплив на флору або фауну);
- економічні аспекти (вартість матеріалу, умови транспортування);
- фізико-хімічні показники (матеріали мають різний температурний діапазон дії, швидкість дії, тривалість ефекту).

Питання ефективності протиожеледних матеріалів є предметом активного вивчення в багатьох країнах світу. Науковці досліджують здатність цих матеріалів забезпечувати необхідний рівень зчеплення в різних дорожньо-кліматичних умовах. Постійно ведеться пошук більш ефективних рішень, проводяться наукові дослідження з метою підвищення якості та ефективності реагентів, що використовуються для зимового утримання доріг.

Основна частина

Найбільш традиційним протиожеледним матеріалом, який використовують в Європі та інших країнах світу є натрію хлорид (NaCl). За походженням існують наступні типи солі NaCl : кам'яна, сонячна, вакуумна сіль. Кам'яну сіль видобувають з використанням обладнання та технологій для видобутку твердих порід. Сонячну сіль отримують шляхом випаровування морської води або розсолу з соляних відкладень або видобутком із солоних озер, вакуумну сіль отримують шляхом вакуумування та сушіння розчину, отриманого після закачування води в підземні свердловини.

Натрію хлорид має щільність $2,17 \text{ г/см}^3$, розчинність у воді 359 г/л за температури 20°C .

Також досить поширені протиожеледні матеріали такі як кальцію хлорид, магнецію хлорид.

Кальцію хлорид (CaCl_2) має щільність $2,16 \text{ г/см}^3$, розчинність у воді 740 г/л за температури 20°C . CaCl_2 зустрічається в природі у вигляді соляного розчину, але для промислового використання його в основному виробляють із соляної кислоти (HCl) і карбонату кальцію (CaCO_3) або отримують як побічний продукт виробництва соди. Утворення кристалів відбувається нерівномірно, ніж у випадку з NaCl , що призводить до пластівчастої форми при висиханні. Кальцію хлорид дуже гігроскопічний, тобто він притягує воду і вологу з повітря, що робить його хорошим осушувачем у промисловості та харчовій промисловості. Однак для зимового обслуговування доріг ця властивість іноді може приводити до проблеми, тому що водії приймають водяну плівку за ожеледь.

Магнецію хлорид (MgCl_2) має щільність $2,32 \text{ г/см}^3$, розчинність у воді 542 г/л за температури 20°C . Магнецію хлорид у природних умовах зустрічається в мінералах та міститься в морській воді. Як і кальцію хлорид, він дуже гігроскопічний з тими ж недоліками, описаними вище. Одержують його з оксиду магнецію (MgO), хлору (Cl_2) і коксу (C). Він служить основою для отримання елементарного магнецію і як харчова добавка. Його також використовують в різній промисловій продукції (сплави, паливо).

В Європі протиожеледні матеріали використовують для автомобільних доріг, якщо вони відповідають вимогам європейських стандартів серії EN 16811, є нешкідливими з точки зору безпеки, здоров'я та впливу на навколишнє середовище.

У першій частині цієї серії стандартів [3] наведені вимоги та методи випробувань натрію хлориду (хімічного складу, вологості, зернового складу, протизлежувальних властивостей), а також до розсолу натрію хлориду, а саме до вмісту нерозчинних у воді речовин, хімічного складу.

У другій частині серії стандартів [4] наведені ті ж вимоги та методи випробувань до кальцію хлориду, магнецію хлориду та їх розчинів.

У третій частині серії стандартів [5] наведені вимоги та методи випробувань інших твердих і рідких протиожеледних реагентів. У цій частині наведено процедуру визначення показника плавильної здатності, а також визначення корозійної активності, температури спалаху, біорозкладання, нерозчинних у воді речовин, кінематичної в'язкості, електропровідності, насипної щільності, щільності розчину, вимоги до добавок, визначення опору ковзанню.

У США та Канаді для оцінювання якості натрію хлориду, що використовується як протижеледний реагент, застосовують стандарт ASTM D632-12 [6]. Він поширюється на сіль, отриману як із природних родовищ (кам'яна сіль), так і шляхом випарювання (сонячна сіль). У межах цього стандарту розрізняють два типи матеріалу. Тип I призначений для використання як протижеледний реагент на дорожніх покриттях або для стабілізації заповнювачів. Тип I додатково поділяється на два сорти: Сорт I — стандартна градація, та Сорт II — спеціальна градація. Тип II призначений виключно для стабілізації заповнювачів або для інших цілей, не пов'язаних із боротьбою з ожеледицею. Такий підхід дозволяє чітко регламентувати вимоги до матеріалу залежно від сфери його застосування.

Головний показник ефективності протижеледних матеріалів — плавильна здатність. Випробування визначення плавильної здатності перш за все призначені для з'ясування відмінностей між окремими агентами щодо їх початкової швидкості розморожування та подальшого розвитку ефективності розморожування. Цей показник передбачає визначення кількості льоду, який плавиться з часом, використовуючи певну кількість протижеледного реагенту за заданої температури.

Багато випробувань проводили з солями різного за розміром зернового складу. Розмір зерен відіграє важливу роль у швидкості танення, характері нанесення та відповідно ефективності плавлення.

Згідно з дослідженнями, проведеними Шведською транспортною адміністрацією, походження солі не дуже впливає на її плавильну здатність [7]. Проте гранулометричний склад є важливим показником, який впливає на плавильну здатність (рис. 1).

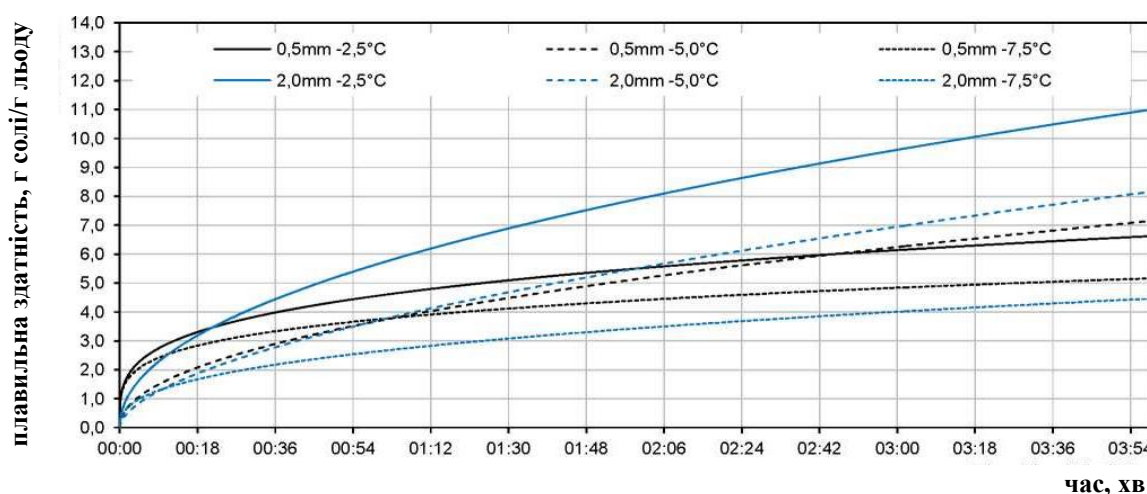


Рисунок 1 — Графіки залежності плавильної здатності від розміру зерен солі за різних температур

Дослідження, проведені в Австрії показали, що більші за розміром зерна проникають глибше в лід і плавлять його. Дрібніші зерна мають велику площу контакту з льодом, тому плавлення льоду відбувається швидше. Зерна дрібного розміру приводять до більш високої ефективності на початку процесу плавлення льоду, але швидше здуваються транспортними потоками. Також завжди є втрата дрібнозернистого матеріалу з кузовів вантажівок під час перевезення солі. Дрібнозерниста сіль швидко тоне та утворює мокру поверхню. Однак волога поверхня може знов заморозитись за низької температури. Найкраще застосування дрібнозернистої солі — оброблення тонких шарів льоду на дорожньому покритті, а також попередня обробка [8, 9].

Кожне окреме зерно утворює довкола себе конус, діаметр якого залежить від діаметра зерна (рис. 2). Дрібні зерна утворюють майже однорідну поверхню, на якій утворюється розсіл. Крупні зерна також спочатку утворюють конус, але з ширшою основою. Крупні зерна проникають глибше в лід. Через невелику кількість крупних зерен на покритті суцільна плівка розсолу не

утворюється. Коли зерно досягає покриття, під льодом утворюється плівка розсолу. Ця плівка розсолу подекуди приводить до відшарування льоду від покриття. Цей ефект можна використовувати спеціально для видалення замерзлого льоду або снігу, що налипає, потім його можна легше прибрати плугом.

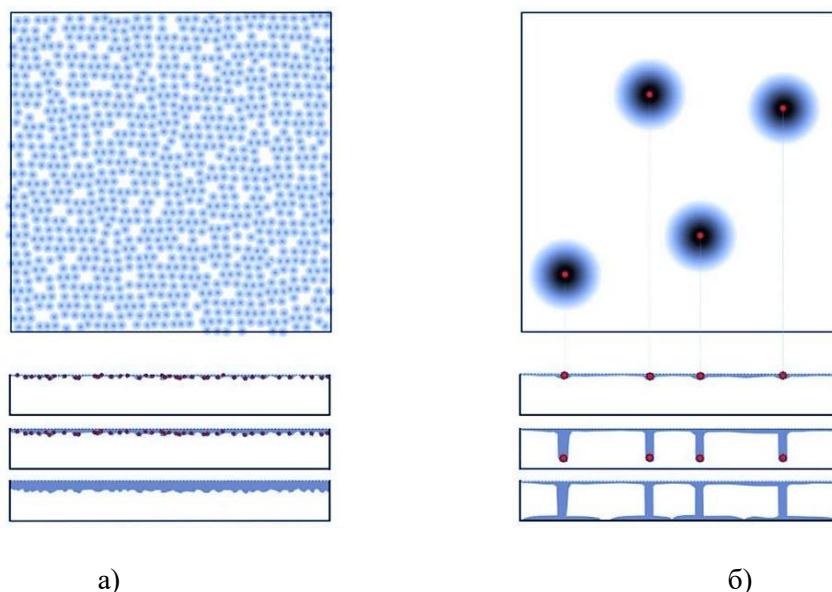


Рисунок 2 — Вигляд в плані та розрізі крижаного покриття під час впливу дрібнозернистої солі (а) і крупнозернистої солі (б)

Науковцями Австрії була створена модель, за допомогою якої можна визначити необхідну кількість нанесення протижелезедного матеріалу, час нанесення залежно від кількості опадів, руху транспорту, температури та типу дорожнього покриття протягом кількох циклів нанесення. Крім того, за допомогою цієї моделі можна оцінити зчеплення з дорогою.

У Віденському технологічному університеті провели дослідження, згідно якого час нанесення протижелезедних матеріалів (ПОМ) становив 1 годину, максимальна кількість солі, що наносять, становить 40 г/м^2 для того, щоб дорога залишалася чорною. За таким сценарієм кількість ПОМ становитиме 400 г/м^2 за 10 годин, що не є економічним.

В умовах економного ставлення до ресурсів стає питання оптимізування розподілу протижелезедних матеріалів по поверхні покриття автомобільної дороги. Експериментально встановлено втрати протижелезедних матеріалів, спричинені знесенням під час процесу розкидання і спричинені знесенням потоком транспорту. Кількість солі, яка залишалася на дорозі через 10 хвилин після процесу посипання, становила приблизно 30 – 50 % від її початкової кількості [10]. Це означає, що кількість снігу, який може бути розплавлений, зменшується вдвічі. Відповідно, у доріг зі значною інтенсивністю руху, використання сухої солі не рекомендується.

Під час вибору солі за крупністю зерен керуються наступними аспектами: доступність матеріалу, чистота матеріалу, простота поводження з матеріалом, простота застосування [9].

Крупні кристали солі (3 – 5 мм) перешкоджають утворенню зв'язку між льодом та покриттям, вони плавлять лід впродовж більш тривалого періоду часу. Але проблема з крупними зернами солі у тому, що вони відлітають до узбіччя під час розкидання. А також крупнозерниста сіль довше розчиняється під час приготування розсолу та утворює більше осаду.

В країнах Європи також поширене використання зволоженої солі. Попередньо змочена сіль краще прилипає до дороги, має меншу витрату і краще розподіляється, ніж суха. Суху сіль змішують з розсолем, вона зволожена потрапляє на розкидальну лопату транспортного засобу, що забезпечує кращий розподіл по дорожньому покриттям.

Якщо сипучість солі низька, перед нанесенням або під час розсипання вологої солі утворюються злиплі грудки, що призведе до її нерівномірного розподілу. Якщо використовувати перезволожену сіль, це може призвести до засмічення транспортних засобів. Щоб забезпечити необхідну сипучість матеріалу, до солі додають речовини, що запобігають злежуванню (наприклад, фероціаніди). Не можна додавати гідрофобні добавки до солей, оскільки вони сповільнюють процес танення. Сіль можна вважати сипучою, якщо вона майже повністю проходить між пальцями, якщо тримати долоню горизонтально, а під час відкриття долоні окремі зерна не злипаються.

Розсіл для зволоження сухої солі зазвичай являє собою розчин солі, виготовлений з води та натрію хлориду з концентрацією 10 – 23 %. Замість натрію хлориду для виготовлення розсолу іноді використовують кальцію хлорид або магнію хлорид, щоб знизити температуру замерзання розсолу або досягти кращих властивостей розтікання.

Можливо використовувати сіль з розсолом у різних співвідношеннях, хоча в Австрії використовують змішування 70 % сухої солі та 30 % розсолу, що зарекомендувало себе на практиці. Відповідно до [11], низькі рівні вологи призводять до великих втрат через роздування солі. Якщо частка розсолу збільшується вище 30 %, це призводить до утворення грудок і погіршення розосередження по поверхні покриття.

Також для боротьби з ожеледицею використовують лише одні розсоли. Переваги використання тільки розсолу — в зменшенні загальної кількості солі, її миттєвому ефекті плавлення та відсутності роздування зерен потоками транспорту. Але у ситуаціях, коли температура покриття нижче мінус 5 °C розсоли застосовувати не рекомендується [9]. Крім того, розчин солі дуже їдкий і може швидше пошкодити обладнання для розкидання солі та його електричні з'єднання.

Якщо кількість снігу, що випав між двома операціями нанесення перевищує кількість снігу, який можна розплавити за допомогою внесеної кількості солі, дорога не може бути очищеною повністю від снігу чи льоду. Після процесу відтавання знову відбувається поступовий процес замерзання, оскільки розсіл розбавляється подальшим снігопадом до такої міри, що температура замерзання стає вищою за температури покриття дороги.

Під час використання протиожеледних матеріалів важливим поняттям є **евтектична точка**. Це найнижча температура, за якої знаходяться в рівновазі дві фази — концентрований розчин та лід. Для розчину NaCl з концентрацією 23 % ця точка становить близько мінус 21 °C. Якщо температура навколишнього середовища становиться нижче евтектичної точки, розчин починає кристалізуватися і льодяна кристалічна структура не дає ефекту плавлення [12]. Нижче цієї точки збільшення концентрації розсолу не приводить до плавлення льоду. Тобто необхідна умова, щоб температура поверхні покриття була вище температури замерзання розчину.



Рисунок 3 — Графік залежності між температурою замерзання та концентрацією розчину натрію хлориду

Подібно до NaCl , CaCl_2 також має евтектичну точку, нижче якої подальше зниження температури замерзання неможливе, і яка набагато нижча за NaCl . Ось чому CaCl_2 в основному використовується при дуже низьких температурах. Евтектична точка розсолу CaCl_2 з концентрацією 30,2 % становить мінус 55 °С. Евтектична точка розсолу MgCl_2 з концентрацією 21,4 % становить мінус 33 °С.

Експериментальні дані вимірювання температури на поверхні льоду [13] дають можливість корегувати застосування і розхід різних типів реагентів залежно від економічних, технічних і погодних умов на дорогах.

У Австрії науковці проводили дослідження, в яких визначали оптимальний ступінь зволоження солі залежно від температури поверхні покриття, визначали зв'язок між концентрацією розсолу та температурою його замерзання. Розсін розводили до моменту його замерзання. У результаті досліджень було встановлено, що оптимальна витрата зволоженої солі складає 5 – 40 г/м², при цьому сіль зволожували розсолом з концентрацією 10 – 23 %.

У різних країнах існує тенденція до застосування сухого розсіювання солі у регіонах з більш вологим кліматом, а вологе розсіювання солі використовують у сухих регіонах.

Профілактичне нанесення протижеледних матеріалів застосовують безпосередньо перед випадінням опадів. Це слугує запобіганню слизькості на дорозі (утворенню інію). За допомогою профілактичного нанесення протижеледних матеріалів якомога ближче до початку утворення інію (приблизно 5 – 10 г/м² за 1 годину до випадіння опадів) можна уникнути слизькості на дорогах. Під час інію водяна пара в повітрі осідає на холодному покритті дороги у вигляді льоду. Зазвичай іній з'являється рано вранці. У ряді випадків як фрикційний протижеледний матеріал застосовується пісок. Його перевага полягає в негайному підвищенні зчеплення коліс з дорожнім покриттям після нанесення, зокрема навіть на ущільнених снігових покриттях. Це відбувається завдяки вдавлюванню піщинок у сніг або лід під дією транспортних засобів. На відміну від кристалів солі, яким потрібен час для початку дії (від 5 хвилин до 60 хвилин), пісок діє миттєво. Водночас він легко видається з проїзної частини колесами автомобілів. Якщо дорожня сіль змивається дощем або талими водами, то пісок, що розсипається, залишається на узбіччях і вимагає механізованого прибирання. З огляду на це, застосування піску доцільне в окремих локальних зонах, зокрема на підйомах, у період інтенсивних снігопадів тощо. Однак профілактичне нанесення напередодні ввечері неефективне через втрати, спричинені знесенням солі транспортом.

Якщо під час або після нанесення протижеледного матеріалу випадає новий сніг, то кількість цього снігу може бути більше кількості, яку може розплавити протижеледний матеріал, в такому випадку може утворитися сльота, яка згодом знову може замерзнути. Тоді за наявності замерзлої сльоти зчеплення стає гіршим, ніж з чистим снігом. Замерзлу сльоту важче побачити водіям, тому її потрібно вчасно видаляти з покриття.

В даний час у європейських країнах більше уваги приділяється превентивним заходам запобігання утворенню льоду на покритті автомобільних доріг шляхом механічного прибирання снігу. Оскільки розчищений сніг не потрібно плавити, то хороша організація схеми розчищення має важливе економічне значення.

Також в різних країнах світу вдосконалюють моделі датчиків для прогнозування погоди та температури на поверхнях покриттів доріг.

Висновки

Завданням зимового утримання автомобільних доріг є забезпечення високого рівня безпеки. Для цього науковці продовжують вивчати і досліджувати характеристики протижеледних матеріалів для більш ефективного їх використання.

Встановлено, що завдяки кращому розподілу по площі дорожнього покриття, дрібнозерниста сіль забезпечує швидший та рівномірніший протижеледний ефект. Натомість крупнозерниста сіль є більш ефективною для видалення снігу, що налип або льоду. Потрапляючи в товщу льоду, великі

кристали солі демонструють вищу ефективність плавлення порівняно з дрібними. Крім того, крупні зерна мають більшу масу, що зменшує їх знесення вітром, однак під час механічного розподілу вони можуть відскакувати на узбіччя чи прилеглі ділянки ґрунту. Під час застосування вологої солі досягається кращий розподіл по поверхні та зменшується загальна витрата реагенту порівняно із сухою сілью. Водночас температура кристалізації розсолу повинна залишатися істотно нижчою за температуру поверхні покриття. Ефективним заходом є профілактичне оброблення покриття, яке передбачає нанесення протижеледних матеріалів з метою запобігання утворенню інію. Проте, таке оброблення може втратити ефективність у випадку інтенсивного транспортного руху, що спричиняє знесення реагенту з поверхні. Після розтавання снігу внаслідок дії протижеледних засобів, необхідно своєчасно видаляти снігову сльоту, щоб запобігти її повторному замерзанню. Оскільки самі реагенти не здатні швидко ліквідувати значні снігові чи крижані утворення доцільно застосовувати механічне прибирання снігу.

З метою підвищення ефективності зимового утримання автомобільних доріг доцільно враховувати як міжнародний досвід, так і практику застосування протижеледних матеріалів в умовах України. Це дозволить науково обґрунтувати та встановити оптимальні норми витрат матеріалів, що забезпечать баланс між безпекою дорожнього руху, економічною доцільністю та мінімізацією впливу на навколишнє середовище.

Список літератури

1. Харитонova Н. М. Ярошук О. С. Альтернативні протижеледні матеріали для боротьби з утворенням та ліквідації зимової слизькості на автомобільних дорогах. *Дороги і мости*. Київ, 2024. Вип. 30. С. 416–423. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.416>.
2. Касків В. І., Півторацький Д. С., Бідненко Н. А., Дубова О. А. Узагальнення міжнародного досвіду в боротьбі із зимовою слизькістю. *Дороги і мости*. Київ, 2021. Вип. 23. С. 225–236. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.23.225>.
3. ДСТУ EN 16811-1:2022 (EN 16811-1:2016, IDT) Обладнання та вироби для зимового обслуговування. Засоби проти обледеніння. Частина 1. Хлорид натрію. Вимоги та методи випробувань. Київ. 2022 р. 56 с. (Інформація та документація).
4. ДСТУ EN 16811-2:2022 (EN 16811-2:2016, IDT) Обладнання та вироби для зимового обслуговування. Засоби проти обледеніння. Частина 2. Хлорид кальцію та хлорид магнію. Вимоги та методи випробувань Київ. 2022 р. 54 с. (Інформація та документація).
5. ДСТУ EN 16811-3:2022 (EN 16811-3:2015, IDT) Обладнання та вироби для зимового обслуговування. Засоби проти обледеніння. Частина 3. Інші тверді та рідкі засоби проти обледеніння. Вимоги та методи випробувань. Київ. 2022. 47 с. (Інформація та документація).
6. ASTM D632-12 Standard Specification for Sodium Chloride. in D 632, ed. USA: American Society for Testing and Materials (ASTM), 2012.
7. Ketcham S., Minsk L. D., Blackburn R. R., Fleege E. J. Manual of practice for an effective anti-icing program: a guide for highway winter maintenance personnel. United States. Federal Highway Administration, 1996.
8. Hoffmann M., Blab R., Nutz P. Forschungsbericht Optimierung der Feuchtsalzstreuung. TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften, 2011.
9. Leila Hashemian, Neeraj Saroj, Babak Mehran, Alireza Bayat. Salt Gradation Analysis for Winter Road Maintenance. *Civil Engineering Journal*, 2020, Vol 6, No 9.
10. Hausmann G. Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn. Forschungsbericht Kommzept Ingenieurbüro Hausmann, Bannewitz, 2009.
11. Badelt H. Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen BAST, Bergisch Gladbach, 2007.
12. Durth W., Hanke H. Handbuch Straßenwinterdienst. Kirschbaum Verlag, Bonn, 2004.

13. Гамеляк І. П., Дмитрієв М. М., Попелиш І. І., Корітчук С. О., Семенченко О. В. Ефективність застосування антиожедних хімеагентів при зимовому утриманні автомобільних доріг та аеродромів. *Вісник НТУ*. Вип. 1 (46), 2020. С. 63–72. DOI: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2020-1-46-063-072>.

References

1. Kharytonova N. M., Yaroshchuk O. S. Alternatyvni protyozheledni materialy dlia borotby z utvorenniam ta likvidatsii zymovoi slyzkosti na avtomobilnykh dorohakh (Alternative anti-icing materials for combating the formation and elimination of winter slipperiness on highways.). *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2024. Vyp. 30. P. 416–423. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.416> [in Ukrainian].
2. Kaskiv V. I., Pivtoratskyi D. S., Bidnenko N. A., Dubova O. A., Uzahalnennia mizhnarodnoho dosvidu v borotbi iz zymovoiu slyzkistiu (Generalization of international experience in combating winter slipperiness). *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2021. Vyp. 23. P. 225–236. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.23.225> [in Ukrainian].
3. DSTU EN 16811-1:2022 (EN 16811-1:2016, IDT) Obladnannia ta vyroby dlia zymovoho obsluhovuvannia. Zasoby proty obledeninnia. Chastyna 1. Khloryd natriiu. Vymohy ta metody vyprobuvan (Equipment and products for winter maintenance. Anti-icing agents. Part 1: Sodium chloride. Requirements and test methods). Kyiv. 2022. 56 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
4. DSTU EN 16811-2:2022 (EN 16811-2:2016, IDT) Obladnannia ta vyroby dlia zymovoho obsluhovuvannia. Zasoby proty obledeninnia. Chastyna 2. Khloryd kaltsiiu ta khloryd mahniiu. Vymohy ta metody vyprobuvan (Equipment and products for winter maintenance. Anti-icing agents. Part 2. Calcium chloride and magnesium chloride. Requirements and test methods) Kyiv. 2022. 54 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
5. DSTU EN 16811-3:2022 (EN 16811-3:2015, IDT) Obladnannia ta vyroby dlia zymovoho obsluhovuvannia. Zasoby proty obledeninnia. Chastyna 3. Inshi tverdi ta ridki zasoby proty obledeninnia. Vymohy ta metody vyprobuvan (Equipment and products for winter maintenance. Anti-icing agents. Part 3. Other solid and liquid de-icing agents. Requirements and test methods). Kyiv. 2022. 47 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
6. ASTM D632-12 Standard Specification for Sodium Chloride. in D 632, ed. USA: American Society for Testing and Materials (ASTM), 2012 [in English].
7. Ketcham S., Minsk L. D., Blackburn R. R., Fleege E. J. Manual of practice for an effective anti-icing program: a guide for highway winter maintenance personnel. United States. Federal Highway Administration, 1996 [in English].
8. Hoffmann M., Blab R., Nutz P. Forschungsbericht Optimierung der Feuchtsalzstreuung. TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften, 2011 [in English].
9. Leila Hashemian, Neeraj Saroj, Babak Mehran, Alireza Bayat. Salt Gradation Analysis for Winter Road Maintenance. *Civil Engineering Journal*, 2020, Vol 6, No 9 [in English].
10. Hausmann G. Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn. Forschungsbericht Kommzept Ingenieurbüro Hausmann, Bannewitz, 2009 [in English].
11. Badelt H. Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen BAST, Bergisch Gladbach, 2007 [in English].
12. Durth W., Hanke H. Handbuch Straßenwinterdienst. Kirschbaum Verlag, Bonn, 2004 [in English].
13. Hameliak I. P., Dmytriiev M. M., Popelysh I. I., Koritchuk S. O., Semenchenko O. V. Efektyvnist zastosuvannia antyozhelednykh khimreahentiv pry zymovomu utrymanni avtomobilnykh dorih ta aerodromiv (Efficiency of application of anti-icing chemicals in winter maintenance of roads and airfields). *Visnyk NTU*. Vyp. 1 (46), 2020. P. 63–72. DOI: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2020-1-46-063-072> [in Ukrainian].

Nataliia Kharytonova, <https://orcid.org/0000-0001-5732-3407>

Lesya Yaroshchuk, <https://orcid.org/0000-0003-1550-0131>

State Enterprise “National Institute for Development Infrastructure” (SE “NIDI”), Kyiv, Ukraine

**STUDY OF THE PROPERTIES OF DE-ICING MATERIALS
IN DIFFERENT COUNTRIES OF THE WORLD FOR EFFECTIVE USE DURING WINTER
MAINTENANCE OF HIGHWAYS**

Abstract

Introduction. One of the key factors ensuring road safety in winter is adequate tire grip. Consequently, the quality requirements for winter road maintenance are increasing, particularly regarding the efficient reduction of surface slipperiness. Different countries apply various approaches to the use of de-icing materials, influenced by climatic conditions, pavement types, traffic flows intensity, environmental concerns, and economic factors. Both the physicochemical properties of materials and the optimization of their composition and dosage according to specific operational conditions play a significant role.

Problem statement. With the start of the full-scale Russian invasion, the Artemsil plant — Ukraine’s main supplier of road salt for winter maintenance — was destroyed. This urgent situation has compelled specialists to seek alternative de-icing materials to ensure road safety in winter. Research is ongoing into the properties of materials imported from various countries, each with different origins and characteristics. Particular attention is being given to improving their efficiency and refining consumption standards based on actual climatic and operational conditions.

Objective. To analyze and take into account international experience and best practices in the use of de-icing materials for winter road maintenance.

Materials and Methods. An analysis of existing international practices in the handling of de-icing materials will enable their adaptation and implementation in Ukraine.

Results. The article presents research conducted in various countries regarding the use and management of de-icing materials.

Conclusions. In the current context, it is crucial to optimize Ukraine’s de-icing material management system. This includes implementing modern methods and strategies aimed at increasing the efficiency of winter road maintenance. It is essential to develop standardized laboratory testing procedures and evaluation methods to assess the effectiveness of different types of de-icing agents under real (field) operating conditions. Such an approach will allow for informed selection of materials based on both their technical characteristics and economic feasibility.

Keywords: highway, road pavement, winter slipperiness, winter maintenance, de-icing materials.

Наукове видання

ДОРОГИ І МОСТИ

Збірник наукових праць

Випуск 31

Головний редактор Безуглий А. О.
Відповідальний редактор Каськів В. І.
Технічний редактор Шевчук О. П.

03113, м. Київ, просп. Берестейський, буд. 57, ДП «НІРІ»

тел. +38 (044) 206-98-90
імейл: roads_bridges@nidi.org.ua

Підписано до друку 15.05.2025
Формат 60x84 $\frac{1}{9}$. Папір офсетний. Друк цифровий.
Умовн.-друк. арк. 29,35. Фіз. друк. арк. 31,56.
Накладна 100 прим.
Поліграфія printto.ua, м. Київ
(044) 205-34-34