

**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 33

ROADS AND BRIDGES

Collection of scientific papers
Established in 2003

Issue 33

КИЇВ
KYIV

2026

Дороги і мости : збірник наукових праць. Київ, 2026. Вип. 33. 437 с.

У збірнику публікуються результати наукових досліджень із питань: впровадження новітніх дорожньобудівельних матеріалів і технологій; проектування, 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. Белятинський 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. Білішук 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 «НІРІ», 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 «НІРІ» (протокол від 09.02.2026 № 2).

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).

ISSN 2524-0994 (Print), ISSN 2786-488X (Online)

UDC 625.7/.8

Roads and Bridges : collection of scientific papers Kyiv, 2026. Issue 33. 437 p.

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 Bieliatynskiy; 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 Pechonchyk; 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 Biliszczyk (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, Beresteyskyi 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 03.17.2020 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 07.02.2020 No. 886), 275 Transport technology (by type) (Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine as of 03.17.2020 No. 409).

Recommended by the decision of the Scientific and Technical Council of SE NIDI (Minutes dated 02.09.2026 No. 2).

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 N 8005 of 10/20/2003

© State enterprise «National institute for development infrastructure» (SE «NIDI»), 2026

ВСТУПНЕ СЛОВО ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА ЗБІРНИКА



Шановні читачі, автори, науковці, інженери та всі, хто долучається до розвитку сучасної інфраструктури України!

Ми раді представити випуск 33 збірника наукових праць «Дороги і мости» — видання, що об'єднує науку, інженерну практику та прикладні рішення у сфері транспортного будівництва, дорожнього господарства й мостобудування.

Цей випуск є особливим. Він виходить у рік 100-річчя державного підприємства «Національний інститут розвитку інфраструктури» — установи, яка протягом століття формує наукове підґрунтя розвитку галузі в Україні.

Сто років — це не лише історія, а й безперервний рух уперед. Це дослідження, інженерні рішення, формування професійних шкіл і здатність відповідати на виклики кожного часу.

Сьогодні інститут працює над відновленням інфраструктури, розвитком нормативної бази, цифровізацією та впровадженням сучасних технологій, водночас активно інтегруючись у міжнародний науково-технічний простір.

Сучасні умови — особливо в контексті воєнних викликів і майбутнього відновлення країни — висувають нові вимоги до галузі. Зростає роль науки як основи рішень: від оцінювання стану споруд до впровадження інноваційних матеріалів і підходів у проектуванні та будівництві.

Саме тому «Дороги і мости» залишаються не просто збірником, а простором для професійного діалогу, обміну досвідом і пошуку ефективних рішень.

У цьому випуску зібрано дослідження, присвячені актуальним питанням розвитку транспортної інфраструктури, підвищенню надійності та довговічності споруд, удосконаленню методів дослідження та впровадженню сучасних технологій. Окрему увагу приділено міжнародному досвіду та новим підходам до інженерного забезпечення галузі та питанням ціноутворення.

Ми прагнемо, щоб кожен випуск був не лише фіксацією наукових результатів, а й інструментом розвитку професійної спільноти.

Ювілей інституту — це передусім люди. Це покоління вчених, інженерів, дослідників, редакторів і партнерів, які створили фундамент, на якому ми працюємо сьогодні. Їхній досвід, принциповість і відданість справі залишаються нашою опорою.

Щиро дякую авторам за їхні дослідження, редакційній колегії та рецензентам — за фаховість і відповідальність, а читачам — за довіру та зацікавленість.

Переконалий, що цей випуск стане не лише внеском у розвиток науки, а й частиною ширшого процесу — відбудови та модернізації інфраструктури України.

З повагою

головний редактор, канд. екон. наук, доцент,
дійсний член Транспортної академії України,
Артем Безуглий

ЗМІСТ

ЕКОНОМІКА. МЕНЕДЖМЕНТ

<i>Безуглий А. О., Стасюк Б. О., Бібик Ю. М., Мудриченко Н. С., Гресько І. Л.</i> Аналіз світового досвіду в системі моніторингу цін на матеріальні ресурси	13
<i>Безуглий А. О., Комар В. Ю.</i> Вплив конкуренції на ціноутворення дорожніх робіт в Україні	32
<i>Безуглий А. О., Цинка А. О., Ілляш С. І., Маковська Ю. А., Стасюк Т. О., Парасюк Л. В.</i> Особливості визначення вартості послуг з технічного обслуговування WIM	41
<i>Литвишко Л. О.</i> Кризові явища та стратегічна роль антикризового управління у відновленні малого та середнього бізнесу в Україні	49
<i>Цифра Т. Ю., Денисюк О. В., Каськів Н. В., Юрчук О. Ю.</i> Управління вартістю інвестиційних будівельних проєктів інфраструктурних, громадських та культових об'єктів на основі життєвого циклу: досвід ЄС та України	64
<i>Гець І. М., Галак І. І., Халацька І. І.</i> Формування показника сталості логістичної діяльності як основа забезпечення реалізації концепції сталого розвитку в межах економічної системи	82
<i>Бєленкова О. Ю., Полтавець І. В.</i> Формування економіко-правових механізмів супроводу проєктів відновлення інфраструктури в умовах цифровізації	92
<i>Воркут Т. А., Овчар Д. О.</i> Удосконалення науково-методичних засад оцінювання діяльності водіїв автомобільних транспортних засобів	103

БУДІВНИЦТВО ТА ІНЖЕНЕРІЯ

<i>Копинець І. В., Желтобрюх А. Д., Соколов О. В., Соколова О. Б., Юнак А. Л.</i> Проблематика декларування показників дорожньої будівельної продукції в умовах імплементування регламенту (ЄС) № 305/2011	118
<i>Ілляш С. І., Зеленовський В. А., Рибальченко С. А.</i> Удосконалення та розвиток проєктування об'єктів дорожнього сервісу на автомобільних дорогах загального користування	132
<i>Бондаренко Л. П., Неізвестний С. В.</i> Методика обґрунтування реконструкції автомобільних доріг	143
<i>Терещенко Т. А.</i> Технологічні аспекти догляду за бетоном дорожнього покриття та сучасні підходи до створення ізотропної макротекстури поверхні	151
<i>Безуглий А. О., Каськів В. І., Завгородній С. С., Панібратець Л. Г., Степанов С. М., Грінів В. С., Чайковська Л. І.</i> Стан транспортних споруд України на дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях за 2025 рік	162
<i>Каськів В. І., Сташук П. М., Зеленський Б. М., Завгородній С. С., Борисенко М. А.</i> Теоретичні аспекти впливу хлоридів на залізобетонні конструкції транспортних споруд	178

Бабяк І. П.

Гідроізоляція проїзної частини автодорожніх мостів — важливий елемент забезпечення надійності..... 190

Стоянович С. В., Полюга Р. І.

Дослідження роботи залізобетонних збірно-монолітних попередньо напружених прогонових будов мостів на дію статичних навантажень 202

Давиденко О. О., Козарчук І. А., Гаркуша М. В.

Чисельне моделювання вантажопідйомності мосту з урахуванням корозійних процесів за результатами спеціального детального обстеження 212

Борисевич М. О., Волошко Ю. С., Борисенко М. А.

Аналіз американського досвіду застосування морозостійких добавок в залізобетонних конструкціях транспортних споруд..... 230

Івоненко О. Ю., Веретельніков О. С.

Проблематика утримання мостів з прогоновими будовами ВТП-21 239

Онищенко А. М., Ворошинов С. М., Рубльов А. В., Духненко Я. С.

Вимоги до технології відновлення водопропускальних труб методом гільзування із застосуванням металевих гофрованих конструкцій..... 254

Абрамов В. М.

Доповнення методики розрахунку мостових споруд з гофрованого металу з урахуванням умов кріплення конструкцій до фундаменту 266

Веретельніков О. С., Остапчук В. Ю.

Актуальність збереження нижнівського мосту як пам'ятника мостобудуванню 276

Новак Є. В., Галунка О. Д.

Організаційно-технологічні та економічні аспекти управління якістю будівництва під час переходу до європейської системи стандартизації 282

Дубінін Д. В., Клис М. В.

Використання штучного інтелекту для підвищення якості BIM-проектування..... 293

Вахович Д. Ю.

Вплив цифровізації на організацію будівельного проектування..... 302

ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ

Махнюк В. М., Коврига С. В., Каськів В. І.

Нормативно-правове регулювання благоустрою населених пунктів: досвід Республіки Польща..... 311

Нестеренко Г. Б.

Інвентаризація земель комунальної власності: правові та технологічні аспекти на прикладі Львова 325

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

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

Дослідження пішохідних переходів на безпечність, інклюзивність і відповідність нормативним документам..... 336

<i>Білоног О. Є., Галак І. І., Янішевський С. В., Білоног О. В., Климчук Ю. О.</i> Особливості облаштування виділених смуг для руху громадського транспорту в умовах формування систем сталої міської мобільності	349
<i>Савченко О. С., Савченко Л. Г.</i> Оптимальна організація логістичного забезпечення прискореного будівництва	368

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

<i>Даніслян А. Є.</i> Удосконалення нормативних основ, інженерії клінічного середовища закладів охорони здоров'я: концептуальний підхід	380

АРХІТЕКТУРА ТА МІСТОБУДУВАННЯ

<i>Чудик І. І., Яценко О. Ф., Цих В. С., Лейбюк Б. В.</i> Адаптивні архітектурно-будівельні системи для гібридного використання в умовах кризи енергетичного комплексу	389
<i>Смадич І. П., Яценко О. Ф., Скрипін Т. В., Капак М. М., Березовський Ю. Л.</i> Методичні підходи та нормативно-правовий аспект впровадження система контролю якості архітектурно-конструктивних рішень при ВІМ проєктуванні	397
<i>Василишин В. Я., Василишин О. О., Довган С. І.</i> Сучасні будівельні машини як елемент інноваційного архітектурного процесу	412
<i>Чеверда А. М., Смадич І. П., Точена С. Г., Ємельянова О. В., Данилюк Н. Я.</i> ВІМ-проєктування як поєднання будівельно-архітектурної фізики та технології виробництва	420
<i>Яценко О. Ф.</i> Об'ємне формування агрегативних архітектурно-проєктних структур з урахуванням ВІМ-моделювання	429

CONTENTS

ECONOMY. MANAGEMENT

<i>Artem Bezuglyi, Bohdan Stasiuk, Yuliya Bibyk, Natalia Mudrychenko, Ihor Hresko</i> Analysis of global experience in the system of monitoring prices for material resources	13
<i>Artem Bezuglyi, Viktor Komar</i> Impact of competition on pricing of road works in Ukraine	32
<i>Artem Bezuglyi, Anatolii Tsynka, Sergii Illiash, Yulia Makovska, Tetiana Stasiuk, Lyudmila Parasyuk</i> Features of determining the cost of maintenance services for WIM	41
<i>Liliia Lytvynshko</i> Crisis phenomena and the strategic role of anti-crisis management in the restoration of small and medium businesses in Ukraine	49
<i>Tetiana Tsyfra, Olga Denysiuk, Nazarii Kaskiv, Oleksandra Yurchuk</i> Cost management of investment construction projects of infrastructure, public and religious facilities based on the life cycle: experience of the EU and Ukraine	64
<i>Ivan Hets, Iryna Halak, Ilona Khalatska</i> Formation of a sustainability indicator of logistics activity as a basis for ensuring the implementation of the sustainable development concept within the economic system	82
<i>Olha Bielienskova, Ihor Poltavets</i> Formation of economic and legal mechanisms for supporting infrastructure renewal projects in the conditions of digitalization	92
<i>Tatiana Vorkut, Denys Ovchar</i> Developing the methodology aspects for evaluation of the truck drivers' performance	103

CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING

<i>Ivan Kopynets, Anton Zheltobriukh, Oleksii Sokolov, Oksana Sokolova, Alina Yunak</i> Challenges in declaring the performance of road construction products under the implementation of regulation (EU) No. 305/2011	118
<i>Sergey Ilyash, Volodymyr Zelenovsky, Sergii Rybalchenko</i> Improvement and development of the design of road service facilities on public roads	132
<i>Liudmyla Bondarenko, Sergiy Neizvestniy</i> Methodology for justifying the reconstruction of automobile roads	143
<i>Tatyana Tereshchenko</i> Technological aspects of curing concrete for road pavement and modern approaches for creating the isotropic surface macrotexture	151
<i>Artem Bezuglyi, Volodymyr Kaskiv, Serhii Zavhorodnii, Liudmyla Panibratets, Serhii Stepanov, Vladyslava Hriniv, Leonida Chaikovska</i> The condition of transport infrastructure structures in Ukraine on public roads of national importance in government-controlled territories as of 2025	162
<i>Volodymyr Kaskiv, Pavlo Stashuk, Bohdan Zelenskyi, Serhii Zavhorodnii, Maksym Borysenko</i> The orethical aspects of chloride effects on reinforced concrete transportation structures	178

Ihor Babyak

Waterproofing of the roadway part of road bridges is an important element in ensuring reliability 190

Sergii Stoianovych, Roman Poliuga

Research of the work of reinforced concrete precast-monolithic prestressed spans of bridges under the action of static loads 202

Oleksandr Davydenko, Igor Kozarchuk, Mykola Harkusha

Numerical modeling of bridge load-carrying capacity considering corrosion processes based on the results of a special detailed inspection 212

Maksym Borysevych, Yuriy Voloshko, Maksym Borysenko

Analysis of american experience in the use of frost-resistant admixtures in reinforced concrete structures of transport facilities 230

Olena Ivonenko, Oleh Veretelnikov

Problems of maintenance of bridge structures with span structures VTP-21 239

Artur Onyshchenko, Serhii Voroshnov, Andriy Rublev, Yana Dukhnenko

Requirements for culvert rehabilitation technology using the slip-lining method with corrugated metal structures 254

Volodymyr Abramov

Supplement to the methodology for calculating bridge structures made of corrugated metal taking into account the conditions of fixing the structures to the foundation 266

Oleh Veretelnikov, Vitalii Ostapchuk

The relevance of preserving the nizhniv bridge as a monument of bridgebuilding 276

Yevheniia Novak, Oksana Halunka

Organizational, technological and economic aspects of construction quality management during the transition to the European standardization system 282

Denis Dubinin, Maksym Klys

Using artificial intelligence to improve the quality of BIM design.....293

Dmytro Vakhovych

The impact of digitalization on the organization of building design.....302

GEODESY AND LAND MANAGEMENT

Valentyna Makhniuk, Sergei Kovryga, Volodymyr Kaskiv

Legal and regulatory support for urban improvement: the experience of the Republic of Poland 311

Haluna Nesterenko

Inventory of municipal lands: legal and technological aspects (case of Lviv city) 325

TRANSPORT TECHNOLOGIES

Liudmila Nahrebelna, Tetiana Kostrulyova, Alina Korchevskaya, Denis Shpin

Research on pedestrian crossings for safety, inclusiveness, and compliance with regulatory documents 336

<i>Oksana Bilonoh, Iryna Halak, Serhii Yanishevskiy, Oleksandr Bilonoh, Yurii Klymchuk</i>	
Features of the arrangement of allocated lanes for public transport/in the conditions of forming sustainable urban mobility systems	348
<i>Oleksandr Savchenko, Lidiia Savchenko</i>	
Optimal organization of logistics of accelerated construction	368

ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES

<i>Aram Daniyelyan</i>	
Improving the regulatory foundations and clinical environment engineering of healthcare facilities: a conceptual approach	380

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

<i>Ihor Chudyk, Oleksii Yaschenko, Vitalii Tsykh, Bohdana Leibiuk</i>	
Adaptive architectural and building systems for hybrid use in the conditions of the energy complex crisis	389
<i>Ivan Smadych, Oleksii Yaschenko, Tetiana Skrypyn, Mykola Kapak, Yuriy Berezovskyi</i>	
Methodological approaches and regulatory-legal aspects of implementing a quality control system for architectural-structural solutions in BIM design	397
<i>Vitalii Vasylyshyn, Olga Vasylyshyn, Sofia Dovhan</i>	
Modern construction machines as an element of an innovative architectural process	412
<i>Andrii Cheverda, Ivan Smadych, Svetlana Tochena, Olha Yemelianova, Nazarii Danyliuk</i>	
BIM design as the integration of building-architectural physics and production technology	420
<i>Oleksii Yaschenko</i>	
Volumetric formation of aggregative architectural–design structures with consideration of BIM modeling	429

УДК 338.5:625.08

Безуглий А. О., канд. екон. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0003-3883-7968>Стасюк Б. О., д-р філос. з економіки, <https://orcid.org/0000-0003-2504-6577>Бібік Ю. М., канд. екон. наук, <https://orcid.org/0000-0002-7197-8909>Мудриченко Н. С., <https://orcid.org/0000-0002-9423-5518>Гресько І. Л., <https://orcid.org/0000-0002-7175-7436>*Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»),
м. Київ, Україна*

АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ В СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ ЦІН НА МАТЕРІАЛЬНІ РЕСУРСИ

Анотація

Вступ. Моніторинг цін — це регулярне систематичне спостереження, збір й аналіз даних про рівні цін на матеріальні ресурси. У сучасних умовах глобалізації та економічної нестабільності ефективне управління витратами у стратегічних галузях, зокрема в дорожній, неможливе без добре продуманої системи моніторингу цін. Постійні коливання вартості матеріальних ресурсів створюють значні ризики для планування бюджетів, призводячи до фінансових втрат або неефективного використання державних коштів. Аналіз світового досвіду в частині визначення вартості матеріальних ресурсів дозволить виявити передові методики збору та верифікації даних, які забезпечують прозорість ціноутворення, наскільки дієвими та практичними є різні методи їх визначення в системі кошторисного ціноутворення різних країн та чим вони відрізняються від методів здійснення моніторингу матеріальних ресурсів, які діють у нашій країні.

Проблематика. Матеріальні ресурси є ключовою складовою вартості дорожніх робіт і займають найвагомішу позицію в структурі загальних витрат. В умовах трансформаційних процесів української економіки та посилення цінової нестабільності питання ефективного моніторингу цін набуває особливої актуальності. Аналіз світового досвіду у сфері моніторингу цін на матеріальні ресурси є важливим інструментом для формування дієвої національної системи щодо проведення цінового аналізу та регулювання цінової політики. Одним з ключових завдань є порівняння відмінностей у методиках збору цінової інформації та ступеню державного втручання в ціноутворення. Також необхідно зазначити те, що у багатьох країнах ефективність цінового моніторингу забезпечується стабільними інститутами, високим рівнем координації між державними органами, незалежністю регуляторів і розвиненою антимонопольною політикою.

Наразі в Україні активно ведеться робота над створенням бази даних цін на матеріальні ресурси, яка буде враховувати актуальні ринкові ціни на матеріали, вироби та конструкції, що застосовуються в будівельній галузі та яка буде охоплювати усі регіони України.

Окрему увагу слід приділити технологічним та інформаційним обмеженням. Світовий досвід дедалі більше ґрунтується на використанні великих масивів даних (Big Data), автоматизованих систем збору цін, онлайн-моніторингу та аналітичних платформ у режимі реального часу. В Україні впровадження подібних інструментів стримується нерівномірним рівнем цифровізації ринків, обмеженим доступом до комерційних даних і недостатньою інтеграцією інформаційних ресурсів.

Проблемним аспектом є також адаптація світових практик до умов у період воєнного стану воєнних і кризових викликів, що мають суттєвий вплив на формування цін. Більшість міжнародних моделей розраховані на функціонування у відносно стабільному економічному середовищі, тоді як в Україні цінова динаміка часто визначається чинниками форс-мажорного характеру, що потребує гнучких і кризоорієнтованих інструментів моніторингу.

Мета. Завданням даного дослідження є комплексний аналіз теоретичних засад і світових практичних підходів до здійснення моніторингу цін на матеріальні ресурси в умовах сучасної ринкової економіки. Проаналізовано основні моделі та інструменти цінового моніторингу, що застосовуються в різних країнах, зокрема механізми державного та ринкового регулювання цін, методи збирання, оброблення й аналізування цінової інформації, методи та умови її оприлюднення, а також роль цифрових технологій і міжнародних інформаційних систем у забезпеченні прозорості цінових процесів. Окрему увагу приділено оцінюванню ефективності світових практик моніторингу цін на матеріальні ресурси з погляду їх впливу на стабільність ринків і запобігання ціновим спекуляціям. На основі узагальнення світового досвіду метою статті є також формування практичних рекомендацій щодо вдосконалення системи моніторингу цін на матеріальні ресурси та можливостей її адаптації до національних економічних умов.

Матеріали та методи. Методологічну основу дослідження складають загальнонаукові та спеціальні методи пізнання економічних явищ і процесів, зокрема, застосовано методи аналізу та синтезу — для узагальнення теоретичних підходів до організації систем моніторингу цін; порівняльний метод — для зіставлення моделей цінового моніторингу, що функціонують у країнах з різним рівнем економічного розвитку; системний підхід — для дослідження моніторингу цін на матеріальні ресурси як складової механізму державного регулювання та ринкового самоконтролю.

Для оцінювання ефективності світових практик моніторингу цін на матеріальні ресурси використано методи економіко-статистичного аналізу, зокрема групування, індексний метод та аналіз динаміки цінових показників. Методи контент-аналізу та логічного узагальнення застосовано з метою виявлення ключових тенденцій, інструментів і цифрових рішень у сфері збирання та оброблення цінової інформації. На основі методу узагальнення світового досвіду сформульовано висновки та практичні рекомендації щодо можливостей імплементації ефективних закордонних підходів до моніторингу цін на матеріальні ресурси з урахуванням національних економічних умов. Під час написання статті було здійснено аналіз відповідного законодавства країн, а також:

1. Визначено об'єкт і предмет дослідження, а саме досвід окремих країн, регіонів або організацій.
2. Сформульовано цілі та завдання дослідження.
3. Зібрано інформацію про світовий досвід із різних джерел, таких як наукові статті, звіти, вебсайти тощо, яку було проаналізовано та виділено найбільш важливі та значущі аспекти.

Результати. В умовах стрімких змін глобальної економіки, зростання рівня інфляції, моніторинг цін на матеріальні ресурси стає не просто інструментом аналітики — а критичною складовою економічної політики держави. Вивчення світового досвіду здійснення моніторингу цін на матеріальні ресурси дозволить Україні покращити чинну систему з проведення моніторингу цін на матеріальні ресурси, шляхом імплементації сучасних інструментів верифікації даних в українську систему ціноутворення, забезпечивши її відповідність актуальним економічним викликам. У результаті проведеного дослідження сформульовано висновки про світовий досвід з проведення моніторингу цін на матеріальні ресурси та його можливості адаптації до вітчизняних умов.

Висновки. Моніторинг цін на матеріальні ресурси — це не технічна статистична процедура, а життєво важлива складова державної економічної політики. Світовий досвід доводить: ті країни, які інвестують у якісні механізми оцінювання та прогнозування цін, отримують кращу економічну стабільність, довіру інвесторів і захист громадян. Для України — це шанс не лише адаптувати найкращі практики, а й сформувати власну модель, що відповідатиме викликам ХХІ століття.

Ключові слова: база цін, світовий досвід, моніторинг цін, матеріальні ресурси.

Вступ

В умовах глобалізації економічних процесів, зростання інфляційних ризиків та нестабільності товарних ринків питання ефективного моніторингу цін набуває особливої актуальності. Системи цінового спостереження в багатьох країнах світу виступають важливим інструментом державної економічної політики, спрямованим на забезпечення прозорості ринків і своєчасне реагування на цінові коливання. Світовий досвід з проведення моніторингу цін на матеріальні ресурси свідчить

про широке використання сучасних методів збору та аналізу цінової інформації, цифрових технологій та інтегрованих аналітичних платформ.

Для України, яка функціонує в умовах структурних економічних змін і додаткових викликів, пов'язаних із кризовими та воєнними чинниками, формування ефективної системи моніторингу цін є важливим елементом забезпечення економічної стабільності. У цьому контексті особливого значення набуває аналіз і адаптація світового досвіду, що дозволяє виявити ефективні інструменти та підходи до організації цінового моніторингу з урахуванням національних особливостей.

Мета й завдання роботи. Завданням проведеного дослідження є узагальнення світового досвіду здійснення моніторингу цін на матеріальні ресурси та визначення можливостей його застосування для підвищення ефективності здійснення цінового аналізу й управління витратами у будівництві об'єктів.

Основна частина

Відповідно до пункту 3 [1], матеріальні ресурси — це сировина, будівельні та пально-мастильні матеріали, енергія всіх видів, конструкції, вироби, устаткування.

Поняття «аналіз цін», згідно із положеннями [2], [3] охоплює визначення обґрунтованої (як правило, при рівних якісних характеристиках) ціни матеріальних ресурсів, що склалася на дату оформлення ціни пропозицій та яка не повинна перевищувати середню ціну в регіоні.

Ефективне управління витратами на матеріальні ресурси є ключовим завданням при реалізації будівельних проєктів, особливо тих, що фінансуються з державного бюджету. Адже оптимізація витрат на матеріальні ресурси дозволяє раціональніше витратити обмежені бюджетні кошти, підвищувати якість і довговічність об'єктів будівництва, а також забезпечувати прозорість та підзвітність у використанні публічних фінансів.

Відповідно до вимог чинних в Україні нормативних документів, учасники будівельного процесу зобов'язані враховувати результати моніторингу ринкових цін при визначенні вартості матеріальних ресурсів. Проте єдиного унормованого підходу до такого аналізу досі не існує, а практики його здійснення суттєво відрізняються. Це ускладнює порівняння отриманих даних та унеможливорює їх інтеграцію в єдину систему спостереження за динамікою ринкових цін.

В Україні першими прикладами створення баз даних ринкових цін будівельних матеріалів можна вважати «Будціни» та інформаційно-довідкове видання «Будпрофі». Однак ці ініціативи не набули широкого застосування на ринку.

Таким чином, розробка уніфікованої методології моніторингу цін на матеріальні ресурси і створення відповідної інформаційно-аналітичної системи є важливим завданням для підвищення ефективності управління витратами в дорожній галузі. Актуальність дослідження визначається нагальною потребою підвищення ефективності управління витратами на матеріальні ресурси в сучасних умовах обмеженого бюджетного фінансування інфраструктурних проєктів в Україні.

Як свідчить аналіз статистичних даних, частка витрат на матеріальні ресурси у загальній структурі прямих витрат у дорожньому будівництві становить в середньому 60 %. Тому саме оптимізація використання матеріальних ресурсів має один з найбільших потенціалів для підвищення ресурсоефективності галузі.

Крім того, в умовах посилення євроінтеграційного курсу України та прагнення до запровадження європейських стандартів прозорості і підзвітності у сфері публічних закупівель, особливо в контексті відбудови інфраструктури, питання об'єктивного та неупередженого визначення вартості використовуваних матеріальних ресурсів набуває особливого значення.

Все вищезазначене обумовлює необхідність розробки уніфікованої методології моніторингу ринкових цін на основі матеріальні ресурси в будівництві та створення інформаційно-аналітичної системи для її автоматизації з метою підвищення прозорості та ефективності управління витратами матеріальних ресурсів на всіх стадіях реалізації інфраструктурних проєктів. Такий підхід

демонструє обґрунтованість актуальності з огляду на сучасні виклики галузі, регуляторні вимоги та євроінтеграційний вектор України.

Аналізуючи бази даних цін на матеріальні ресурси в Україні, варто зазначити, що їх можна розділити на державні (галузеві), публічні закупівельні та комерційні сервіси. Кожна з них виконує свою роль у системі моніторингу та ціноутворення. Розглянемо ці бази даних цін.

У дорожній галузі існує База даних цін на матеріальні ресурси (далі — База даних цін) [4], яка є спеціалізованою та слугує для збирання та оприлюднення цін на дорожньо-будівельні матеріали, вироби та конструкції в Україні.

На порталі Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва ЄДЕССБ [5] акумулюється інформація про проєкти та кошториси, що проходять експертизу, що також слугує джерелом даних для аналізу вартості.

Державною службою статистики [6] публікуються індекси цін на будівельно-монтажні роботи та середні ціни на окремі види промислової продукції, що використовуються для макроекономічного аналізу.

Через модулі аналітики електронної системи публічних закупівель Prozorro (далі – Prozorro) та bi.Prozorro, на яких відображають реальні ціни контрактів та ринкові пропозиції, можна відстежувати ціни за результатами проведених тендерів. Актуальною базою ринкових пропозицій для проведення закупівель є Prozorro Market. Окремий розділ «Аналіз цін у Prozorro Маркет» [7] дозволяє порівнювати вартість товарів за регіонами та категоріями.

На онлайн-сервіс моніторингу цін будівельних матеріалів CheckPrice [8] є можливість переглянути актуальні ринкові ціни для проєктувальників та підрядників, також цей онлайн-сервіс інтегровано в кошторисні програми, що дозволяє здійснювати автоматизацію у кошторисних розрахунках.

Інформація щодо цін на основні будівельні матеріали та вироби «Усереднені ціни на основні будівельні матеріали, вироби та конструкції в Україні», яка надається ТОВ «НВФ «Інпроект», є довідковою та надається в розрізі регіонів України.

Бази даних Аналітичного Центру «Будівництво – сучасні технології» містять регіональні бази даних з інформацією про вартість матеріальних ресурсів для використання в автоматизованих програмних комплексах.

Зупинимося докладніше на Базі даних цін в дорожній галузі та проаналізуємо її основні параметри та функціональні особливості. Моніторинг цін на матеріальні ресурси, що розміщені в Базі даних цін, здійснюється у розрізі всіх областей України, це дозволяє враховувати специфіку локальних ринків, логістичні витрати та віддаленість кар'єрів чи виробничих потужностей від об'єктів будівництва.

У Базі даних цін міститься широка номенклатура матеріальних ресурсів, зокрема: бітуми будівельні, асфальтобетонні суміші, щебінь різних фракцій, бетонні суміші, паливно-мастильні матеріали, металоконструкції тощо. Дані щодо цін на ці матеріали базуються на аналізі реальних закупівельних цін, що підтверджуються учасниками ринку. Це дозволяє формувати середньозважені ціни на матеріальні ресурси, мінімізуючи вплив спекулятивних пропозицій.

Оновлення інформації в Базі даних цін відбувається на щомісячній основі, що є критично важливим в умовах нестабільності ринку та високої ймовірності інфляційних процесів. Відкритий доступ до Базі даних цін дозволяє громадськості та органам контролю порівнювати ціни в конкретних тендерних пропозиціях із середньоринковими показниками, що є дієвим механізмом контролю завищення вартості контрактів.

У Базі даних цін можна переглянути інформацію щодо цін на матеріальні ресурси по областях України, яка надається Службами відновлення та розвитку інфраструктури в областях (рис. 1), здійснити аналіз зміни динаміки цих матеріальних ресурсів помісячно.

Зведені дані за грудень 2025 року

Звіт за грудень 2025 Експорт в Excel

Загальний
1-2. Металопрокат
3-8. Металева бар'єрна огорожа
9. Фарба для дорожніх розмір.
10. Пласт. маси для дорожніх розмір.
11. Полімер стріч для дорожніх розмір.
12. Скл. мікроульки
13. Фарби та емалі
14. Ланки водопров. труб круг.
15. Ланки водопров. труб прямокут.
16-17. Бітум наф. дорожній
18. Емulsія бітумна
19. Емulsія бітумна, модифікована
20-23. Щебінь
24-27. Щебінь кубовидний
28. Висівки (відсів)
29-30. Щебеністо-піщані суміші
31. Галиво дизельне
32-33. Бензин автомоб.

Ціни на дорожньо-будівельні матеріали згідно даних служб автомобільних доріг в областях за грудень 2025 року

Найменування матеріалів, виробів та конструкцій	Марка, клас, фракція	Одиниця виміру	Найменша ціна, грн.	Середня ціна, грн.	Найбільша ціна, грн.
1. Металопрокат (балки двотаврові/швелери/кутники)		т	31 060,00	43 140,12	69 210,00
2. Металопрокат (арматурна сталь)		т	29 780,00	35 300,04	47 730,00
3. Металева бар'єрна огороження (грунтоване дорожнє)		т			
4. Металева бар'єрна огороження дорожнє	оцинковане	т	75 000,00	105 026,17	135 000,00
4. Металева бар'єрна огороження дорожнє	оцинковане з використанням високоміцної сталі та гарячеоцинкованих металів	т	92 000,00	111 722,88	125 000,00
5. Металева бар'єрна огороження дорожнє	оцинковане з полімерним покриттям	т		103 600,00	
6. Металева бар'єрна огороження (грунтоване мостове)		т			
7. Металева бар'єрна огороження мостове	оцинковане	т	82 000,00	122 663,77	180 000,00
7. Металева бар'єрна огороження мостове	оцинковане з використанням високоміцної сталі та гарячеоцинкованих металів	т	92 000,00	144 641,10	163 800,00
8. Металева бар'єрна огороження мостове	оцинковане з полімерним покриттям	т			
9. Фарби для дорожньої розмітки		кг	96,00	134,23	238,00
10. Пластичні маси для дорожньої розмітки		кг	135,00	186,54	220,80
11. Полімерні стрічки для дорожньої розмітки		кг			
12. Складні мікроульки		кг	52,00	82,87	150,00
13. Фарби та емалі		кг	72,30	114,97	206,60
14. Ланки водопровідних труб круглого перерізу		м3	10 420,00	19 778,53	25 320,00
15. Ланки водопровідних труб прямокутного перерізу		м3	19 252,50	26 387,92	48 107,02
16. Бітум нафтовий дорожній	БНД 50/70	т	29 500,00	42 963,16	48 800,00
17. Бітум нафтовий дорожній	БНД 70/100	т	23 500,00	38 320,81	46 500,00

Рисунок 1 — Результати проведеного аналізу моніторингу цін, що наведені в Базі даних цін

Джерелами інформації, із яких формуються ціни на матеріальні ресурси (дорожньо-будівельні матеріали) у Базі даних цін є:

- постачальники/виробники;
- дані договорів з Prozorro
- вебсайти постачальників / виробників;
- матеріали Асоціації виробників будматеріалів;
- консалтингові групи, агентства, компанії;
- дані Служб відновлення та розвитку інфраструктури в областях;
- дані Публічного акціонерного товариства «Державна акціонерна компанія «Автомобільні дороги України»;
- інші відкриті джерела інформації.

База даних цін виконує функцію джерела верифікованої інформації щодо цін на матеріальні ресурси та слугує джерелом даних при формуванні вартості закупівель на дорожні роботи та послуги, забезпечує актуальність розрахунків завдяки щомісячному оновленню та регіональному розподілу даних, а також виступає механізмом громадського та державного контролю через відкритий доступ до галузевих цін.

Отже, моніторинг цін на матеріальні ресурси є важливим елементом якісного управління проектами дорожнього будівництва, що допомагає зменшити ризики та забезпечити ефективне використання ресурсів, а його ефективне здійснення дає змогу:

- зробити аналіз щодо динаміки змін цін на матеріальні ресурси щомісячно та по роках;
- наповнювати автоматизовану базу (у разі наявності бази) новими цінами на дорожньо-будівельні матеріали;
- розміщувати статистичну інформацію щодо цін на дорожньо-будівельні матеріали в електронному вигляді;
- вести динаміку зміни цін на дорожньо-будівельні матеріали по областях України;
- аналізувати підприємства, які займаються виробництвом та постачанням дорожньо-будівельних матеріалів;
- відслідковувати тенденції зміни цін на ринку дорожньо-будівельних матеріалів;
- зробити порівняльний аналіз за певний період часу та простежити зміну динаміки ціни на дорожньо-будівельні матеріали;
- відслідковувати за чинниками, які впливають на вартість дорожньо-будівельних матеріалів.

Для моніторингу та аналізу цін на матеріальні ресурси можна використовувати наступні методи:

1. Порівняльний аналіз ціни на ресурси у різних постачальників для вибору найвигіднішої пропозиції.

2. Моніторинг ринку шляхом слідкування за змінами цін на ресурси та послуги на ринку для виявлення тенденцій та можливостей для ефективного управління витратами.

3. Аналіз факторів впливу на ціни, такі як зміни валютних курсів, інфляція, політична ситуація тощо, і враховувати їх при аналізі цінових тенденцій.

4. Використання спеціалізованого програмного забезпечення для автоматизованого моніторингу цін, аналізу та прогнозування вартостей ресурсів.

5. Укладання договорів з постачальниками на постачання ресурсів за фіксованими або індексованими цінами для зменшення ризику коливань цін.

6. Створення бази даних для збереження й організації отриманих даних про ціни на ресурси та послуги.

Ці методи допоможуть здійснювати ефективний моніторинг та аналіз цін на ресурси та послуги, що використовуються у будівництві.

Відповідно до статті 11 [9] вільні ціни встановлюються суб'єктами господарювання самостійно за згодою сторін на всі товари, крім тих, щодо яких здійснюється державне регулювання, що є основною формою ціноутворення в умовах ринкової економіки України, при цьому переважна більшість матеріальних ресурсів реалізується за вільними цінами. [9] передбачає, що для формування державної економічної політики проводиться державне спостереження у сфері ціноутворення, воно здійснюється шляхом реєстрації цін (збору даних), аналізу та прогнозування динаміки цін. Хоча ціни є вільними, [9] та супутні постанови обмежують замовника у праві приймати будь-яку вільну ціну. Замовник повинен довести, що обрана ним ціна відповідає середньоринковому рівню, встановленому шляхом проведеного моніторингу. Це зумовлює високу варіативність вартості об'єктів будівництва та актуалізує роль науково обґрунтованого моніторингу цін на матеріальні ресурси як інструменту визначення об'єктивного рівня ринкових цін для ефективного використання публічних коштів.

Проаналізуємо світовий досвід та передові досягнення в системі моніторингу цін на матеріальні ресурси, який є важливою частиною наукового дослідження та дозволяє ознайомитися з досягненнями інших країн у досліджуваній галузі та визначити, які з них можна адаптувати до вітчизняних умов.

Азербайджанська Республіка. В Азербайджані система моніторингу цін на матеріальні ресурси, особливо в будівельному секторі, базується на централізованому державному контролі та цифровізації статистичної звітності. Державний комітет зі статистики (Dövlət Statistika Komitəsi) є основним органом, що здійснює щомісячний та щоквартальний моніторинг цін виробників. На офіційному порталі [10] містяться динамічні звіти щодо вартості промислової продукції та будівельних матеріалів, ця інформація дозволяє відстежувати зміну цін усередині країни та для експортно-імпортних операцій.

Державна служба з антимонopolного нагляду та контролю споживчого ринку є органом, який відповідальний за моніторинг цін на стратегічні ресурси та товари, що підлягають державному регулюванню. Вони використовують цифрові інструменти для контролю за дотриманням правил конкурентного ціноутворення, інформація публікується на [11].

На порталі електронних закупівель Etender [12], який є аналогом Prozorro, накопичується база даних реальних контрактних цін на матеріальні ресурси, що закуповуються за державні кошти. Це головне джерело для аналізу ринкової кон'юнктури при плануванні інфраструктурних проєктів.

Азербайджанська модель демонструє перехід від пасивного збору статистики до активного управління ризиками цінових маніпуляцій через інтегровані цифрові платформи. Це робить азербайджанський досвід цінним для України в контексті вдосконалення антикорупційних механізмів та автоматизації моніторингу цін у будівництві.

Польща. У Польщі система моніторингу цін на матеріальні ресурси вважається однією з найрозвиненіших у Європейському Союзі завдяки поєднанню потужних комерційних аналітичних баз та державної статистики. Найголовнішим галузевим ресурсом є Sekocenbud [13], в якому щоквартально публікуються детальні прайс-листи на тисячі позицій матеріалів (**рис. 2**), обладнання та робіт. Дані з цієї бази використовуються для здійснення розрахунків на стадії інвесторської кошторисної документації.

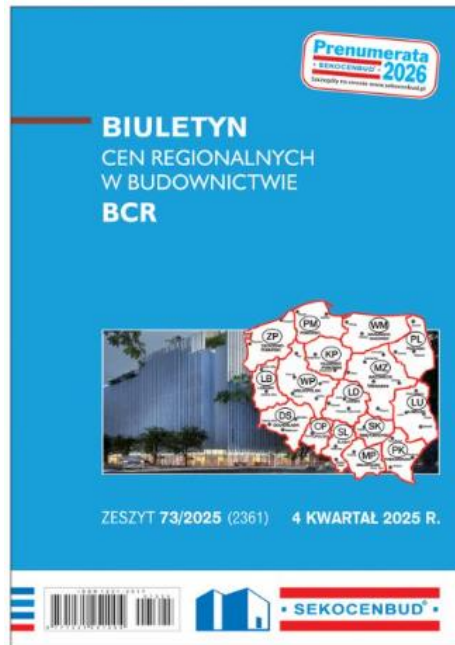


Рисунок 2 — Бюлетень регіональних цін у будівництві

Онлайн-платформа Intercenbud [14] надає актуальну інформацію про ціни на будівельні матеріали (**рис. 3**) та вироби безпосередньо від виробників та дистриб'юторів. Вона дозволяє порівнювати ціни в різних регіонах Польщі.

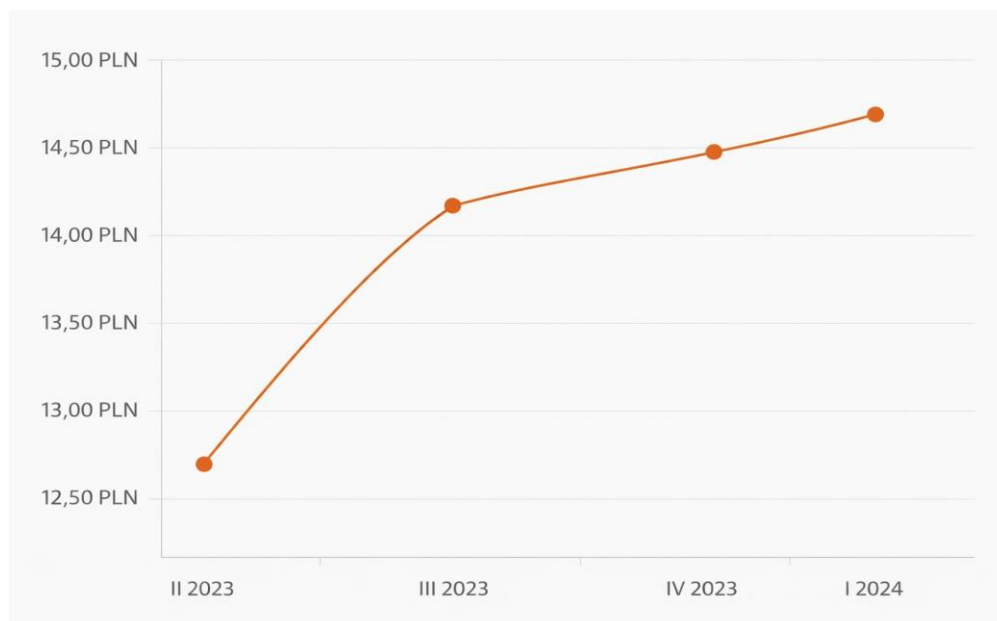


Рисунок 3 — Зміна ціни на емульсію бітумну, інформація опублікована на Intercenbud

Польський досвід демонструє ефективність приватних інформаційних систем, які мають офіційне визнання з боку державних інституцій, що забезпечує гнучкість та високу точність моніторингу.

Республіка Казахстан. Моніторинг цін на будівельні матеріали, вироби, конструкції і устаткування в Республіці Казахстан проводиться з метою забезпечення кошторисно-нормативної бази в будівництві поточними кошторисними цінами на матеріальні ресурси та обладнання.

Моніторинг цін за ціноутворюючими матеріальними ресурсами й обладнанням проводять щоквартально, за іншими ресурсами номенклатури — щорічно.

Організація і проведення моніторингу цін складається з наступних основних етапів:

1) формування переліку базових підприємств, за інформацією яких буде проводитися спостереження за цінами матеріальних ресурсів і обладнання;

2) збір і обробка інформації про ціни на матеріальні ресурси та обладнання по регіонах Республіки Казахстан.

Вибір підприємств для включення в перелік базових підприємств з проведення моніторингу матеріальних ресурсів і устаткування в будівництві проводиться з використанням наступних принципів:

1) до переліку включаються підприємства-постачальники (виробники) матеріальних ресурсів, обладнання незалежно від їх форм власності та організаційно-правових форм;

2) номенклатура матеріальних ресурсів, обладнання підприємств-виробників (постачальників), включених до переліку, відповідає основній номенклатурі матеріальних ресурсів, обладнання, що виробляються і споживаються в будівництві, згідно з класифікатором;

3) підприємства-постачальники (виробники) під час моніторингу представляють правдиву інформацію про ціни і технічні характеристики матеріальних ресурсів, обладнання, які поставляють (виробляють) на ринок будівництва;

4) матеріальні ресурси та обладнання, що поставляють (вироблені) підприємствами-виробниками (постачальниками), забезпечують супровідною документацією (сертифікат відповідності, декларація про відповідність, технічна або нормативна документація та інші), яка підтверджує відповідність продукції вимогам безпеки;

5) підприємство-виробник (постачальник) матеріальних ресурсів, обладнання вибирається з постачальників одного виду продукції за виробничою можливістю забезпечення ринку достатнім обсягом продукції.

Збір цінової інформації та приведення її до вигляду, зручного для подальшої обробки, здійснюється на основі первинних статистичних даних, отриманих від суб'єктів будівельного ринку в формі «Звіту про відпускні ціни на будівельні матеріали, вироби, конструкції та інженерне обладнання», прайс-листів та іншої наявної інформації про ціни на матеріальні ресурси та обладнання, що надається або інформації, що публікується в засобах масової інформації підприємствами-виробниками (постачальниками).

Для виключення з розрахунку випадкових даних, які деформують результати, розраховується середнє квадратичне відхилення цін виробників (постачальників) від середньої арифметичної вибіркової сукупності, яке включає:

— ціну матеріального ресурсу (обладнання) i -го виробника (постачальника) протягом розрахункового періоду;

— середнє арифметичне значення цін виробників (постачальників) матеріального ресурсу (обладнання);

— кількість виробників (постачальників), які надали ціни на матеріальний ресурс (устаткування).

Після виключення випадкових значень у вихідних даних розрахунок середнього арифметичного значення цін виробників (постачальників) матеріального ресурсу (обладнання) виконується повторно.

Казахстанська модель демонструє приклад успішної побудови централізованої державної бази цін, яка є обов'язковою для всіх бюджетних проєктів, що забезпечує жорстку фінансову

дисципліну та єдність методології.

Іспанія. Моніторинг цін на матеріальні ресурси в Іспанії здійснюється системно і на кількох рівнях — державному, галузевому та ринковому. Бази даних цін на матеріальні ресурси в Іспанії використовуються для підготування кошторисів при здійсненні державних закупівель.

BEDEC [15] — онлайн база довідкових цін на будівельні ресурси (рис. 4) з довідковими цінами, технічними характеристиками та комерційними даними для проєктів будівництва, міського планування, інженерних робіт тощо. Контроль за базою здійснюється інститутом технології будівництва Каталонії — ІТеС. База цін містить ринкові ціни на матеріали, які адаптовані до конкретного регіону, інформація про ціни регулярно оновлюється, щоб відповідати поточним технічним, нормативним та економічним змінам у секторі. BEDEC найчастіше використовується у кошторисних програмах та при підготовці технічної документації. Доступ до бази надається за передплатою (місячною або річною). BEDEC також включає об'єкти ВІМ (інформаційне моделювання будівель), структуровані за критеріями єСОВ, що робить її сумісною з сучасними методологіями проєктування.

Tipus D'element	Subtipus	Tipologia	Actuació
P - PARTIDES D'OBRA I CONJUNTS ▼	Tots ▼	Tots ▼	Tots ▼
 P0 - ASSAIGS DE MATERIALS BÀSICS			
 P1 - TREBALLS PREVIS I D'IMPLANTACIÓ, PROTECCIONS INDIVIDUALS I COL·LECTIVES I MESURES PREVENTIVES			
 P2 - DEMOLICIONS, ENDERROCS, MOVIMENTS DE TERRES I GESTIÓ DE RESIDUS			
 P3 - FONAMENTS, CONTENCIIONS I TÚNELS			
 P4 - ESTRUCTURES			
 P5 - COBERTES			
 P6 - TANCAMENTS I DIVISÒRIES			
 P7 - IMPERMEABILITZACIONS, AÏLLAMENTS I FORMACIÓ DE JUNTS			
 P8 - REVESTIMENTS			
 P9 - FERMS I PAVIMENTS			

Рисунок 4 — Інтерфейс бази цін BEDEC

На державному рівні моніторинг цін на матеріальні ресурси здійснюється також Міністерством промисловості, торгівлі та туризму, яке аналізує ціни на промислові ресурси, енергію, імпорту сировину. Водночас, Міністерство транспорту та житлового будівництва публікує референтні ціни на будівельні матеріали (бетон, метал, асфальт тощо).

Галузевий рівень. Професійні асоціації: SEOPAN (будівельна галузь), ANFAC (промисловість і транспорт), COAG (аграрні ресурси) збирають ціни від виробників і постачальників та здійснюють публікування щоквартальних або місячних звітів.

Ринковий та комерційний рівень. Комерційні бази даних і платформи використовуються компаніями для закупівель і контрактів та дають оперативні ринкові ціни.

При здійсненні публічних закупівель державні контракти зобов'язані спиратися на офіційні індекси та перевірені джерела цін, при цьому існує механізм коригування ціни контракту при значних коливаннях вартості ресурсів.

Отже, моніторинг цін на матеріальні ресурси в Іспанії сформований як багаторівнева,

інституційно забезпечена система, що поєднує офіційну статистику, галузеві бази даних і ринкову інформацію.

Італія. В Італії моніторинг цін на матеріальні ресурси (будівельні матеріали, товари промислового виробництва, продовольчі ресурси тощо) здійснюють комплексно за участю національних статистичних і регуляторних органів.

Торгово-промислові палати – практичні ціни ринку Camere di Commercio (Торгово-промислові палати), особливо важливе джерело для реальних ринкових цін, за допомогою якого наповнюються локальні та регіональні бази даних цін, які оновлюються щотижнево або щомісячно та охоплюють:

- будівельні матеріали;
- метал, цемент, щебінь, деревину;
- аграрну сировину.

Ціни (середні, мінімальні та максимальні) можуть публікуватися у вигляді Listini prezzi (цінові бюлетені), їх часто використовують в тендерах, арбітражних спорах, експертних оцінках.

Регіональні бази «Prezzari» є стандартом для будівництва [16], ключовими є наступні регіональні цінові довідники:

Prezzari Regionali delle Opere Pubbliche, які затверджуються регіональними адміністраціями і містять ціни на матеріальні ресурси (**рис. 5**) та є обов'язковими до застосування у державних будівельних проєктах та муніципальних закупівлях.

		U.M	€
MT01.001	CONGLOMERATI CEMENTIZI PRECONFEZIONATI		
	Conglomerato cementizio preconfezionato, a norma UNI EN 206-1 e UNI 11104, con aggregati di varie pezzature atte ad assicurare un assortimento granulometrico adeguato alla particolare destinazione del getto, comprensivo di tutti gli oneri tra cui quelli di controllo previsti dalle vigenti norme, magisteri e quanto altro necessario a fornirlo, dopo idonea miscelazione, in autobetoniera franco cantiere:		
MT01.001.005	a dosaggio con cemento 32.5 R e tipo secondo la ENV 197/1:		
MT01.001.005.a	dosaggio 150 kg/mc	mc	76,63
MT01.001.005.b	dosaggio 200 kg/mc	mc	85,69
MT01.001.005.c	dosaggio 250 kg/mc	mc	95,30
MT01.001.005.d	dosaggio 300 kg/mc	mc	104,90
MT01.001.005.e	dosaggio 350 kg/mc	mc	113,96
MT01.001.010	a dosaggio con cemento 42.5 R e tipo secondo la ENV 197/1:		
MT01.001.010.a	dosaggio 150 kg/mc	mc	80,63
MT01.001.010.b	dosaggio 200 kg/mc	mc	90,47
MT01.001.010.c	dosaggio 250 kg/mc	mc	101,18
MT01.001.010.d	dosaggio 300 kg/mc	mc	111,63
MT01.001.010.e	dosaggio 350 kg/mc	mc	121,53
MT01.001.015	Conglomerato cementizio a resistenza caratteristica con dimensioni massime degli inerti pari a 31,5 mm (Dmax 31,5) e classe di lavorabilità S4 (fluida), della seguente classe di resistenza a compressione:		
MT01.001.015.a	C8/10 (Rck 10 N/mm ²)	mc	130,42
MT01.001.015.b	C12/15 (Rck 15 N/mm ²)	mc	129,20
MT01.001.015.c	C16/20 (Rck 20 N/mm ²)	mc	133,78
MT01.001.015.d	C20/25 (Rck 25 N/mm ²)	mc	138,42

Рисунок 5 — Ціни на суміші бетонні, розміщені у збірнику Prezzari Regionali

Також Prezzari використовуються для практичних оцінок кошторисів, адже вони містять детальний перелік матеріалів із цінами, які застосовуються в будівельних проєктах.

Окрім статистичного моніторингу, в Італії діють також антикартельні та конкурентні органи (Autorità Garante della Concorrenza e del Mercato), які можуть аналізувати ціни, щоб виявляти можливі порушення конкуренції, які впливають на формування цін на матеріальні ресурси.

В Італії моніторинг цін на матеріальні ресурси ведеться як частина національної системи

статистики (ISTAT), яка збирає, обробляє й публікує дані про споживчі та виробничі ціни за допомогою стандартизованих методів статистичного спостереження. Крім цього, регуляторні органи можуть додатково аналізувати ринкові ціни в контексті конкуренції і конкурентної поведінки.

Німеччина. У Німеччині моніторинг цін на матеріальні ресурси (сировину, будівельні матеріали, енергоносії, промислові комплектуючі) здійснюється системно й прозоро, з участю держави, бізнесу та незалежних інститутів.

Державна статистика Destatis (Федеральне статистичне відомство) [17] — це ключовий орган, який регулярно збирає ціни від виробників і постачальників та розраховує індекси цін.

Головною офіційною базою даних цін у Німеччині є GENESIS — це центральна статистична база Федерального статистичного управління Німеччини, яка містить дані щодо матеріальних ресурсів. Це ключове джерело щодо інформації про ціни. Враховуючи, що це джерело інформації щодо цін є юридично визнаним, а його методологія публікації повністю публічна, то інформація з нього використовується у державних контрактах, а також застосовується судами.

До основних професійних баз даних Німеччини відносять:

BKI (Baukosteninformationszentrum) — це центральна база даних німецьких палат архітекторів, яка вважається найбільш авторитетним джерелом для визначення вартості будівництва на основі тисяч реальних завершених об'єктів [18]. Головною особливістю бази є наявність понад 25 500 актуальних цін на 2026 рік, розподілених за регіональними факторами (Regionalfaktoren).

SIRADOS — популярна база даних для складання тендерної документації та розрахунку одиничних розцінок (Einheitspreise) [19].

Baupreise.de — онлайн-платформа на основі даних SIRADOS, орієнтована на швидкий пошук цін і створення описів робіт [20].

Baupreislexikon — онлайн-довідник для орієнтовного визначення цін на будівельні послуги в розрізі 59 видів робіт [21].

Приклад динаміки цін на основні матеріали, згідно з даними Wohnglück [22], в Німеччині наведено на **рис. 6**.

Material	Preisindex Januar 2021	Preisindex März 2025	Preisentwicklung in Prozent
Zement	99,0	158,2	+59,8 %
Baukies und natürliche Sande	97,8	142,5	+45,7 %
Bauholz	66,3	94,9	+43,1 %
Bretter, Breite 8 bis 16 cm	64,4	90,9	+41,1 %
Frischbeton (Transportbeton)	99,6	135,8	+36,3 %
Vorratskantholz A/B	72,2	97,9	+35,6 %
Nadelholz, gehobelt, geschliffen, keilverzinkt	64,6	86,9	+34,5 %
Rohre aus Kupfer und Kupferlegierungen	89,3	112,3	+25,8 %
verschweißte Gitter und Geflechte	71,4	88,4	+23,8 %
Dachlatten	66,3	81,1	+22,3 %
Betonstahl in Stäben	78,3	87,8	+12,1 %
Spanplatten und ähnliche Platten	71,7	79,8	+11,3 %

Рисунок 6 — Динаміка цін на найбільш поширені матеріали (2021–2025)

Антимонопольний контроль за цінами здійснює Bundeskartellamt, завданням якого є відслідковування, щоб компанії не змовлялися щодо цін, аналіз різких або непропорційних стрибків, при цьому може вимагати пояснення або накладати штрафи.

Отже, ключова ідея німецької моделі полягає у прозорості, регулярній публікації даних, ринковому ціноутворенні, а також державному контролю за здійсненням моніторингу цін без ручного втручання.

Франція. Моніторинг цін на матеріальні ресурси у Франції здійснюється системно і на кількох рівнях — державному, галузевому та ринковому.

Державні органи

INSEE (Національний інститут статистики та економічних досліджень) [23] регулярно збирає дані про ціни на: сировину, енергоносії, промислові матеріали, будівельні ресурси.

Prices of energy and imported raw materials — детальна статистика по групах матеріалів і сировині, яка містить опис методології збору даних про ціни кожного виду імпортованих матеріалів, перелік агро-, мінеральних і стратегічних матеріалів, включених у статистику, посилання на відповідні таблиці даних [24], приклад розміщеної інформації щодо цін зображено на **рис. 7**.

Prices of energy				
	Brent in dollars per barrel	Brent in euros per barrel	Natural gas (TTF) in euros per MWh	Uranium in euros per pound
2025-11	63.6	55.0	30.8	66.8
2025-10	63.9	55.0	31.9	68.1
2025-09	67.4	57.4	32.3	66.2
2025-08	67.9	58.4	32.7	62.7
2025-07	71.0	60.8	33.9	62.2
2025-06	71.4	62.0	36.6	63.9
2025-05	64.4	57.2	35.3	62.9
2025-04	67.8	60.6	35.2	58.1
2025-03	72.7	67.3	41.8	59.4
2025-02	75.4	72.4	50.3	64.7
2025-01	79.3	76.6	48.3	70.6

Рисунок 7 — Ціни на нафту, природний газ, розміщені на Prices of energy and imported raw materials

Міністерство економіки (DGCCRF): контролює прозорість цін, виявляє спекуляції, змови, порушення конкуренції, відстежує зміну ціни на стратегічні ресурси (паливо, енергія тощо).

Професійні асоціації, що спеціалізуються на будівництві, металургії, хімічній промисловості ведуть власний моніторинг цін та публікують середні ринкові ціни, а також надають аналітику для підприємств.

Ринкові механізми ціни формуються на основі попиту і пропозиції, біржових котирувань (метали, енергоносії), а також імпорتنих контрактів. Необхідно зазначити, що великі компанії використовують комерційні бази даних, цифрові платформи для проведення закупівель, проте для довгострокових контрактів застосовуються формули індексації.

Також варто зазначити, що Франція інтегрована в систему Eurostat, відповідно до якої здійснюється порівняння цін між країнами ЄС, аналіз впливу глобальних коливань, що є дуже важливим для матеріалів, які імпортуються або мають єдині європейські ринки.

Англія. В Англії моніторинг цін на матеріальні ресурси здійснюється системно й прозоро — із залученням державних органів, незалежних агентств та ринкових механізмів.

Ключову роль відіграє Office for National Statistics (ONS) — Управління національної статистики [25], ним регулярно здійснюється публікування відкритих звітів (щомісяця / щокварталу) та збір даних про ціни на:

- сировину (метали, енергоносії);
- будівельні матеріали;
- промислові ресурси.

Ключовою базою даних для будівельних матеріалів є BCIS (Building Cost Information Service, RICS). Інформація в базі є максимально наближена до реальних проєктів та використовується при визначенні вартості об'єктів будівництва. До прикладу база містить інформацію щодо цін на Material Cost Indices (бетон, сталь, цегла, деревина), а також дані з реальних кошторисів і контрактів, однак користування цією базою переважно платне.

Не менш важливими періодичними виданнями є Spon's Price Books [26] — серія щорічних довідників, що містять понад 20 000 позицій цін на матеріали, трудовитрати та оренду техніки.

- Spon's Architects' and Builders' Price Book: містить інформацію щодо цін на матеріальні ресурси, які використовуються при виконанні загальнобудівельних робіт.
- Spon's Mechanical and Electrical Services Price Book: спеціалізується на інженерних мережах.

До професійних цінових баз (енергія, хімія, паливо) відносять також Argus Media / ICIS, в якій міститься інформація щодо ціни контрактів; регіональні огляди; логістичні коригування.

Державна статистика (GOV.UK) — Департамент бізнесу та торгівлі (DBT) щомісяця публікує статистику цін на будівельні матеріали (цеглу, цемент, бетонні блоки, пісок та гравій) та компоненти (Monthly Statistics of Building Materials and Components), звіти доступні безоплатно на офіційному порталі [27].

Галузеві агентства та професійні об'єднання мають свої джерела цін на матеріальні ресурси, до таких відносяться:

- Construction Products Association — будматеріали;
- BEIS / DESNZ — енергетичні ресурси;
- Metal Bulletin, Argus Media, ICIS — метали, хімія, паливо.

Типи баз даних наведено в **табл. 1**.

Таблиця 1

Типи баз даних цін на матеріальні ресурси в Англії

База даних цін	Тип бази даних	Для чого використовується
ONS PPI	державна	матеріали, сировина
ONS Time Series	статистична	індексація
BCIS (RICS)	кошторисна	будівництво
LME	біржова	метали
Argus Media / ICIS	галузева	енергія, хімія
Trading Economics	агрегатор	аналіз

З їх допомогою проводиться аналіз ринкових контрактів, відстежують імпорتنі та біржові ціни, а також формують прогнозні індекси.

Ціни на багато ресурсів формуються через:

- енергетичні біржі (газ, електроенергія);
- довгострокові контракти між постачальниками та компаніями.

У сфері публічних закупівель використовують індексацію цін у довгострокових контрактах, а також орієнтуються на офіційні індекси ONS і при цьому застосовують поняття «value for money» аналіз (співвідношення ціна / якість). Це дозволяє уникати різких перепадів цін і спекуляцій.

Моніторинг цін на матеріальні ресурси в Англії є системною, багаторівневою та доказовою процедурою, що базується на поєднанні державної статистики, професійних кошторисних баз і ринкових даних.

Японія. Моніторинг цін на матеріальні ресурси в Японії здійснюється через комплекс державних статистичних механізмів, індексів та інформування ринкових учасників. Це включає як державні офіційні дані, так і спеціальні індекси, що регулярно публікуються відповідальними агентствами.

Kensetsu Bukka (Construction Prices Investigation Institute) — найважливіше джерело для фахівців. Ця організація проводить масштабні дослідження ринкових цін на матеріали, обладнання та оплату праці по всій Японії. BCCI (Building Construction Cost Index) опубліковує щомісячні індекси вартості будівництва для різних типів споруд (офіси, заводи, житло).

RIBC (Research Institute on Building Cost) — спеціалізується на управлінні витратами в будівництві та публікує дані про ринкові одиничні ціни (shijo-tanka), що включають ціни на матеріальні ресурси, вартість робіт та техніки.

JACIC (Japan Construction Information Center) — забезпечує систему оцінки витрат для державних закупівель, інтегруючи бази даних матеріалів та обладнання для офіційних тендерів.

Economic Research Association — ще одна ключова організація, що аналізує ціни на сировину та матеріали, чий дані часто цитуються в міжнародних джерелах.

Statistics Bureau (Japan) державна служба статистики, яка здійснюється збір даних та координує опитування та публікацію великих масивів даних про ціни, виробництво, споживання тощо. Дані доступні через різні системи та онлайн-сервери (у тому числі API), що дає змогу дослідникам та бізнесу отримувати дані для аналізу цінових трендів [28].

Необхідно також зазначити, що Банк Японії (Bank of Japan) не займається безпосереднім збором детальних даних цін на матеріальні ресурси, він активно аналізує ці індекси CPI та PPI у своїх монетарних звітах, щоб оцінити інфляційний тиск.

Узагальнений підсумок найголовнішого щодо моніторингу цін на матеріальні ресурси в Японії наведено в **табл. 2**.

Таблиця 2

Здійснення моніторингу цін на матеріальні ресурси в Японії

Елемент моніторингу	Що саме відстежується	Хто здійснює	Періодичність	Основні джерела
CPI (Consumer Price Index)	Ціни на товари та послуги, у т.ч. матеріальні ресурси в споживанні	Statistics Bureau of Japan	Щомісяця	Statistics Bureau Japan, e-Stat
PPI / CGPI (Producer / Corporate Goods Price Index)	Ціни на сировину, матеріали, проміжні товари для виробництва	Bank of Japan	Щомісяця	Bank of Japan, e-Stat

Елемент моніторингу	Що саме відстежується	Хто здійснює	Періодичність	Основні джерела
Галузеві статистичні дані	Окремі матеріальні ресурси (енергоносії, метали, хімія)	Державні міністерства та агентства	Щоквартально / щорічно	e-Stat, профільні звіти
Аналітика та інтерпретація	Інфляційні тенденції, вплив на економіку	Bank of Japan	Регулярно (звіти)	Звіти Bank of Japan
Відкритий доступ до даних	Централізоване зберігання статистики	Уряд Японії	На постійній основі	Портал e-Stat

Отже, моніторинг цін на матеріальні ресурси в Японії базується на офіційних статистичних показниках, таких як CPI та PPI/CGPI, що регулярно публікуються державними органами (Statistics Bureau) та використовуються урядом і Банком Японії для аналізу інфляції та економічної політики. Загалом моніторинг цін у будівельному секторі Японії характеризується високим ступенем централізації та деталізації, де ключову роль відіграють спеціалізовані науково-дослідні інститути. Японська модель моніторингу є однією з найбільш збалансованих у світі, оскільки вона надає бізнесу готові інструменти для прогнозування ризиків та точного формування собівартості проєктів.

Висновки

Аналіз світового досвіду моніторингу цін свідчить, що в більшості розвинених країн такі системи мають комплексний характер, ґрунтуються на чітко визначених методологічних засадах, сучасних цифрових інструментах збирання й оброблення даних, а також на високому рівні інституційної координації. Ефективність цінового моніторингу у світовій практиці забезпечується поєднанням державних статистичних систем, ринкових джерел інформації, антимонопольного контролю та аналітичних платформ, що дозволяє оперативно реагувати на цінові коливання і запобігати зловживанням на ринку.

З урахуванням світового досвіду існує необхідність у створенні в Україні бази даних цін на матеріальні ресурси, яка б враховувала:

- єдиний державний цифровий реєстр актуальних ринкових цін, який охоплюватиме усі регіони України;
- централізовану систему збору інформації щодо цін на матеріальні ресурси;
- чіткі механізми підтвердження правдивості цін, наданих постачальниками;
- новітні цифрові технології для оптимізації процесу збору та зберігання даних щодо цін на матеріальні ресурси;
- алгоритми машинного навчання для автоматичного виокремлення цін на матеріали з укладених контрактів;
- динамічну зміну логістичних витрат;
- прозорий публічний доступ до даних із регулярними звітами, що зміцнить довіру до державних інституцій та сприятиме формуванню справедливих ринкових практик.

З урахуванням світового досвіду доцільним є формування в Україні єдиної, інтегрованої системи моніторингу цін, що передбачатиме удосконалення методології збору цінової інформації, розширення використання цифрових технологій, підвищення рівня міжвідомчої координації та забезпечення практичного використання результатів моніторингу у державній економічній політиці. Адаптація найефективніших міжнародних практик з урахуванням національних умов сприятиме підвищенню прозорості цінових процесів, зміцненню конкурентного середовища та посиленню соціального захисту споживачів.

Список літератури

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 01.08.2005 № 668 «Про затвердження Загальних умов укладення та виконання договорів підряду в капітальному будівництві» // База даних законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/668-2005-%D0%BF#Text>.
2. Методика визначення вартості дорожніх робіт та послуг щодо визначення вартості нового будівництва, реконструкції, ремонтів та експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування, затверджена наказом Міністерства інфраструктури України 07 жовтня 2022 року № 753, Київ, 2022. 95 с. (Інформація та документація).
3. Кошторисні норми України «Настанова з визначення вартості будівництва», затверджена наказом Мінрегіону від 01.11.2021 № 281 «Про затвердження кошторисних норм України у будівництві», Київ, 2021. 138 с. (Інформація та документація).
4. Електронний ресурс: URL: <https://prices.restoration.gov.ua> (дата звернення: 01.03.2026).
5. Електронний ресурс: URL: <https://e-construction.gov.ua> (дата звернення: 01.03.2026).
6. Електронний ресурс: URL: <https://stat.gov.ua/uk/topics/tsiny> (дата звернення: 01.03.2026).
7. Електронний ресурс: URL: <https://bi.prozorro.org/sense/app/ec65fa69-14a5-4337-b907-23682ef09702/overview> (дата звернення: 01.03.2026).
8. Електронний ресурс: URL: <https://checkprice.com.ua> (дата звернення: 01.03.2026).
9. Закон України «Про ціни і ціноутворення» // База даних законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5007-17#Text>. (дата звернення: 01.03.2026).
10. Електронний ресурс: stat.gov.az (дата звернення: 01.03.2026).
11. Електронний ресурс: competition.gov.az (дата звернення: 01.03.2026).
12. Електронний ресурс: etender.gov.az (дата звернення: 01.03.2026).
13. Електронний ресурс: URL: <https://sekocenbud.pl> (дата звернення: 01.03.2026).
14. Електронний ресурс: URL: <https://intercenbud.pl> (дата звернення: 01.03.2026).
15. Електронний ресурс: URL: <https://en.itec.cat/infoitec/databases/publication-of-the-bedec-construction-bank-2024-01/> (дата звернення: 01.03.2026).
16. Електронний ресурс: URL: <https://www.acca.it/prezzari-regionali> (дата звернення: 01.03.2026).
17. Електронний ресурс: URL: https://www.destatis.de/EN/Themes/Economy/Prices/_node.html (дата звернення: 01.03.2026).
18. Електронний ресурс: URL: <https://bki.de/baupreisindex> (дата звернення: 01.03.2026).
19. Електронний ресурс: <https://www.sirados.de/produkte/ausschreibung/baupreise> (дата звернення: 01.03.2026).
20. Електронний ресурс: URL: <https://www.baupreise.de> (дата звернення: 01.03.2026).
21. Електронний ресурс: URL: <https://www.bauprofessor.de/baupreisfaktoren/> (дата звернення: 01.03.2026).
22. Електронний ресурс: URL: <https://wohnglueck.de/artikel/preise-baumaterial-59490> (дата звернення: 01.03.2026).
23. Електронний ресурс: URL: <https://www.insee.fr/en/metadonnees/source/indicateur/p1662/description> (дата звернення: 01.03.2026).
24. Електронний ресурс: <https://www.insee.fr/en/statistiques/8688783> (дата звернення: 01.03.2026).
25. Електронний ресурс: URL: <https://www.ons.gov.uk/economy/inflationandpriceindices/bulletins/producerpriceinflation/latest> (дата звернення: 01.03.2026).
26. Електронний ресурс: URL: <https://www.routledge.com/spon-press> (дата звернення: 01.03.2026).
27. Електронний ресурс: URL: <https://www.gov.uk/government/collections/building-materials-and-components-monthly-statistics-2012> (дата звернення: 01.03.2026).
28. Електронний ресурс: URL: <https://www.e-stat.go.jp/en/statistics/00200573> (дата звернення: 01.03.2026).

References

1. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 01.08.2005 № 668 «Pro zatverdzhennia Zahalnykh umov ukladennia ta vykonannia dohovoriv pidriadu v kapitalnomu budivnytstvi» // Baza danykh zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/668-2005-%D0%BF#Text>. [in Ukrainian].
2. Metodyka vyznachennia vartosti dorozhnykh robot ta posluh shchodo vyznachennia vartosti novoho budivnytstva, rekonstruktsii, remontiv ta ekspluatatsiinoho utrymannia avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia, zatverdzhena nakazom Ministerstva infrastruktury Ukrainy 07 zhovtnia 2022 roku No. 753, Kyiv, 2022. 95 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
3. Koshtorysni normy Ukrainy «Nastanova z vyznachennia vartosti budivnytstva», zatverdzhena nakazom Minrehionu vid 01.11.2021 No. 281 «Pro zatverdzhennia koshtorysnykh norm Ukrainy u budivnytstvi», Kyiv, 2021. 138 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
4. Elektronnyi resurs: URL: <https://prices.restoration.gov.ua> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
5. Elektronnyi resurs: <https://e-construction.gov.ua> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
6. Elektronnyi resurs: URL: <https://stat.gov.ua/uk/topics/tsiny> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
7. Elektronnyi resurs: URL: <https://bi.prozorro.org/sense/app/ec65fa69-14a5-4337-b907-23682ef09702/overview> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
8. Elektronnyi resurs: URL: <https://checkprice.com.ua> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
9. Zakon Ukrainy «Pro tsiny i tsinoutvorennia» // Baza danykh zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5007-17#Text> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
10. Elektronnyi resurs: stat.gov.az (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
11. Elektronnyi resurs: competition.gov.az (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
12. Elektronnyi resurs: etender.gov.az (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
13. Elektronnyi resurs: URL: <https://sekocenbud.pl> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
14. Elektronnyi resurs: URL: <https://intercenbud.pl> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
15. Elektronnyi resurs: URL: <https://en.itec.cat/infoitec/databases/publication-of-the-bedec-construction-bank-2024-01/> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
16. Elektronnyi resurs: URL: <https://www.acca.it/prezzari-regionali> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
17. Elektronnyi resurs: URL: https://www.destatis.de/EN/Themes/Economy/Prices/_node.html (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
18. Elektronnyi resurs: URL: <https://bki.de/baupreisindex> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
19. Elektronnyi resurs: URL: <https://www.sirados.de/produkte/ausschreibung/baupreise> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
20. Elektronnyi resurs: URL: <https://www.baupreise.de> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
21. Elektronnyi resurs: URL: <https://www.bauprofessor.de/baupreisfaktoren/> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
22. Elektronnyi resurs: URL: <https://wohnglueck.de/artikel/preise-baumaterial-59490> (data zvernennia: 01.03.2026).
23. Elektronnyi resurs: URL: <https://www.insee.fr/en/metadonnees/source/indicateur/p1662/description> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
24. Elektronnyi resurs: URL: <https://www.insee.fr/en/statistiques/8688783> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
25. Elektronnyi resurs: URL: <https://www.ons.gov.uk/economy/inflationandpriceindices/bulletins/producerpriceinflation/latest> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].

26. Elektronnyi resurs: URL: <https://www.routledge.com/spon-press> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
27. Elektronnyi resurs: URL: <https://www.gov.uk/government/collections/building-materials-and-components-monthly-statistics-2012> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
28. Elektronnyi resurs: URL: <https://www.e-stat.go.jp/en/statistics/00200573> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
-

Artem Bezuglyi, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0003-3883-7968>

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

Yuliya Bibyk, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-7197-8909>

Natalia Mudrychenko, <https://orcid.org/0000-0002-9423-5518>

Ihor Hresko, <https://orcid.org/0000-0002-7175-7436>

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

ANALYSIS OF GLOBAL EXPERIENCE IN THE SYSTEM OF MONITORING PRICES FOR MATERIAL RESOURCES

Abstract

Introduction. Price monitoring is the regular systematic observation, collection, and analysis of data on the price levels of material resources. In the current conditions of globalization and economic instability, effective cost management in strategic sectors, particularly in road construction, is impossible without a well-designed price monitoring system. Constant fluctuations in the cost of material resources create significant risks for budget planning, leading to financial losses or inefficient use of public funds. Analysis of global experience in determining the cost of material resources will allow the identification of advanced methods of data collection and verification that ensure transparent pricing, how effective and practical different methods of determining them are in the cost pricing systems of different countries, and how they differ from the methods of monitoring material resources that are used in our country.

The problem. Material resources are a key component of the cost of road works and occupy the most significant position in the structure of total costs. In the context of the transformation processes in the Ukrainian economy and increasing price instability, the issue of effective price monitoring is becoming particularly relevant. Analysis of global experience in the field of material resource price monitoring is an important tool for the formation of an effective national system for price analysis and price policy regulation. One of the key tasks is to compare the differences in methods of collecting price information and the degree of state intervention in pricing. It should also be noted that in many countries, the effectiveness of price monitoring is ensured by stable institutions, a high level of coordination between state bodies, the independence of regulators, and a developed antitrust policy.

Currently, Ukraine is actively working on creating a database of prices for material resources, which will take into account current market prices for materials, products, and structures used in the construction industry and will cover all regions of Ukraine.

Special attention should be paid to technological and information constraints. Global experience is increasingly based on the use of big data, automated price collection systems, online monitoring, and real-time analytical platforms. In Ukraine, the introduction of such tools is hampered by uneven levels of digitalization.

Purpose. The purpose of this study is to conduct a comprehensive analysis of the theoretical foundations and global practical approaches to monitoring prices for material resources in a modern market economy. The main models and instruments of price monitoring used in different countries are analyzed, in particular, mechanisms of state and market price regulation, methods of collecting, processing, and

analyzing price information, methods and conditions for its disclosure, as well as the role of digital technologies and international information systems in ensuring the transparency of pricing processes. Particular attention is paid to assessing the effectiveness of global practices for monitoring prices of material resources in terms of their impact on market stability and the prevention of price speculation. Based on a summary of global experience, the article also aims to develop practical recommendations for improving the system for monitoring prices for material resources and the possibilities for adapting it to national economic conditions.

Materials and methods. The methodological basis of the study consists of general scientific and special methods of cognition of economic phenomena and processes, in particular, methods of analysis and synthesis were used to generalize theoretical approaches to the organization of price monitoring systems; a comparative method was used to compare price monitoring models operating in countries with different levels of economic development; a systematic approach was used to study the monitoring of prices for material resources as a component of the mechanism of state regulation and market self-control.

To assess the effectiveness of global practices in monitoring prices for material resources, methods of economic and statistical analysis were used, in particular grouping, the index method, and analysis of price dynamics. Content analysis and logical generalization methods were used to identify key trends, tools, and digital solutions in the field of price information collection and processing. Based on the method of generalizing global experience, conclusions and practical recommendations were formulated regarding the possibilities of implementing effective foreign approaches to monitoring prices for material resources, taking into account national economic conditions. While writing the article, an analysis of the relevant legislation of countries was carried out, as well as: 1. The object and subject of the study were determined, namely the experience of individual countries, regions, or organizations. 2. The goals and objectives of the study were formulated. 3. Information on global experience was collected from various sources, such as scientific articles.

Results. In the context of rapid changes in the global economy and rising inflation, monitoring prices for material resources is becoming not just an analytical tool, but a critical component of state economic policy. Studying global experience in monitoring prices for material resources will enable Ukraine to improve its current system for monitoring prices for material resources by implementing modern data verification tools into the Ukrainian pricing system, ensuring its compliance with current economic challenges. The study has formulated conclusions about global experience in monitoring prices for material resources and the possibilities for adapting it to domestic conditions.

Conclusions. Monitoring prices for material resources is not a technical statistical procedure, but a vital component of state economic policy. Global experience shows that countries that invest in high-quality price assessment and forecasting mechanisms achieve greater economic stability, investor confidence, and citizen protection. For Ukraine, this is an opportunity not only to adapt best practices, but also to develop its own model that will meet the challenges of the 21st century.

Keywords: price base, global experience, price monitoring, material resources.

УДК 338.5:625.7/8

Безуглий А. О., канд. екон. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0003-3883-7968>Комар В. Ю., <https://orcid.org/0000-0002-2634-9257>*Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна*

ВПЛИВ КОНКУРЕНЦІЇ НА ЦІНОУТВОРЕННЯ ДОРОЖНІХ РОБІТ В УКРАЇНІ

Анотація

Вступ. Виклики воєнного стану та повоєнного відновлення вимагають переосмислення сутності економічних категорій з метою використання їх потенціалу для відновлення соціально-економічного потенціалу. До категорій, сутність яких доцільно переосмислити відносимо конкуренцію як специфічну форму суперництва за споживачів та потужний інструмент впливу на ринкові ціни. Конкуренція разом з іншими факторами враховується під час ціноутворення, проте вважаємо недостатнім використання її потенціалу для оптимізації вартісних показників та покращення якості дорожніх робіт.

Проблематика. Ціноутворення на дорожні роботи залишається актуальною темою для дискусій науковців та практиків для пошуку оптимальних підходів до ціноутворення з дотриманням інтересів всіх стейкхолдерів даного процесу та суспільства загалом. В основі проблематики ціноутворення на дорожні роботи закладено розуміння різними групами стейкхолдерів наявних недоліків, суперечностей і проблем. Частина вказаних недоліків та суперечностей врахована під час удосконалення нормативного забезпечення ціноутворення дорожніх робіт та їх закупівель, у тому числі у змінах до Закону України «Про публічні закупівлі», Постанові Кабінету Міністрів України від 19.12.2025 р. № 1512, проте актуальною проблемою залишається конкурентність на ринку дорожніх робіт та використання потенціалу конкуренції для синергетичного позитивного ефекту

Метою дослідження. Метою дослідження є узагальнення теоретичних та практичних положень впливу конкуренції на ціноутворення дорожніх робіт в Україні та обґрунтування напрямів використання потенціалу конкуренції для відбудови транспортної інфраструктури.

Матеріали та методи. Науковим і теоретичним підґрунтям дослідження слугують загальнонаукові положення економічної теорії щодо теорії конкуренції та розуміння конкуренції як історичної форми боротьби за споживача, природні ресурси, ринки збуту тощо. Емпіричне дослідження оцінки впливу конкуренції на ціноутворення дорожніх робіт проведено з визначенням статистичних показників варіації. Інформаційною базою дослідження стали офіційні статистичні дані Державної служби статистики України та дані електронної системи Prozorro за оголошеними публічними закупівлями у 2017-2025 роках. Обсяг вибірки становить 365 публічних закупівель.

Результати. Узагальнено основні положення теорії конкуренції та визначено необхідність перегляду сутності та проявів конкуренції для відбудови транспортної інфраструктури України, що дозволить оптимізувати вартісні показники на дорожні роботи без втрати якості та відповідності вимогам. Для потреб даного дослідження виокремлено перевагу конкуренції для ринкової економіки, яка базується на ціноутворення на основі індивідуальних цінових пропозицій від суб'єкта господарювання, які дозволять оптимізувати вартість дорожніх робіт та оптимізувати бюджетні видатки в умовах фіскального дефіциту України. Проведено аналіз чисельності суб'єктів господарювання, які мають основним чи додатковим видом діяльності будівництво доріг і автострад (КВЕД 42.11), будівництво мостів і тунелів (КВЕД 42.13) та інші, визначено сформовані ринкові умови для досконалої конкуренції та позитивного впливу на ціноутворення дорожніх робіт. Проведено емпіричне дослідження рівня конкуренції на ринку дорожніх робіт, що виконуються за кошти державного чи місцевих бюджетів сформовано вибірку з 365 публічних закупівель за кодом

ДК 021:2015: 45230000-8 та визначено середню чисельність учасників від 3 учасників на початок досліджуваного періоду до 1 учасника, що вказує на суттєві порушення принципу конкурентності. Визначено рівень економії під час відкритих торгів та високий рівень варіації показника, що не дозволяє сформулювати єдиного висновку та вказує, що недосконалість та неоднорідність впливу конкуренції та ціноутворення дорожніх робіт.

Висновки. Обґрунтовано, що для відбудови та відновлення транспортної інфраструктури України сформовано сукупність інституційних умов, спрямованих на розвиток конкурентного середовища на ринку дорожніх робіт. Водночас, попри наявність понад 2 тисяч суб'єктів господарювання, які здійснюють діяльність за відповідними видами економічної діяльності, публічні закупівлі у цій сфері характеризуються відносно невисоким рівнем конкуренції.

Серед основних учасників ринку можна виокремити ТОВ «Автомагістраль-Південь», ТОВ «Ростдорстрой», ТОВ «Онур Конструкціон Інтернешнл», ТОВ «Спільне українсько-німецьке підприємство «Автострада», ТОВ «ПБС», ТОВ «Шляхбуд», ТОВ «Техно-Буд-Центр», а також окремі регіональні компанії. Така структура ринку свідчить про певний рівень його концентрації та наявність потенціалу для подальшого розвитку конкурентного середовища.

У зв'язку з цим питання впливу конкуренції на ціноутворення потребує подальшого наукового, методичного та практичного опрацювання з урахуванням як цінових, так і нецінових критеріїв. Важливим також є формування сприятливих інституційних умов для розширення участі суб'єктів господарювання у публічних закупівлях та процесах відбудови транспортної інфраструктури України.

Ключові слова: автомобільна дорога, дорожні роботи, конкуренція, публічні закупівлі, ринок, ціна, ціноутворення

Вступ

Ціноутворення на дорожні роботи залишається актуальною темою для дискусій науковців та практиків для пошуку оптимальних підходів до ціноутворення з дотриманням інтересів всіх стейкхолдерів даного процесу та суспільства загалом. В основі проблематики ціноутворення на дорожні роботи закладено розуміння різними групами стейкхолдерів наявних недоліків, суперечностей і проблем. Частина вказаних недоліків та суперечностей врахована під час удосконалення нормативного забезпечення ціноутворення дорожніх робіт та їх закупівель, у тому числі у змінах до Закону України «Про публічні закупівлі» [1], Постанові Кабінету Міністрів України від 19.12.2025 р. № 1512 [1], проте актуальною проблемою залишається конкурентність на ринку дорожніх робіт та використання потенціалу конкуренції для синергетичного позитивного ефекту, який базується на оптимізації вартісних показників та економії коштів замовників, прозорість ціноутворення та прозорий підхід до укладення договорів, прагнення до вищої якості робіт та послуг.

Ціноутворення дорожніх робіт досліджується українськими та іноземними вченими (Бібік Ю., Гресько І., Сорока А., Хоменко І. та інші [3, 4]), які наголошують на формуванні ціни під впливом ринкового попиту, конкуренції, собівартості продукції та державного регулювання [3, с. 150]. Конкуренція на ринку дорожніх робіт залишається менш дослідженою у контексті ціноутворення, тому вимагає окремого дослідження.

Метою дослідження є узагальнення теоретичних і практичних положень впливу конкуренції на ціноутворення дорожніх робіт в Україні та обґрунтування напрямів використання потенціалу конкуренції для відбудови транспортної інфраструктури.

Основна частина

Теоретичні основи конкурентної боротьби та конкуренції як невіддільна частина в ринковій економіці базуються на положеннях класичної школи політичної економії та отримали продовження у працях представників інших економічних шкіл. Прокопенко О. [5], Чіков І. [6], Гудима Л. [7] досліджували еволюцію поглядів на конкуренцію та її прояви у економіці, зауважуючи про «адаптацію ринкових суб'єктів до постійних змін ринкового середовища й до

залучення окремих моделей теорії конкуренції, в залежності від можливостей формування власних конкурентних переваг на обраних ринках» [5, с. 407]. Згідно статті 1 Закону України від 11.01.2001 № 2210-III [8], «економічна конкуренція (конкуренція) — змагання між суб'єктами господарювання з метою здобуття завдяки власним досягненням переваг над іншими суб'єктами господарювання, внаслідок чого споживачі, суб'єкти господарювання мають можливість вибирати між кількома продавцями, покупцями, а окремий суб'єкт господарювання не може визначати умови обороту товарів на ринку» [8]. Наведене визначення відповідає основним положенням економічної теорії та обмежує можливість окремого суб'єкта господарювання визначати ринкові умови, у тому числі ціни на товари.

Для України та потреб повоєнного відновлення важливим є перегляд сутності та проявів основних економічних категорій, а також переосмислення їх потенціалу для повоєнного відновлення, у тому числі транспортної інфраструктури. Вплив конкуренції на соціально-економічний розвиток реалізується у багатьох сферах та напрямках. Історично конкуренція реалізовувалася як боротьба між виробниками за споживачів, природні ресурси. Основними перевагами конкуренції є можливість оптимізувати ціни на ринку під впливом попиту та пропозиції, а також забезпечити можливість вибору споживачем кращих товарів чи послуг за якістю, наближеність чи іншими критеріями. Органи державної влади також отримують переваги від конкурентного ринкового середовища, які полягають в оптимізації рівня цін, підвищенні якості товарів та ефективному використанні ресурсів, науковому прогресу суспільства тощо. Сучасна конкуренція не змінила своєї сутності та розуміється як боротьба, суперництво за споживачів, ринки збуту зі зміною інструментів та способів боротьби, а також враховуючи технологічний, цифровий та інноваційний розвиток для створення кращого продукту чи послуги.

Для потреб даного дослідження виокремлено перевагу конкуренції для ринкової економіки, яка базується на ціноутворенні на основі індивідуальних цінових пропозицій від суб'єкта господарювання, які дозволяють оптимізувати вартість дорожніх робіт та оптимізувати бюджетні видатки в умовах фіскального дефіциту України. Конкуренція на ринку дорожніх робіт формується суб'єктами господарювання, які мають основним чи додатковим видом діяльності будівництво доріг і автострад (КВЕД 42.11), будівництво мостів і тунелів (КВЕД 42.13) та інші. За даними Держстату України, що наведені на **рис. 1** можна зробити попередній висновок про конкурентне середовище на ринку дорожніх робіт та високий рівень конкуренції, оскільки чисельність суб'єктів господарювання коливалася від 1 533 од. до 2 144 од. Період до 2020 року слід вважати періодом активного зростання у даному сегменті за чисельністю суб'єктів господарювання, проте у наступних роках відбувалися не значні зміни.

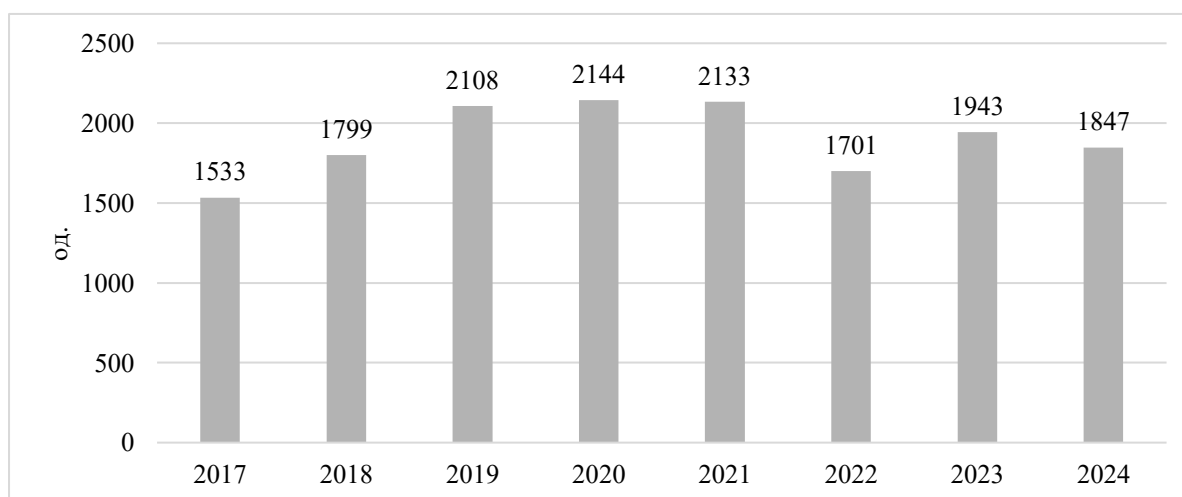


Рисунок 1 — Чисельність суб'єктів господарювання за КВЕД 42.11

Джерело: дані Держстату України

Для емпіричної частини дослідження рівня конкуренції на ринку дорожніх робіт, що виконуються за кошти державного чи місцевих бюджетів сформовано вибірку з 365 публічних закупівель за кодом ДК 021:2015:45230000-8 Будівництво трубопроводів, ліній зв'язку та електропередач, шосе, доріг, аеродромів і залізничних доріг; вирівнювання поверхонь у 2017-2025 роках. Статистичні характеристики сформованої вибірки закупівель за критерієм чисельності учасників (табл. 1) вказують на зменшення середнього значення та моди протягом досліджуваного періоду з 3 учасників до 1 учасника.

Таблиця 1

Статистичні характеристики вибірки публічних закупівель за кодом ДК 021:2015 у 2017-2025 роках, критерій: чисельність учасників

Рік	Середнє значення	Мода	Мінімальне значення	Максимальне значення	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації
2017	3,0	3	2	6	0,99	0,33
2018	3,1	3	2	8	1,19	0,39
2019	3,8	3	2	8	1,59	0,42
2020	3,4	3	2	9	1,44	0,43
2021	2,7	2	2	5	0,80	0,30
2022	1,9	2	1	4	0,91	0,47
2023	1,8	1	1	5	1,03	0,59
2024	2,0	1	1	5	1,24	0,62
2025	1,8	1	1	3	0,79	0,45

Джерело: складено авторами

У 2017-2020 роках найчастіше у сформованій вибірці мали місце закупівлі з трьома учасниками, мінімальна чисельність становила два учасники. Прикладами висококонкурентних закупівель були закупівлі з п'ятьма учасниками, наприклад, UA-2018-06-01-000756-а, UA-2019-05-16-002351-а, UA-2019-01-10-000599-б, UA-2019-09-11-000147-с, UA-2019-05-16-002718-а, UA-2020-07-29-009152-с, UA-2020-07-29-008984-с, UA-2020-07-29-009248-с та інші. До позитивних рис ринку дорожніх робіт та публічних закупівель за кодом ДК 021:2015 варто віднести максимальне середнє значення чисельності учасників з активною позицією окремих суб'єктів господарювання (ТОВ «Автомагістраль-Південь», ТОВ «Ростдорстрой», ТОВ «Онур Конструкціон Інтернешнл», ТОВ «Спільне українсько-німецьке підприємство «Автострада», ТОВ «ПБС», ТОВ «Шляхбуд», ТОВ «Техно-Буд-Центр»), так інших суб'єктів господарювання з менш активною позицією на державному рівні або з добре вираженою позицією на регіональному рівні (ТОВ «Шляховик», ТОВ «Будівельна компанія «Дорлідер», ПАТ «Хмельницьке ШБУ-56», ПП «Київшляхбуд», ТОВ «Самарь-Автошляхсервіс» тощо). Протягом 2021-2022 років модальне значення чисельності учасників публічних закупівель за кодом ДК 021:2015 зменшилося до двох учасників під впливом воєнного стану та інших чинників соціально-економічної нестабільності, у тому числі переважно закупівлі за спрощеною процедурою. В умовах воєнного стану активність суб'єктів господарювання зменшилася. Модальне значення зменшилося до одного учасника у 2023 році та залишалося на визначеному рівні до кінця досліджуваного періоду, що вказує на зменшення активності суб'єктів господарювання у публічних закупівлях з дорожніх робіт та зменшення рівня конкурентної боротьби, яка обмежувалася такими суб'єктами господарювання як ТОВ «Автомагістраль-Південь», ПП «Автомагістраль», ТОВ «ПБС», ТОВ «Ростдорстрой», ТОВ «Онур Конструкціон Інтернешнл», ТОВ «Шляховик-Т», ТОВ «Буд Регіон», ТОВ «Спільне українсько-німецьке підприємство «Автострада».

Отже, показники середньої чисельності учасників публічних закупівель дорожніх робіт з використанням відкритих торгів вказує на досягнення максимального рівня конкуренції у 2019 році та поступове її зниження у наступних роках, що призвело до мінімальної чисельності учасників на кінець досліджуваного періоду та сформувало ризик зменшення позитивного соціально-економічного ефекту від конкуренції на ринку дорожніх робіт. Чисельність суб'єктів господарювання, що конкурують у публічних закупівлях відрізняється від загальної чисельності суб'єктів господарювання, які здійснюють відповідну діяльність і мають право на участь у таких закупівлях.

Як вище зазначено, конкуренція має позитивний вплив на ринкові ціни. За гіпотезою дослідження визначено, що конкуренція має позитивний вплив на ціноутворення на ринку дорожніх робіт. Емпіричне дослідження впливу конкуренції на ціноутворення базується на показниках економії. Посібник КПЕ з публічних закупівель [9] надає формульне забезпечення визначення досягнутої економії на основі порівняння вартісних показників. Для цілей дослідження впливу конкуренції на ціноутворення дорожніх робіт визначено два відносних показники економії (E_1 та E_2):

$$E_1 = \frac{\text{очікувана вартість ПЗ} - \text{первинна пропозиція}}{\text{очікувана вартість ПЗ}} 100, \% \quad (1)$$

$$E_2 = \frac{\text{очікувана вартість ПЗ} - \text{остаточна пропозиція}}{\text{очікувана вартість ПЗ}} 100, \% \quad (2)$$

Перший показник економії (E_1) визначає зменшення вартісних показників порівняно з очікуваною вартістю предмету закупівлі, характеризуючи рівень загальної конкуренції. За проведеними розрахунками та визначеними статистичними характеристиками можна стверджувати про неоднорідність сформованої вибірки за критерієм зменшення вартісних показників (табл. 2). Для окремих закупівель економія була мінімальною, показник економії був наближений до 0, максимальні значення зменшення вартісних показників на етапі первинних пропозицій вимагали уточнення та були відміненими (UA-2019-01-10-000599-b, UA-2019-09-11-000147-c, UA-2019-05-16-002718-a, UA-2019-11-28-001724-c, UA-2020-07-29-009248-c, UA-2023-05-17-015011-a, UA-2024-04-03-011010-a).

Таблиця 2

Статистичні характеристики вибірки публічних закупівель за кодом ДК 021:2015 у 2017-2025 роках, критерій: зменшення ціни (E_1), %

Рік	Середнє значення	Мода	Мінімальне значення	Максимальне значення	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації
2017	6,6	-	0,00	67,0	14,5	2,2
2018	2,8	-	0,00	36,9	6,2	2,2
2019	6,8	-	0,05	75,1	11,0	1,6
2020	4,3	-	0,02	21,0	4,2	1,0
2021	3,4	-	0,04	30,5	4,4	1,3
2022	1,7	-	0,00	10,0	2,5	1,5
2023	7,0	-	0,09	30,0	7,7	1,1
2024	4,6	-	0,00	29,6	6,0	1,3
2025	3,0	-	0,03	17,6	4,2	1,4

Джерело: складено авторами

Другий показник економії (E_2) визначає зменшення показника остаточної пропозиції порівняно з очікуваною вартістю предмету закупівлі. За проведеними розрахунками та визначеними статистичними характеристиками (табл. 3) визначено, що середнє значення економії коливалося на рівні до 13 %. Прикладами позитивного впливу конкуренції на ціноутворення є закупівлі з чисельністю понад 3 учасника, що дозволяє отримати переваги від конкурентного ринку. Варто відмітити наступні закупівлі: UA-2017-12-21-001388-b (5 учасників та загальна економія 30,8 %), UA-2018-06-01-000756-a (8 учасників та загальна економія 36,9 %), UA-2023-07-21-009377-a (4 учасника та загальна економія 23,2 %) тощо. До негативних ознак конкуренції на ринку дорожніх робіт в умовах воєнного стану слід віднести зниження середнього рівня зменшення ціни, оскільки велика частка закупівель мала лише одного учасника.

Таблиця 3
Статистичні характеристики вибірки публічних закупівель за кодом ДК 021:2015 у 2017-2025 роках, критерій: зменшення ціни (E_2), %

Рік	Середнє значення	Мода	Мінімальне значення	Максимальне значення	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації
2017	8,8	-	0,04	67,0	16,4	1,9
2018	4,8	-	0,01	44,5	9,2	1,9
2019	12,9	-	0,05	75,1	15,3	1,2
2020	7,0	-	0,91	22,0	5,2	0,7
2021	6,0	-	0,04	50,6	7,6	1,3
2022	2,4	-	0,01	10,0	2,9	1,2
2023	7,1	-	0,09	40,6	9,0	1,3
2024	6,7	-	0,14	45,0	8,8	1,3
2025	3,8	-	0,03	17,6	4,7	1,2

Джерело: складено авторами

Проведене емпіричне дослідження вибірки з 365 публічних закупівель за кодом ДК 021:2015:45230000-8 Будівництво трубопроводів, ліній зв'язку та електропередач, шосе, доріг, аеродромів і залізничних доріг; вирівнювання поверхонь у 2017-2025 роках вказує на низький рівень залучення суб'єктів господарювання до дорожніх робіт попри створене конкурентне середовище, декларування прагнення до забезпечення добросовісної конкуренції під час закупівель, відкритість та прозорість, недискримінацію учасників та рівне ставлення до них та інші інституційні умови згідно із статтею 5 Закону України від 25.12.2015 № 922-VIII зі змінами та доповненнями [1]. Вважаємо, що проблематика впливу конкуренції на ціноутворення вимагає наукового, методичного та практичного обґрунтування з урахуванням цінових та нецінових критеріїв, створення сприятливих інституційних умов для активізації участі суб'єктів господарювання у публічних закупівлях та відбудові транспортної інфраструктури України.

Висновки

Для відбудови та відновлення транспортної інфраструктури України сформовано сукупність інституційних умов, спрямованих на розвиток конкурентного середовища на ринку дорожніх робіт.

Разом з тим експлуатаційне утримання, ремонт і будівництво автомобільних доріг переважно здійснюються обмеженим колом компаній. Попри те, що понад 2 тисячі суб'єктів господарювання декларують діяльність за відповідними видами економічної діяльності, публічні закупівлі дорожніх робіт характеризуються відносно невисоким рівнем конкуренції.

Серед основних учасників ринку можна виокремити ТОВ «Автомагістраль-Південь», ТОВ «Ростдорстрой», ТОВ «Онур Конструкціон Інтернешнл», ТОВ «Спільне українсько-німецьке підприємство «Автострада», ТОВ «ПБС», ТОВ «Шляхбуд», ТОВ «Техно-Буд-Центр», а також низку регіональних компаній. Така структура ринку свідчить про певний рівень концентрації та потенціал для подальшого розвитку конкурентного середовища.

Список літератури

1. Про публічні закупівлі: Закон України від 25.12.2015 № 922-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/922-19#Text> (дата звернення 01.02.2026).
2. Деякі особливості визначення вартості будівництва в умовах воєнного стану: Постанова Кабінету Міністрів України від 19.11.2025 № 1512. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1512-2025-%D0%BF#Text> (дата звернення 01.02.2026).
3. 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*. 2023. Вип. 28. С. 8–18. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.008>
4. Khomenko I., Bibik J., Soroka A. pricing strategy in the road industry: theoretical foundations and practical aspects. *Kyiv Economic Scientific Journal*. 2023. 3. P. 150–157. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2023-3-22>
5. Прокопенко, О. В. Теорія конкуренції : еволюція поглядів і змістовне наповнення. *Український журнал прикладної економіки*. 2019. Том 4. № 3. С. 407–414.
6. Чіков І. А. Конкуренція: теоретичні підходи до розуміння сутності поняття. *Агросвіт*. 2019. № 10. С. 74–80. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2019.10.74>.
7. Гудима Л.О. Конкуренція: генезис історичних підходів та сучасні форми конкурентних відносин між суб'єктами господарювання. *Причорноморські економічні студії*. Сер. Економіка. 2024. №86. С. 21–26.
8. Про захист економічної конкуренції: Закон України від 11.01.2001 № 2210-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2210-14#Text> (дата звернення 01.02.2026).
9. Посібник з КПЕ публічних закупівель. URL: (дата звернення 04.02.2026).

References

1. Pro publichni zakupivli: Law of Ukraine on 25.12.2015 No. 922-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/922-19#Text> (Last accessed: 01.02.2026) [in Ukrainian].
2. Deiaki osoblyvosti vyznachennia vartosti budivnytstva v umovakh voiennoho stanu: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 19.11.2025 No. 1512. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1512-2025-%D0%BF#Text> (Last accessed: 01.02.2026) [in Ukrainian].
3. Bezuglyi A., Bibyk Y., Hresko I., Boyko M. 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). *Dorogi i mosti*. 2023. Issue 28. P. 8–18 [in Ukrainian].
4. Khomenko I., Bibik J., Soroka A. pricing strategy in the road industry: theoretical foundations and practical aspects. *Kyiv Economic Scientific Journal*. 2023. 3. P. 150–157. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2023-3-22> [in English].
5. Prokopenko, O. V. Teoriia konkurentsii : evoliutsiia pohliadiv i zmistovne napovnennia (Theory of competition: evolution of views and content.). *Ukrainskyi zhurnal prykladnoi ekonomiky*. 2019. Tom 4. No. 3. P. 407–414. [in Ukrainian].
6. Chikov I. A. Konkurentsia: teoretychni pidkhody do rozuminnia sutnosti poniattia (Competition: theoretical approaches to understanding the essence of the concept). *Ahrosvit*. 2019. No. 10. P. 74–80. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2019.10.74> [in Ukrainian].

7. Hudyma L. O. Konkurentsia: henezys istorychnykh pidkhodiv ta suchasni formy konkurentnykh vidnosyn mizh subiektamy hospodariuvannia (Competition: the genesis of historical approaches and modern forms of competitive relations between economic entities). *Prychornomorski ekonomichni studii*. Ser. Ekonomika. 2024. No. 86. P. 21–26. [in Ukrainian].

8. Pro zakhyst ekonomichnoi konkurentsii: Law of Ukraine on 11.01.2001 No. 2210-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2210-14#Text> (Last accessed: 01.02.2026) [in Ukrainian].

9. Posibnyk z KPE publichnykh zakupivel. URL: (Last accessed: 04.02.2026) [in Ukrainian].

Artem Bezugliy, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0003-3883-7968>

Viktor Komar, <https://orcid.org/0000-0002-2634-9257>

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

IMPACT OF COMPETITION ON PRICING OF ROAD WORKS IN UKRAINE

Abstract

Introduction. The challenges of martial law and post-war reconstruction require rethinking the essence of economic categories in order to use their potential to restore socio-economic potential. The categories whose essence it is advisable to rethink include competition as a specific form of competition for consumers and a powerful tool for influencing market prices. Competition, along with other factors, is taken into account during pricing, but we consider its potential to be insufficiently used to optimize cost indicators and improve the quality of road works.

Issues. Pricing for road works remains a relevant topic for discussions among scientists and practitioners to find optimal approaches to pricing while respecting the interests of all stakeholders in this process and society as a whole. The basis of the issues of pricing for road works is the understanding of existing shortcomings, contradictions and problems by different groups of stakeholders. Some of the above shortcomings and contradictions were taken into account when improving the regulatory support for pricing road works and their procurement, including in the amendments to the Law of Ukraine «On Public Procurement», Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 19.12.2025 No. 1512, however, the current problem remains competitiveness in the road works market and the use of the potential of competition for a synergistic positive effect.

Purpose of the study. The purpose of the study is to generalize the theoretical and practical provisions of the influence of competition on the pricing of road works in Ukraine and to substantiate the directions of using the potential of competition for the reconstruction of transport infrastructure.

Materials and methods. The scientific and theoretical basis of the study is the general scientific provisions of economic theory regarding the theory of competition and the understanding of competition as a historical form of struggle for the consumer, natural resources, sales markets, etc. An empirical study of the assessment of the impact of competition on the pricing of road works was conducted with the determination of statistical indicators of variation. The information base of the study was the official statistical data of the State Statistics Service of Ukraine and data from the electronic system Prozorro on announced public procurements in 2017-2025. The sample size is 365 public procurements.

Results. The main provisions of the theory of competition are summarized and the need to review the essence and manifestations of competition for the reconstruction of the transport infrastructure of Ukraine is identified, which will allow optimizing the cost indicators for road works without losing quality and compliance with requirements. For the needs of this study, the advantage of competition for a market economy is highlighted, which is based on pricing based on individual price offers from a business entity, which will allow optimizing the cost of road works and optimizing budget expenditures in the conditions

of Ukraine's fiscal deficit. An analysis of the number of business entities whose main or additional activity is the construction of roads and highways (KVED 42.11), construction of bridges and tunnels (KVED 42.13) and others was conducted, and the existing market conditions for perfect competition and a positive impact on the pricing of road works were determined. An empirical study of the level of competition in the market for road works carried out at the expense of state or local budgets was conducted, a sample of 365 public procurements was formed under the code DK 021:2015: 45230000-8 and the average number of participants was determined from 3 participants at the beginning of the studied period to 1 participant, which indicates significant violations of the principle of competitiveness. The level of savings during open bidding and a high level of variation of the indicator were determined, which does not allow formulating a single conclusion and indicates that the imperfection and heterogeneity of the impact of competition and the pricing of road works.

Conclusions. It is substantiated that for the reconstruction and restoration of the transport infrastructure of Ukraine, a set of institutional conditions for a competitive environment in the road works market has been formed, and more than 2 thousand business entities are engaged in this type of activity, however, public procurement of road works is characterized by a low level of competition. The main participants in the road works market are identified as LLC Avtomagistral-Pivden, LLC Rostdorstroy, LLC Onur Konstruktion International, LLC Joint Ukrainian-German Enterprise Avtostrada, LLC PBS, LLC Shlyakhbud, LLC Techno-Bud-Center and individual regional companies, which violates the principles of perfect competition. We believe that the issue of the impact of competition on pricing requires scientific, methodological and practical justification taking into account price and non-price criteria, the creation of favorable institutional conditions for the activation of the participation of business entities in public procurement and the reconstruction of the transport infrastructure of Ukraine.

Keywords: road, road works, competition, public procurement, market, price, pricing.

УДК 338.5:625.7/.8

Безуглий А. О., канд. екон. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0003-3883-7968>Цинка А. О., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-0357-2325>Ілляш С. І., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-3001-8012>Маковська Ю. А., канд. екон. наук, <https://orcid.org/0000-0003-1107-7727>Стасюк Т. О., <https://orcid.org/0000-0001-5921-4503>Парасюк Л. В., <https://orcid.org/0000-0002-2482-4464>

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

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ВАРТОСТІ ПОСЛУГ З ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ WIM

Анотація

У статті розглянуто питання визначення вартості послуг з технічного обслуговування автоматичних пунктів габаритно-вагового контролю у русі (WIM). Проаналізовано нормативну базу, структуру витрат і специфіку метрологічних робіт. Визначено основні проблемні аспекти формування кошторисів та запропоновано шляхи оптимізації, що забезпечують ефективне використання бюджетних коштів і надійність функціонування WIM.

Вступ. Розвиток автомобільних доріг загального користування є важливим чинником економічного зростання України. Впровадження систем зважування у русі (Weigh-in-Motion, WIM) забезпечує ефективний контроль дотримання габаритно-вагових норм, сприяє збереженню дорожнього покриття та мінімізації витрат на його ремонт. З метою забезпечення безперебійного функціонування автоматичних пунктів габаритно-вагового контролю у русі (WIM) їх технічне обслуговування має здійснюватися на регулярній основі. Відповідно до вимог законодавства у сфері публічних закупівель, для закупівлі таких послуг потрібно обґрунтовано визначити очікувану вартість та забезпечити можливість порівняння цінових пропозицій учасників. За відсутності чітко визначених методичних підходів щодо формування кошторисної вартості послуг з технічного обслуговування WIM зазначені процедури істотно ускладнюються.

Проблематика. Формування вартості послуг з технічного обслуговування WIM є складним завданням через відсутність окремої методики, адаптованої саме під такі комплекси; значні витрати часу і ресурсів на проведення метрологічних перевірок та калібрувань; суттєві транспортні витрати, зумовлені необхідністю залучення та переміщення спеціалізованих засобів і обладнання, що використовуються під час виконання метрологічних робіт; різницю у трудових затратах залежно від кількості смуг руху та конфігурації комплексу. Сукупність зазначених чинників призводить до неоднорідності кошторисних розрахунків, ускладнює прогнозування очікуваної вартості закупівель і зумовлює істотну варіативність цінових пропозицій під час проведення процедур закупівель.

Мета. Метою дослідження є аналіз особливостей визначення вартості технічного обслуговування WIM та формування підходів до уніфікації розрахунків.

Матеріали та методи. Стаття має оглядовий характер. У статті використовується системний підхід, який є сукупністю загальнонаукових методологічних принципів (вимог), в основі яких лежить розгляд об'єктів як систем.

Результати. У статті розглядаються питання визначення вартості послуг з технічного обслуговування автоматичних пунктів габаритно-вагового контролю у русі (WIM) на автомобільних дорогах загального користування.

Висновки. Проведене дослідження дозволить удосконалити нормативно-кошторисну базу дорожнього господарства щодо визначення вартості послуг з технічного обслуговування автоматичних пунктів габаритно-вагового контролю у русі (WIM). Їх можна застосовувати під час

підготування тендерної документації та планування фінансування робіт з технічного обслуговування пунктів WIM на автомобільних дорогах загального користування, що дозволить покращити контролювання над виділенням і використанням бюджетних коштів, сприятиме ефективнішому і більш правильному складанню кошторисної документації, підвищенню рівня інформованості громадськості та зацікавлених сторін щодо стану дорожньої інфраструктури та робіт, які виконуються для її підтримання на належному рівні, а також прозорості та відкритості в управлінні дорожнім господарством.

Ключові слова: автомобільна дорога, вартість послуг, габаритно-ваговий контроль, метрологія, технічне обслуговування, WIM.

Вступ

За сучасних умов істотного зростання інтенсивності руху та збільшення частки великовагових і великогабаритних транспортних засобів особливої актуальності набуває проблема збереження дорожніх конструкцій і раціонального використання бюджетних коштів, спрямованих на утримання та відновлення автомобільних доріг.

Впровадження систем зважування у русі (Weigh-in-Motion, WIM) є одним з найбільш ефективних інструментів контролю дотримання габаритно-вагових параметрів транспортних засобів без порушення безперервності транспортного потоку. Автоматичні пункти WIM забезпечують отримання великого масиву даних про навантаги на вісь, загальну масу транспортних засобів, інтенсивність руху та структуру транспортних потоків, що створює передумови для ухвалення обґрунтованих управлінських рішень у сфері дорожнього господарства.

Разом з тим ефективність функціонування WIM безпосередньо залежить від технічного стану обладнання, стабільності його роботи та точності вимірювань. Забезпечення цих умов можливе лише за умови належної організації технічного обслуговування, яке включає комплекс профілактичних, регламентних і відновлювальних робіт, а також обов'язкове виконання метрологічних процедур. Особливістю WIM є поєднання функцій інженерної інфраструктури автомобільної дороги та засобів вимірювальної техніки, що суттєво ускладнює підходи до визначення складу робіт і вартості їх виконання.

У практиці закупівель послуг з технічного обслуговування WIM спостерігається значна різниця у підходах до формування кошторисної вартості. Це обумовлено як відсутністю спеціалізованої методики, адаптованої саме до WIM-комплексів, так і різноманіттям технічних рішень, конфігурацій пунктів, кількості смуг руху та умов їх експлуатації. У зазначених умовах актуалізується потреба у формуванні концептуальних підходів до визначення вартості послуг з технічного обслуговування WIM, які б забезпечували прозорість, порівнянність та економічну обґрунтованість відповідних витрат.

Основна частина

Одним із ключових чинників передчасного руйнування дорожнього одягу автомобільних доріг загального користування є систематичний рух перевантажених транспортних засобів. Відомо, що навантага на вісь має нелінійний характер впливу на довговічність покриття: навіть незначне перевищення нормативних значень призводить до багаторазового зростання накопичених деформацій у шарах дорожнього одягу. За результатами досліджень, руйнівний ефект від одного великовагового транспортного засобу з перевищенням допустимої навантаги може бути співставним із впливом десятків тисяч легкових автомобілів.

Окрім безпосереднього впливу на стан дорожнього покриття, перевантажені транспортні засоби негативно позначаються на безпеці дорожнього руху. Збільшення маси та осьових навантаж ускладнює керування транспортним засобом, подовжує гальмівний шлях і підвищує ризик технічних несправностей, що в сукупності призводить до додаткових витрат на утримання автомобільних доріг і пов'язаних з ними інженерних споруд.

Автоматичні пункти габаритно-вагового контролю у русі є складними технічними системами, що поєднують дорожні конструктивні елементи, електронні вимірювальні прилади, програмно-

апаратні комплекси оброблення даних і засоби передачі інформації. На відміну від традиційних засобів вимірювальної техніки, WIM експлуатуються у динамічних умовах руху транспортних засобів, що обумовлює наявність додаткових похибок, пов'язаних зі швидкістю руху, станом дорожнього покриття, температурними коливаннями та коливаннями навантаження на вісь.

Практика експлуатації WIM [1] свідчить, що стабільність результатів вимірювань визначається не лише типом застосованих датчиків, а і якістю їх монтажу, станом дорожнього покриття в зоні вимірювання та регулярністю виконання робіт з технічного обслуговування і калібрування. Поява колійності, тріщин або локальних нерівностей у зоні розміщення сенсорів змінює взаємодію коліс транспортних засобів з дорожнім покриттям, що безпосередньо відображається на результатах зважування.

Залежно від цілей використання WIM-комплексів — збирання статистичних даних, моніторинг транспортних потоків або забезпечення контролю дотримання габаритно-вагових параметрів — висуваються різні вимоги до стабільності та відтворюваності результатів вимірювань. Це, у свою чергу, зумовлює різну періодичність технічного обслуговування, обсяги регламентних робіт і необхідність проведення додаткових перевірок у процесі експлуатування. Ефективне функціонування WIM-комплексів у довгостроковій перспективі можливе лише за умови системного технічного обслуговування, яке охоплює не лише сенсорне обладнання, а й програмне забезпечення, системи електроживлення, передавання та зберігання даних, а також допоміжні підсистеми. Недостатня увага до питань технічного обслуговування призводить до поступового погіршення якості вимірювань і зниження практичної цінності отриманих даних для потреб експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

Світова практика демонструє широке застосування WIM-систем як у цілях попереднього скринінгу транспортних засобів, так і для формування довгострокових масивів даних, що використовуються під час проєктування, планування ремонтів і управління дорожніми активами. Зокрема, у країнах Європейського Союзу та Північної Америки WIM-системи інтегруються в системи управління дорожньою інфраструктурою для уточнення розрахункових транспортних навантаж, оцінювання реальних умов експлуатації та прогнозування строків служби дорожніх конструкцій.

Разом з тим ефективність функціонування WIM-комплексів безпосередньо залежить від їх технічного стану та стабільності метрологічних характеристик. Динамічний характер вимірювань зумовлює підвищену чутливість обладнання до стану дорожнього покриття, температурних коливань, зносу сенсорних елементів і порушень геометрії вимірювальної зони. У зв'язку з цим технічне обслуговування WIM-комплексів набуває не лише експлуатаційного, а й системного значення, оскільки безпосередньо впливає на достовірність отриманих даних.

Недостатній рівень або нерегулярність технічного обслуговування призводить до накопичення похибок вимірювань, що, своєю чергою, знижує ефективність використання WIM-даних для управлінських рішень, у тому числі під час планування заходів з утримання та ремонту автомобільних доріг. Саме тому у сучасних підходах до експлуатації WIM-систем технічне обслуговування розглядається як невід'ємна складова забезпечення надійності всієї системи вагового контролю.

У контексті визначення очікуваної вартості послуг з технічного обслуговування WIM важливо враховувати, що ці витрати фактично є інвестиціями у збереження дорожньої інфраструктури та підвищення ефективності управління транспортними навантаженнями. Обґрунтований розрахунок вартості технічного обслуговування має базуватися не лише на переліку та періодичності регламентних робіт, а й на розумінні ролі WIM-комплексів у запобіганні передчасному руйнуванню автомобільних доріг загального користування.

У зв'язку з цим забезпечення стабільної та достовірної роботи WIM-комплексів набуває ключового значення не лише з позиції контролю дотримання габаритно-вагових норм, а й у контексті управління станом автомобільних доріг загального користування. Надійність даних, що формуються WIM-системами, безпосередньо залежить від технічного стану обладнання, своєчасності та повноти виконання регламентних робіт, а також дотримання встановлених вимог до

метрологічного забезпечення. Саме тому питання технічного обслуговування WIM слід розглядати як системний елемент експлуатаційного утримання дорожньої інфраструктури, що водночас визначає підходи до формування обґрунтованої вартості відповідних послуг.

Однією з ключових проблем визначення вартості послуг з технічного обслуговування WIM є відсутність до недавнього часу чітко структурованого нормативного переліку робіт, адаптованого саме до таких комплексів. Це призводило до різночитань у складі послуг, включенні або виключенні окремих операцій з технічного та метрологічного обслуговування, а також до суттєвих відмінностей у кошторисних розрахунках.

Технічне обслуговування WIM передбачає виконання широкого спектра робіт, починаючи від візуального огляду, перевіряння цілісності сенсорів і кабельних мереж, налаштування програмного забезпечення, закінчуючи складними операціями з калібрування та перевірки вимірювальних каналів. Трудомісткість і тривалість таких робіт значною мірою залежать від конфігурації пункту, кількості смуг руху, типу застосованих датчиків та інтенсивності транспортного потоку. Перелік робіт, які потрібно в такому випадку здійснити встановлені Рекомендованими вимогами до послуг з технічного обслуговування автоматичних пунктів габаритно-вагового контролю [2] (далі — Рекомендовані вимоги). Такий підхід забезпечує узгодженість між загальногалузевими нормативами та специфічними технічними особливостями функціонування систем габаритно-вагового контролю. Крім того, у межах удосконалення нормативно-технічної бази дорожнього господарства було розроблено зміни до галузевого стандарту [3], спрямовані на доповнення його ресурсними елементними кошторисними нормами щодо визначення вартості послуг з технічного обслуговування автоматичних пунктів габаритно-вагового контролю у русі на автомобільних дорогах загального користування. У межах цих змін уперше системно враховано специфічні роботи з технічного обслуговування WIM, з визначенням трудових витрат, часу експлуатації машин і механізмів, а також витрат матеріальних ресурсів на встановлений обсяг робіт. Окрему увагу приділено врахуванню сучасних технологічних рішень, що застосовуються під час експлуатації WIM-комплексів.

Включення зазначених робіт до нормативного документа створює передумови для формування більш обґрунтованих, прозорих і порівнянних кошторисів, а також забезпечує єдині підходи до визначення вартості послуг з технічного обслуговування WIM на різних етапах — від складання інвесторської кошторисної документації до формування договірної ціни та здійснення взаєморозрахунків за виконані роботи. Це, своєю чергою, сприяє уніфікації практики ціноутворення у сфері експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування та підвищенню економічної обґрунтованості витрат на забезпечення функціонування систем габаритно-вагового контролю. Обсяги робіт визначаються шляхом деталізації операцій, передбачених нормативними документами з експлуатаційного утримання автомобільних доріг, з доповненням їх переліком робіт, характерних саме для WIM-комплексів. До таких робіт належать регламентні технічні операції з обслуговування вимірювальних датчиків, систем оброблення та передавання даних, обладнання електроживлення, програмно-апаратних комплексів, а також робіт із забезпечення функціонування допоміжних підсистем відеофіксації та автоматичного розпізнавання номерних знаків.

Рекомендовані вимоги до технічного обслуговування WIM встановлюють єдиний підхід до формування переліку робіт і періодичності їх виконання для всіх пунктів WIM, розташованих на автомобільних дорогах загального користування. Зазначені вимоги дозволяють визначати річні обсяги робіт шляхом множення регламентованих операцій на нормативну періодичність, що забезпечує повноту технічного обслуговування та унеможливорює вибіркове включення окремих видів робіт до розрахунку.

Формування очікуваної вартості послуг з технічного обслуговування автоматичних пунктів габаритно-вагового контролю у русі на автомобільних дорогах загального користування доцільно здійснювати на основі уніфікованого переліку робіт і встановленої періодичності їх виконання, що забезпечує системний та комплексний підхід до обслуговування WIM. Такий підхід передбачає охоплення всіх основних функціональних компонентів пункту WIM та орієнтований на

підтримання його працездатності, стабільності вимірювань і відповідності метрологічним характеристикам.

Методологічною основою для складання кошторисної документації на технічне обслуговування автоматичних пунктів габаритно-вагового контролю у русі (WIM) на автомобільних дорогах загального користування є чинні нормативно-правові акти у сфері ціноутворення в дорожньому господарстві. Зокрема, під час формування кошторисних розрахунків застосовуються Правила [4], а також Методика [5] у частині визначення основних економічних показників для експлуатаційного утримання об'єктів дорожньої інфраструктури. Зазначені документи слугують базою для економічного обґрунтування витрат на технічне обслуговування WIM з урахуванням його функціонального призначення та особливостей експлуатації.

Кошторисна вартість послуг з технічного обслуговування WIM формується відповідно до структури витрат, визначеної Методикою, та включає прямі витрати, загальновиробничі й адміністративні витрати, кошторисний прибуток, а також інші витрати, пов'язані з виконанням робіт і наданням послуг. Основу кошторисних розрахунків становлять прямі витрати, які визначають шляхом множення розрахункової потреби у трудових, матеріальних і матеріально-технічних ресурсах, необхідних для виконання встановлених обсягів робіт, на відповідні поточні ціни цих ресурсів. У складі прямих витрат окремо враховують вартість експлуатації дорожніх машин і механізмів, яку визначають з огляду на розрахункову потребу часу їх роботи, необхідного для виконання регламентованих операцій з технічного обслуговування. Вартість застосування машин і механізмів визначають у поточних цінах за одиницю часу їх використання (машино-годину) відповідно до прийнятих підходів кошторисного нормування.

Кошторисну вартість матеріальних ресурсів у складі прямих витрат визначають на підставі розрахунків витрат матеріалів, виробів і комплектуючих, необхідних для виконання робіт з технічного обслуговування WIM, з урахуванням обсягів, передбачених проектною та технічною документацією. Поточні ціни на матеріальні ресурси приймають на рівні середніх цін, що склалися в регіоні на момент складання кошторисної документації, та визначають на підставі відповідних баз даних цін або результатів аналізу ринкових пропозицій.

До складу кошторисної документації також включають витрати, пов'язані з виконанням інших робіт і заходів, спрямованих на забезпечення цілісності, схоронності та належного технічного стану майна автоматичних пунктів габаритно-вагового контролю у русі. Такі витрати враховуються у відповідних розділах кошторису та є невід'ємною складовою експлуатаційного утримання WIM.

Загальновиробничі витрати у складі кошторисної вартості охоплюють витрати підрядної організації, пов'язані з управлінням і обслуговуванням виробничого процесу, організацією виконання робіт і надання послуг, удосконаленням технології, здійсненням заходів з охорони праці, а також інші витрати, що забезпечують виконання технічного обслуговування WIM у встановлені строки та з дотриманням вимог безпеки. Зазначені витрати входять до складу виробничої собівартості дорожніх робіт і послуг.

В інвесторській кошторисній документації також враховують економічно обґрунтований кошторисний прибуток, який забезпечує можливість отримання підрядною організацією фінансового результату від виконання робіт з технічного обслуговування WIM. Крім того, передбачають кошти на покриття адміністративних витрат, пов'язаних з управлінням діяльністю підрядної організації та організаційним забезпеченням виконання робіт і надання послуг.

Окремою складовою кошторисної вартості є кошти на покриття ризиків учасників дорожніх робіт і послуг, які призначені для відшкодування можливих додаткових витрат, пов'язаних із виконанням додаткових обсягів робіт або зміною нормативної бази у сфері дорожнього господарства. Також у кошторисній документації передбачають кошти на покриття додаткових витрат, зумовлених інфляційними процесами, що можуть вплинути на вартість матеріальних ресурсів впродовж строку виконання робіт / надання послуг. Розрахунок таких витрат здійснюють з урахуванням строків виконання робіт, структури витрат та прогнозних індексів зростання цін, встановлених на державному рівні.

Формування очікуваної вартості на основі уніфікованого переліку робіт і визначеної періодичності їх виконання також створює передумови для підвищення порівнянності цінових пропозицій учасників процедур закупівель. Це сприяє більш об'єктивному оцінюванню пропозицій, зменшенню ризиків формального демпінгу та забезпеченню належного рівня якості послуг з технічного обслуговування пунктів WIM на автомобільних дорогах загального користування.

Висновки

У статті розглянуто підходи до визначення вартості послуг з технічного обслуговування автоматичних пунктів габаритно-вагового контролю у русі на автомобільних дорогах загального користування з урахуванням їх технічної складності та особливостей експлуатації. Показано, що формування кошторисної вартості таких послуг потребує врахування не лише загальногалузевих вимог до експлуатаційного утримання доріг, а й специфічних робіт, пов'язаних із функціонуванням вимірювального обладнання та програмно-апаратних комплексів WIM.

Обґрунтовано доцільність застосування уніфікованих підходів до визначення складу та періодичності робіт з технічного обслуговування WIM, що створює передумови для формування порівнянних і економічно обґрунтованих кошторисів. Застосування структурованого підходу до формування витрат дозволяє зменшити варіативність цінових пропозицій, підвищити прозорість розрахунків очікуваної вартості та спростити процеси планування і закупівель.

Показано, що належне технічне обслуговування WIM безпосередньо впливає на стабільність і достовірність даних габаритно-вагового контролю, які використовуються під час ухвалення управлінських рішень у сфері експлуатаційного утримання автомобільних доріг. У цьому контексті витрати на технічне обслуговування WIM доцільно розглядати як складову забезпечення якості інформаційної бази для управління дорожньою інфраструктурою, а не лише як окрему статтю експлуатаційних витрат.

Результати дослідження можна використовувати під час формування очікуваної вартості закупівель, підготування тендерної документації та планування фінансування робіт з технічного обслуговування автоматичних пунктів габаритно-вагового контролю у русі. Подальші дослідження доцільно спрямувати на уточнення нормативних підходів до визначення трудомісткості та складу робіт з урахуванням різних конфігурацій WIM-комплексів і умов їх експлуатування, а також на адаптацію підходів до розвитку технологій автоматизованого габаритно-вагового контролю.

Список літератури

1. COST 323 «Weight-in-Motion of Road Vehicles» URL: http://wim.zag.si/reports/specifications/WIM_specs.pdf (дата звернення: 01.03.2026).
2. Рекомендовані вимоги до послуг з технічного обслуговування автоматичних пунктів габаритно-вагового контролю (Лист Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України від 07.08.2025 № 2931/1/13-02/12).
3. Зміна № 3 до СОУ 42.1-37641918-071:2018 «Автомобільні дороги. Ресурсні елементні кошторисні норми на роботи з експлуатаційного утримання». Київ. 2018. 45 с. (Інформація та документація).
4. Правила визначення вартості будівництва, реконструкції, ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування, затверджені наказом Міністерства інфраструктури України від 02.05.2022 № 273. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0527-22#Text> (дата звернення: 01.03.2026).
5. Методика визначення вартості дорожніх робіт та послуг щодо визначення вартості нового будівництва, реконструкції, ремонтів та експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування, затверджена наказом Міністерством інфраструктури України від 07.10.2022 № 753. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0753733-22#Text> (дата звернення: 01.03.2026).

References

1. COST 323 «Weight-in-Motion of Road Vehicles» URL: http://wim.zag.si/reports/specifications/WIM_specs.pdf (data zvernennia: 01.03.2026) [in English].
2. Rekomendovani vymohy do posluh z tekhnichnoho obsluhovuvannia avtomatychnykh punktiv habarytno-vahovoho kontroliu (Recommended requirements for maintenance services for automatic dimension and weight control points) (Lyst Derzhavnoho ahentstva vidnovlennia ta rozvytku infrastruktury Ukrainy vid 07.08.2025 No. 2931/1/13-02/12) [in Ukrainian].
3. Zmina No.3 do SOU 42.1-37641918-071:2018 «Avtomobilni dorohy. Resursni elementni koshtorysni normy na roboty z ekspluatatsiinoho utrymannia» (Amendment No. 3 to SOU 42.1-37641918-071:2018 «Motorways. Resource-based cost estimates for operational maintenance works»). Kyiv. 2018. 45 p. (Informatsiia ta drkumentatsiia) [in Ukrainian].
4. Pravyla vyznachennia vartosti budivnytstva, rekonstruktsii, remontu ta utrymannia avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia, zatverdzeni nakazom Ministerstva infrastruktury Ukrainy vid 02.05.2022 No. 273. (Rules for determining the cost of construction, reconstruction, repair, and maintenance of public roads, approved by Order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine No. 273 dated May 2, 2022) URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0527-22#Text> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].
5. Metodyka vyznachennia vartosti dorozhnykh robot ta posluh shchodo vyznachennia vartosti novoho budivnytstva, rekonstruktsii, remontiv ta ekspluatatsiinoho utrymannia avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia, zatverdzhena nakazom Ministerstvom infrastruktury Ukrainy vid 07.10.2022 No. 753 (Methodology for determining the cost of road works and services for determining the cost of new construction, reconstruction, repair, and operational maintenance of public roads, approved by Order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine No. 753 dated October 7, 2022.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0753733-22#Text> (data zvernennia: 01.03.2026) [in Ukrainian].

Artem Bezuglyi, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0003-3883-7968>

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

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

Yulia Makovska, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0003-1107-7727>

Tetiana Stasiuk, <https://orcid.org/0000-0001-5921-4503>

Lyudmila Parasyuk, <https://orcid.org/0000-0002-2482-4464>

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

FEATURES OF DETERMINING THE COST OF MAINTENANCE SERVICES FOR WIM

Abstract

The article discusses the issue of determining the cost of maintenance services for automatic weight-in-motion (WIM) control points. The regulatory framework, cost structure, and specifics of metrological work are analyzed. The main problematic aspects of cost estimation are identified and ways of optimization are proposed to ensure the effective use of budget funds and the reliability of WIM operation.

Introduction. The development of public roads is an important factor in Ukraine's economic growth. The introduction of weigh-in-motion (WIM) systems ensures effective control of compliance with dimensional and weight standards, contributes to the preservation of road surfaces, and minimizes repair costs. In order to ensure the smooth operation of automatic Weigh-in-Motion (WIM) points, their maintenance must be carried out on a regular basis. In accordance with the requirements of public procurement legislation, the expected cost of such services must be reasonably determined and the

possibility of comparing the price offers of participants must be ensured. In the absence of clearly defined methodological approaches to estimating the cost of WIM maintenance services, these procedures are significantly complicated.

Issues. Determining the cost of WIM maintenance services is a complex task due to the lack of a separate methodology adapted specifically for such complexes; significant time and resource costs for conducting metrological checks and calibrations; significant transportation costs due to the need to engage and move specialized vehicles and equipment used in performing metrological work; differences in labor costs depending on the number of lanes and the configuration of the complex. The combination of these factors leads to inconsistencies in cost estimates, complicates the forecasting of the expected cost of procurement, and causes significant variability in price proposals during procurement procedures.

Purpose. The purpose of the study is to analyze the peculiarities of determining the cost of WIM maintenance and to develop approaches to unify calculations.

Materials and methods. The article is of a review nature. The article uses a systematic approach, which is a set of general scientific methodological principles (requirements) based on the consideration of objects as systems.

Results. The article considers issues related to determining the cost of technical maintenance services for automatic weight-in-motion (WIM) stations on public roads.

Conclusions. The study will help improve the regulatory and cost estimation framework for road maintenance by determining the cost of technical maintenance services for automatic weight-in-motion (WIM) stations. They can be used when preparing tender documentation and planning the financing of maintenance work on WIM points on public roads, which will improve control over the allocation and use of budget funds, contribute to more efficient and accurate preparation of cost estimates, increase public and stakeholder awareness of the state of road infrastructure and the work being done to maintain it at an appropriate level, as well as transparency and openness in road management.

Keywords: motorway, cost of services, dimension and weight control, metrology, maintenance, WIM.

УДК 339.3:658

Литвишко Л. О., канд. екон. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0001-9315-046X>Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна

КРИЗОВІ ЯВИЩА ТА СТРАТЕГІЧНА РОЛЬ АНТИКРИЗОВОГО УПРАВЛІННЯ У ВІДНОВЛЕННІ МАЛОГО ТА СЕРЕДНЬОГО БІЗНЕСУ В УКРАЇНІ

Анотація

Вступ. В умовах повномасштабної війни, глибоких соціально-економічних трансформацій в Україні малий і середній бізнес (МСБ) опинився в зоні підвищеної вразливості до кризових явищ. Пошкодження виробничої й транспортної інфраструктури, розриви в ланцюгах постачання, обмеженість фінансових можливостей, трудова міграція, посилення кіберризиків значно ускладнюють функціонування бізнесу. За таких обставин антикризове управління стає важливим механізмом підтримки адаптації, стабілізації та відновлення підприємницької діяльності. Потреба в інтеграції антикризових інструментів із процесами цифровізації й механізмами державного стимулювання зумовлює появу нових моделей управління розвитком малого й середнього бізнесу.

Проблематика. Воєнно-економічна нестабільність ускладнює діяльність суб'єктів малого та середнього бізнесу, що проявляється у фінансовій нестабільності, зниженні платоспроможності, втраті ринків збуту, організаційній дезорієнтації й високих ризиках банкрутства. Водночас ефективність наявних механізмів державної підтримки залишається обмеженою через інституційні та організаційні бар'єри.

Мета. Метою дослідження є аналіз стану й проблем розвитку малого і середнього бізнесу в Україні в умовах воєнної кризи, оцінка ролі антикризового управління та ефективності механізмів державної підтримки, а також визначення перспективних напрямів його подальшого розвитку.

Матеріали та методи дослідження. Інформаційно-емпіричну основу дослідження сформовано на базі наукових праць вітчизняних і закордонних учених у сфері антикризового управління, офіційних статистичних даних Державної служби статистики України, нормативно-правових актів, стратегічних документів органів державної влади. У процесі дослідження застосовано методи аналізу та синтезу, системного й структурного підходу, порівняльного аналізу, узагальнення, статистичної обробки інформації, а також логічного і графічного моделювання.

Результати. Під час дослідження встановлено, що малий і середній бізнес в Україні функціонує в умовах підвищеної невизначеності, нестачі фінансових ресурсів, логістичних обмежень й зростання операційних ризиків. Водночас виявлено, що підприємства демонструють високу адаптивність через релокацію, зміну бізнес-моделей, переорієнтацію продукції й активне використання цифрових рішень. Обґрунтовано доцільність застосування комплексного антикризового управління. Проаналізовано інструменти державної й міжнародної підтримки МСБ, визначено їх позитивний вплив на збереження підприємницької активності. Виявлено обмеження їх ефективності, пов'язані з фрагментарністю, недостатньою доступністю та складністю процедур. Визначено перспективні напрями розвитку малого і середнього бізнесу в післякризовий період.

Висновки. МСБ в Україні функціонує в умовах високої нестабільності й ризиків, однак демонструє значний потенціал адаптації через зміну бізнес-моделей, релокацію та цифровізацію. Антикризове управління відіграє визначальну роль у забезпеченні стійкості та життєздатності підприємств. Подальший розвиток МСБ залежить від узгодженості державної політики, доступності фінансових ресурсів, ефективності інституцій підтримки й інтеграції України до європейського економічного простору.

Ключові слова: бізнес-моделі, воєнна економіка, економічна стійкість, інституційне середовище, релокація підприємств, сталий розвиток, стратегічне планування, управління ризиками, цифровізація бізнес-процесів.

Вступ

Сучасні ринкові умови господарювання в Україні, характеризуються високою динамічністю, нестабільністю економічного і податкового законодавства, а також глибокими трансформаціями, обумовленими наслідками повномасштабної війни й процесами глобалізації. Війна в Україні значно вплинула на інфраструктуру, ринки, фінансові потоки й підприємницьке середовище, спричинивши глибокі економічні потрясіння. У цих умовах особливо актуальними є питання відновлення підприємств, подолання кризових ситуацій та розвитку малого і середнього бізнесу (МСБ) як основи економічної стабільності. Для успішного подолання кризових станів необхідне застосування комплексного антикризового управління, як поєднання стратегічних, фінансових, організаційних й цифрових заходів. Це дозволить мінімізувати ризики втрати контролю й уникнути деструктивних сценаріїв. Важливо не лише підтримувати наявні бізнеси, а й створювати умови для нових ініціатив і розвитку підприємництва в країні.

Метою дослідження є вивчення стану й проблем розвитку малого і середнього бізнесу в Україні під час воєнної кризи, з оцінкою впливу війни, основних ризиків, антикризового управління, державної та міжнародної підтримки, цифровізації, а також визначення перспектив його розвитку у повоєнний період.

Виклад основного матеріалу дослідження й отриманих результатів

Феномен кризи, на думку вітчизняних і закордонних вчених Coombs W., Krishnan S. Navaneetha, Ganesh L. S., Robert R. Rothberg, Бабіної Н. О., Кривов'язюк І. В., Левковець Н. П., Ложачевської О. М. [1-7] та інших, може мати як позитивний, так і негативний характер. Криза як негативне явище розглядається як чинник дестабілізації діяльності підприємства, що наголошує на її деструктивному впливі, зростанні ризику банкрутства, особливо в умовах воєнної та економічної нестабільності. Водночас позитивне розуміння кризи як об'єктивного процесу відображає її роль у розвитку суб'єкта господарювання як відкритої соціально-економічної системи та дозволяє трактувати її як необхідний етап оптимізації й адаптації підприємства до змінених умов функціонування. Таким чином, криза підприємства постає як переломний етап у динаміці його бізнес-процесів і управлінських рішень, що може призвести або до втрати життєздатності у разі неспроможності до адаптації, або, навпаки, до відновлення та подальшого розвитку через трансформацію структури й оптимізацію бізнес-процесів. У цьому контексті діалектична єдність підходів до розуміння кризи виявляється через послідовну зміну станів стабільного функціонування та розвитку підприємства, які закономірно чергуються, зокрема в умовах післявоєнної економічної відбудови України.

Кризи відрізняються не лише за джерелами виникнення, причинами, наслідками, а й за своєю сутністю та можливістю піддаватися управлінським впливам. Запропонований підхід до класифікації криз створює підґрунтя для їх ідентифікації та аналітичної оцінки, а також для вибору диференційованих управлінських інструментів реагування. Зокрема, поділ криз на стихійні, штучно зумовлені й змішані передбачає варіативність управлінських впливів — від заходів із пом'якшення наслідків стихійних криз до нейтралізації змішаних і штучно сформованих кризових процесів, а також мінімізації результатів цілеспрямованих ризикових управлінських дій [3 – 5; 7].

З урахуванням типу кризових явищ — циклічного, структурного або модифікованого — управлінський персонал підприємства може обирати адекватні заходи, спрямовані на зниження інтенсивності кризових процесів, скорочення їх тривалості й забезпечення оперативного подолання. За глибиною перебігу кризові явища можуть мати як позитивний характер (у разі швидкого виходу з кризи та оновлення підприємства), так і негативний (якщо вони мають затяжний характер і створюють загрозу банкрутства).

У дослідженні [3], вчені класифікують обумовленість криз на підприємстві відповідно до подальшої проблематики:

- контроль або повна втрата контролю;
- індивідуальні проблеми — випадковості, паніка, стрес, виснаження;

— проблеми події — двозначність, загроза високопріоритетним цілям або ресурсам, ескалація потоку подій;
 — проблеми часу — недостатність інформації, обмеженість часу для адекватних дій;
 — організаційні проблеми — відповідальність, зосередженість на короткострокових цілях, нечіткість постановки цілей, рішень без попереднього аналізу тощо.

Класифікація криз виступає початковим етапом у виборі диференційованих засобів і методів управління ними. Однією з передумов ефективного антикризового управління й подолання кризових явищ є своєчасне і об'єктивне визначення їх типу (характеру) та причин виникнення (табл. 1).

Таблиця 1

Узагальнена класифікація причин й типів криз за різними ознаками

Категорія класифікації	Типи криз	Пояснення / характеристика
За джерелами виникнення	Природні, штучні, змішані	Вказує, чи криза спричинена природними чинниками, діяльністю людини, або поєднанням обох.
За сферою прояву	Економічні, технологічні, соціальні, організаційні, психологічні, технічні	Визначає, в якій сфері діяльності підприємства або суспільства проявляється криза.
За характером розвитку	Циклічні, структурні, модифіковані	Описує закономірність виникнення та трансформації кризових явищ.
За етапами життєвого циклу	Зародження, розвиток, зрілість, спокій, занепад	Визначає стадію, на якій криза проявляє себе в процесі життєвого циклу підприємства або системи.
За інтенсивністю впливу	Повільно проявлені, інтенсивні, реактивні	Оцінює швидкість і силу впливу кризових явищ.
За глибиною перебігу	Гострі, м'які, очевидні, латентні	Характеризує, наскільки серйозні або приховані наслідки кризи.
За масштабом впливу	Локальні, системні, загальнокризові явища	Визначає охоплення кризи - від окремих підрозділів до всієї системи або ринку.
За можливістю управління	Керовані, некеровані	Вказує, чи може криза бути подолана за допомогою внутрішніх чи зовнішніх ресурсів.
За прогнозованістю та діагностованістю	Прогнозовані / не прогнозовані, діагностовані / не діагностовані	Визначає, чи можливо передбачити появу кризи та своєчасно її виявити.
За взаємозв'язком і походженням	Незалежні, похідні	Вказує, чи виникає криза самостійно або є наслідком інших кризових явищ.
За наслідками та значущістю	Стратегічні, результуючі, ліквідності, банкрутство	Оцінює серйозність та економічну значущість кризи для підприємства або системи.
За тривалістю	Короткострокові, середньострокові, затяжні	Визначає, як довго триває кризова ситуація.
За закономірністю та ймовірністю виникнення	Випадкові, закономірні, циклічні, малоімовірні, високоімовірні	Характеризує ймовірність та передбачуваність настання кризи.

Джерело: розроблено на підставі [5; 6]

Кризові явища на підприємстві формуються під впливом комплексу внутрішніх і зовнішніх чинників. Внутрішні чинники включають фінансові труднощі, такі як нестача обігових коштів, зростання витрат і проблеми з ліквідністю; організаційні проблеми, пов'язані з неефективною структурою управління, низькою кваліфікацією персоналу або слабкою координацією підрозділів; а також стратегічні проблеми, які проявляються у відсутності чіткої стратегії розвитку, невдалих інвестиційних рішеннях, слабкій адаптації до змін ринку.

Зовнішні чинники охоплюють макроекономічні умови: коливання валютного курсу, інфляція, економічна нестабільність; законодавче регулювання, включно зі змінами податкової політики, регуляторними обмеженнями та вимогами щодо звітності; а також ринкові зміни, які проявляються у посиленні конкуренції, змінах попиту, появі нових технологій або зміні споживчих уподобань.

Взаємодія внутрішніх і зовнішніх чинників формує комплекс кризових явищ на підприємстві, що проявляється у фінансових й операційних дисбалансах, зниженні ефективності діяльності, втраті конкурентоспроможності, погіршенні стратегічних позицій на ринку. Наслідком таких процесів стає посилення невизначеності, зростання ризиків неплатоспроможності та ускладнення стабільного розвитку організації. У цих умовах ключовим завданням антикризового управління є своєчасна ідентифікація ризиків, розробка адаптивних стратегій, впровадження цифрових інструментів управління, диверсифікація діяльності й підвищення кваліфікації персоналу. Додатково, активне використання державних і міжнародних механізмів підтримки сприяє мінімізації негативних наслідків кризових процесів і забезпечує умови для довгострокової стабільності та сталого розвитку підприємства (табл. 2).

Отже, аналіз чинників, що обумовлюють кризові прояви й ситуації, повністю залежні від управлінських рішень, є ключовим для формування ефективної системи антикризового менеджменту у суб'єктів господарювання. Такий аналіз дозволяє своєчасно виявляти потенційні ризики, проблеми, які можуть призвести до кризових станів, а також розробляти адекватні заходи для їхнього попередження й нейтралізації.

Таблиця 2

Внутрішні та зовнішні фактори кризових явищ на підприємстві

Тип чинників	Приклади чинників	Можливий вплив на кризові явища
Зовнішні	— Макроекономічні умови: коливання валютного курсу, інфляція, економічна нестабільність. — Законодавче регулювання: зміни податкової політики, нові регуляції, вимоги щодо звітності. — Ринкові зміни: посилення конкуренції, зміни попиту, нові технології, зміни споживчих уподобань.	— Зростання ризику збитків. — Необхідність адаптації бізнес-процесів. — Підвищення невизначеності у розвитку підприємства.
Внутрішні	— Фінансові труднощі: нестача обігових коштів, зростання витрат, проблеми з ліквідністю. — Організаційні проблеми: неефективна структура управління, низька кваліфікація персоналу, слабка координація підрозділів. — Стратегічні проблеми: відсутність чіткої стратегії розвитку, невдалі інвестиційні рішення, слабка адаптація до ринку.	— Зниження ефективності діяльності. — Погіршення фінансового стану. — Втрата конкурентних переваг.

Джерело: розроблено на підставі [1 – 3; 7]

Антикризове управління вимагає системного підходу, при якому важливо оперативно реагувати на кризові прояви, але й активно запобігати їх виникненню, належно оцінюючи внутрішні й зовнішні чинники, що можуть спричинити кризу.

У науковій літературі існують різні підходи до трактування поняття «антикризове управління», що відображають фінансовий, стратегічний та організаційний аспекти цього поняття (табл. 3).

Узагальнюючи підходи вище наведених науковців [8 – 13], запропоновано авторське визначення антикризового управління — це система цілеспрямованих управлінських рішень і заходів, спрямованих на раннє виявлення кризових явищ, запобігання їх розвитку й відновлення стабільного функціонування підприємства / суб'єкта господарювання.

Відповідно до частини другої статті 55 Господарського кодексу України, який на основі Конституції України визначає правові засади здійснення господарської діяльності та ґрунтується на принципі різноманітності суб'єктів різних форм власності, до суб'єктів господарювання належать [14]:

1) господарські організації — юридичні особи, утворені відповідно до норм Цивільного кодексу України, державні, комунальні й інші підприємства, створені згідно з цим Кодексом, а також інші юридичні особи, що здійснюють господарську діяльність і зареєстровані в установленому законодавством порядку;

2) фізичні особи — громадяни України, іноземні громадяни, які здійснюють господарську діяльність і мають статус підприємця відповідно до чинного законодавства.

Таблиця 3

Підходи науковців до визначення антикризового управління

Автори	Наукова школа	Визначення / підхід
Н. Igor Ansoff, Edward J. McDonnell [8]	Стратегічний менеджмент	Кризові явища є результатом невідповідності стратегії підприємства змінам зовнішнього середовища; антикризове управління полягає в стратегічній адаптації підприємства.
Е. Альтман [5]	Фінансова діагностика, теорія банкрутства	Антикризове управління ґрунтується на ранньому виявленні фінансових загроз та ризиків неплатоспроможності за допомогою аналітичних моделей.
І. Кривов'язюк [9]	Українська школа антикризового менеджменту	Антикризове управління — це тип управління, спрямований на попередження, мінімізацію чи уникнення негативного впливу криз в діяльності підприємства в результаті ведення війни в країні, шляхом передбачення їх виникнення за допомогою спеціалізованого діагностичного інструментарію та впровадження антикризових заходів.
Лігоненко Л. О., Тарасюк М. В., Хіленко О. В. [10]	Українська школа антикризового менеджменту	Антикризове управління — це система заходів щодо попередження, локалізації та подолання кризових явищ у діяльності підприємства з метою відновлення його життєздатності.

Кінець таблиці 3

Автори	Наукова школа	Визначення / підхід
Вавдійчик І. М., Кондратюк О. І., Стояненко І. В. [11]	Фінансовий менеджмент	Антикризове управління як елемент стратегічного забезпечення стійкого розвитку підприємств в умовах динамічних змін зовнішнього середовища.
Скібіцька Л. І., Матвеев В. В., Щелкунов В. І., Подреза С. М. [12]	Теорія антикризового управління підприємствами	Антикризове управління — побудова системи діагностики кризового стану, на основі кількісної оцінки фінансових загроз виникнення та аналізу кризи та її результатів.
О. Терещенко [13]	Фінансовий менеджмент, санація підприємств	Антикризове управління розглядається як сукупність фінансово-економічних методів, спрямованих на відновлення платоспроможності та запобігання банкрутству підприємства.

Джерело: розроблено на підставі [5; 8 – 13]

Підприємницька діяльність виступає ключовим чинником економічного й соціального розвитку країни. Функціонування і розвиток малого та середнього підприємництва (МСП) забезпечують підвищення стійкості національної економіки, сприяють розв'язанню соціальних проблем, зменшенню масштабів бідності й зростанню добробуту населення. Поширення самозайнятості, створення нових суб'єктів господарювання сприяє скороченню рівня безробіття й одночасному зростанню доходів громадян, що, своєю чергою, стимулює сукупний попит і розширення обсягів виробництва.

Так, за даними Державної служби статистики України [15], станом на 01.01.2025 р. кількість суб'єктів господарювання становила 1 949 408 одиниць. Показники діяльності суб'єктів великого, середнього, малого та мікропідприємництва за 2017-2024 роки представлено в **табл. 4**.

Таблиця 4

**Показники структурної статистики суб'єктів господарювання
з розподілом за їх розмірами у 2017-2024 роках**

Рік	Усього	У тому числі								
		підприємства					фізичні особи-підприємці			
		Усього	великі	середні	малі	з них мікро- підприємства	Усього	суб'єкти середнього підприємництва	суб'єкти малого підприємництва	з них суб'єкти мікро- підприємництва
Кількість суб'єктів господарювання, одиниць										
2017	1 805 059	338 256	399	14 937	322 920	278 102	1 466 803	317	1 466 486	1 458 980
2018	1 839 593	355 877	446	16 057	339 374	292 772	1 483 716	419	1 483 297	1 471 965
2019	1 941 625	380 597	518	17 751	362 328	313 380	1 561 028	378	1 560 650	1 550 633
Кількість суб'єктів господарювання, одиниць										
2020	1 973 577	373 822	512	17 602	355 708	307 871	1 599 755	344	1 599 411	1 591 031
2021	1 956 248	370 834	610	17 502	352 722	304 650	1 585 414	309	1 585 105	1 576 208

Рік	Усього	У тому числі								
		підприємства					фізичні особи-підприємці			
		Усього	великі	середні	малі	з них мікро- підприємства	Усього	суб'єкти середнього підприємництва	суб'єкти малого підприємництва	з них суб'єкти мікро- підприємництва
2022	1 732 508	261 924	494	14 783	246 647	206 213	1 470 584	254	1 470 330	1 465 345
2023	1 913 193	307 852	512	14 070	293 270	254 982	1 605 341	226	1 605 115	1 598 892
2024	1 949 408	285 597	560	14 016	271 021	232 886	1 663 811	192	1 663 619	1 657 620

Джерело: розроблено на підставі [15]

У 2020-2021 рр. незначне зниження загальної кількості суб'єктів господарювання (-0,88 %), що можна розглядати як стабільний період. У 2022 році різке падіння на 11,5 % (до 1 732 508 суб'єктів), що відповідає значним економічним і кризовим викликам, зокрема через повномасштабну війну й інші чинники. 2023 рік — помітне відновлення (+10,4 %), що свідчить про адаптацію бізнесу, повернення підприємницької активності.

У 2024 році подальше зростання (+1,9 %) і майже повернення до рівня 2020 р., що підтверджує стабілізацію бізнес-середовища. Загалом за період 2020-2024 рр. кількість суб'єктів господарювання зменшилася на 1,2 %, попри сильні коливання у проміжних роках. На 01 жовтня 2025 року в Україні спостерігається зростання кількості зареєстрованих суб'єктів малого та середнього підприємництва (СМСП) як серед юридичних осіб, так і серед фізичних осіб-підприємців. Кількість юридичних осіб зросла до 1,55 млн, при цьому найпоширенішою організаційно-правовою формою залишаються товариства з обмеженою відповідальністю (рис. 1).

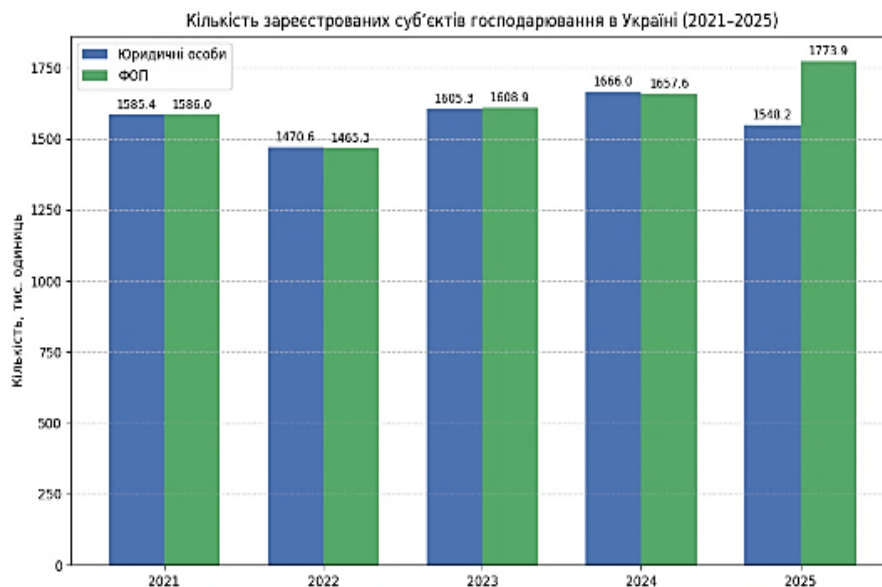


Рисунок 1 — Діаграма кількості зареєстрованих суб'єктів господарювання в Україні за 2021-2025 роки

Джерело: розроблено на підставі [15; 16]

Найбільша концентрація бізнесу спостерігається у Києві та Київській області, а також у промислово-логістичних центрах — Львівській, Дніпропетровській, Одеській областях, які є ключовими хабами для релокованих підприємств.

Починаючи з березня 2022 року Міністерство економіки України реалізує програму релокацій, метою якої є підтримка підприємств, що перебувають у зоні бойових дій або під загрозою їх поширення, шляхом переміщення виробничої й господарської діяльності до безпечніших регіонів країни.

В Україні малим і середнім підприємствам належить майже вся підприємницька активність — близько 99,9% усіх підприємств (компанії, ФОП разом). Це включає мікропідприємства, малі й середні — і така частка є типовою для багатьох країн, що розвиваються або мають активну малу підприємницьку культуру. У розвинених економіках частка МСП у загальній кількості підприємств теж висока (94 – 99%). У Великій Британії частка МСП у загальній кількості підприємств становить близько 94%. Франція, Німеччина, Швеція, Нідерланди, США — частка МСП у загальній кількості підприємств — приблизно 99% (**рис. 2**) [17].

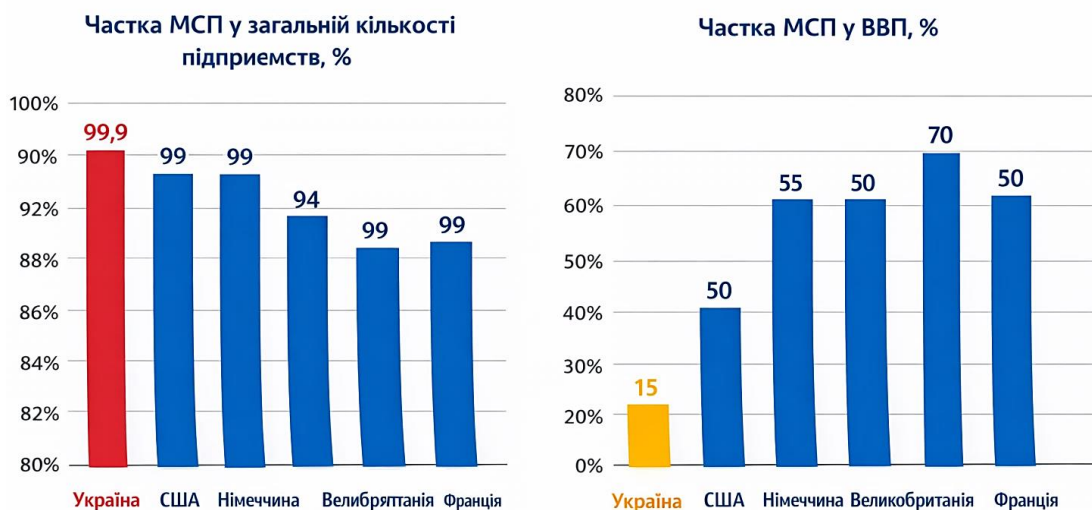


Рисунок 2 — Динаміка змін частки МСП в Україні порівняно з іншими країнами
Джерело: розроблено на підставі [17]

У зв'язку з цим у будь-якій країні створення сприятливих умов для розвитку бізнесу завжди розглядається як пріоритетне завдання. Реалізація такої діяльності передбачає вирішення низки складних і часто суперечливих завдань із врахуванням інтересів державного та регіонального рівнів, а також мотивацій різних соціальних груп населення. В умовах повномасштабної війни, економічної нестабільності державна підтримка має вагоме значення для стабілізації економіки й забезпечення стійкості бізнесу. В Україні впроваджуються різноманітні антикризові програми, що спрямовані на фінансову підтримку, розвиток підприємництва, посилення співпраці з ЄС й відновлення критичної інфраструктури.

Формами державної підтримки малого та середнього бізнесу (МСБ) в Україні є: міжнародні ініціативи й грантові програми (EU4Business та проекти UMAEF), що надають фінансову та нефінансову підтримку для розвитку МСП. Бюджетні програми надають мікро-, малим і середнім підприємствам підтримку з державного й місцевих бюджетів [18]. Зокрема, в бюджеті України на 2026 рік заплановано фінансування в обсязі 51,8 млрд грн, яке буде спрямоване на підтримку економіки та бізнесу на кредитування, іпотечні програми, розвиток інноваційних рішень і підвищення рівня енергоефективності.

Закон України «Про розвиток та державну підтримку малого і середнього підприємництва в Україні» формує нормативно-правову та економічну основу реалізації державної політики у сфері стимулювання, підтримки й інституційного розвитку малого і середнього підприємництва [19]. Статтею 4 цього Закону передбачено спрощення регуляторних і податкових процедур, розширення доступу МСП до фінансової підтримки, державних програм і ринків збуту, а також на розвиток інфраструктури підтримки, підвищення кваліфікації кадрів, стимулювання впровадження інноваційних технологій.

Політика регіональної та місцевої влади також істотно впливає на розвиток МСП, оскільки саме на муніципальному рівні формуються умови його правової і фінансової підтримки. Ефективна взаємодія між органами місцевого самоврядування та МСП є ключовою передумовою економічної спроможності територіальних громад.

Станом на 2025-2026 роки в Україні діє низка програм підтримки малого і середнього бізнесу, серед яких: державна програма «Доступні кредити 5-7-9 %» з компенсацією процентної ставки; механізм державних гарантій і грантів для підприємств; а також бюджетні видатки на лізингові програми для МСБ [18].

Міністерство економіки, довілля та сільського господарства оприлюднило «Стратегію відновлення, сталого розвитку та цифрової трансформації малого і середнього підприємництва на період до 2027» разом з операційним планом реалізації заходів на 2024-2027 роки [20]. У Стратегії окреслено пріоритетні вектори державної політики у сфері МСП, серед яких ключове місце посідає відновлення пошкоджених підприємств на засадах принципу «build back better». Документ підкреслює важливість впровадження зелених практик, цифрових технологій, інноваційних рішень й розширення інклюзивності підприємницького середовища шляхом залучення до економічної діяльності жінок, осіб з інвалідністю, внутрішньо переміщених осіб і ветеранів. Стратегія розроблена з урахуванням рекомендацій Організації економічного співробітництва та розвитку, узгоджена з положеннями Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом і кореспондує з пріоритетами Плану в межах програми Ukraine Facility. Крім того, документ конкретизує напрями структурної модернізації економіки, передбачені Планом, зокрема формування складніших ланцюгів створення доданої вартості, розвиток переробної промисловості, а також інтегрує розвиток МСП в рамки реалізації Національного плану з енергетики та клімату до 2030 року [20].

Стратегія визначає такі ключові цілі [20]:

1. Відновлення та спрощення ведення бізнесу — забезпечення доступу до капіталу, дерегуляція та впровадження нових інструментів підтримки, зокрема через державні програми «Зроблено в Україні».
2. Інноваційний розвиток, цифровізація, зелений перехід передбачають застосування принципів розумної спеціалізації, формування галузевих кластерів і науково-технологічних парків з метою залучення інвестицій і стимулювання регіонального розвитку.
3. Розвиток людського капіталу й підприємництва — підвищення кваліфікації кадрів і стимулювання підприємницької активності.
4. Підвищення конкурентоспроможності та експорту — сприяння виходу на міжнародні ринки та співпраця з глобальними мережами.

У «Національній економічній стратегії на період до 2030 року» визначено заходи для реалізації шляхів досягнення стратегічних цілей й завдань державної економічної політики, які включено до планів діяльності Кабінету Міністрів України, програм розвитку окремих галузей економіки та регіонів, а також до механізмів державної підтримки підприємств й інноваційних проєктів [21].

В умовах війни державна підтримка малого та середнього підприємництва набуває стратегічного значення, повинна сприяти виживанню бізнесу під час кризи та його відновленню після неї.

Особливо її потребує ветеранський бізнес, який посідає чільне місце в українській економіці, сприяючи створенню робочих місць й покращенню соціальної адаптації ветеранів і їхніх родин, інтеграції їх у цивільне життя, розвитку підприємницьких навичок й зміцненню соціальної стабільності в суспільстві.

Попри впровадження державних програм і заходів підтримки, значна кількість малих та середніх підприємств (МСП) продовжує функціонувати в умовах високої невизначеності й системних ризиків, що посилюються впливом різноманітних внутрішніх і зовнішніх чинників (рис. 3). До основних внутрішніх перешкод належать:

- значне податкове навантаження, непрозорі механізми адміністрування податків, що стримують розвиток бізнесу, ускладнюють залучення іноземних інвестицій і сприяють поширенню тіньової економіки;
- корупція, яка призводить до додаткових витрат через неформальні платежі;
- тенденція до збільшення кількості відмов у бронюванні критично необхідних працівників;
- недостатньо чітка, декларативна політика державних програм підтримки МСП, що зменшує їх практичну ефективність;
- низький рівень захищеності бізнесу від посягань на майно та прибутки, що підвищує ймовірність рейдерських ризиків тощо.



Рисунок 3 — Проблеми, які перешкоджають зростанню та успіхам МСП, (%)

Джерело: Дані Національного інституту стратегічних досліджень [22]

Водночас економічне середовище накладає додаткові обмеження, серед яких можна виділити:

- дефіцит початкового капіталу, складнощі з доступом до інвестиційних і кредитних ресурсів;
- недостатньо розвинуту підприємницьку культуру, слабку інфраструктуру сучасного бізнес-середовища;

- проблеми довіри між контрагентами, що проявляються у невиконанні договірних зобов'язань і затримках платежів;
- обмежений доступ до гуртових ринків і каналів збуту, що ускладнює реалізацію продукції.

У 2026 році в Україні заплановано податкову й митну реформи, орієнтовані на європейські стандарти. Її називають «реформа з елементами виживання» бізнесу. Передбачено запровадження нових цифрових форматів звітності й підвищеної прозорості податкових процесів, зокрема через електронну систему аудиту SAF-T. Водночас уряд не планує враховувати курсові різниці при нарахуванні податку на доходи фізичних осіб (ПДФО), попри прохання бізнесу [23].

Пріоритетним вектором розвитку суб'єктів малого та середнього підприємництва в Україні в 2026 році є комплексна цифрова трансформація бізнес-процесів, як інструмент підвищення їхньої антикризової стійкості. Впровадження платформи «Пульс» та розширення функцій сервісу «єЧек» роблять прозорість бізнесу автоматично.

Обов'язкова фіскалізація в межах цифрової трансформації МСБ у 2026 році, передбачає перехід на програмний реєстратор розрахункових операцій (ПРРО) та електронний документообіг, як складник стратегії детінізації економіки.

У воєнний час СМСП самостійно змушені самостійно пристосовуватися до радикально змінених умов функціонування. Серед ключових викликів — прямі фізичні загрози активам, перебої в постачанні електроенергії через пошкодження критичної інфраструктури, а також дефіцит робочої сили, спричинений мобілізацією й внутрішньою і зовнішньою міграцією населення. Додатково підприємства стикаються з руйнуванням транспортних і логістичних систем, впровадженням нових регуляторних режимів і суттєвим зростанням кіберризиків. За таких критичних умов, підприємствам необхідно впроваджувати різні антикризові стратегії: релокація або локалізація виробництва до безпечних регіонів; даунсайзинг; злиття; реінжиніринг; диверсифікація та стратегічне планування; зміна асортименту продукції та послуг під сучасні потреби; гнучке бюджетування за сценаріями; партнерство з волонтерськими та міжнародними організаціями, а також збільшення обсягів імпорту для забезпечення ресурсів, тощо [6; 9; 16].

Війна значно ускладнила діяльність малого та середнього бізнесу в усіх сферах діяльності, тож його перспективи наразі важко прогнозувати. Але негативні наслідки кризи, водночас можуть стимулювати зростання внутрішнього попиту на українську продукцію, створюючи можливості для розвитку локального виробництва, який може задовольнити потреби ринку. Успішна інтеграція України до ЄС може відкрити нові ринки та доступ до ресурсів, підвищуючи потенціал і конкурентоспроможність малого та середнього бізнесу.

Висновки

Малий та середній бізнес в Україні залишається ключовим сектором економіки, який забезпечує робочі місця, стимулює інновації та розвиток регіональних галузей. Попри високий рівень невизначеності й наявність численних викликів, стійкість МСП у поєднанні з державною та міжнародною підтримкою створює підґрунтя для оптимістичних перспектив. Подальший розвиток сектору залежить від здатності підприємств впроваджувати інновації, здійснювати цифрову трансформацію, оперативно адаптуватися до змін та ефективно використовувати наявні ресурси для подолання труднощів і реалізації нових можливостей.

Антикризове управління на державному рівні виступає важливим механізмом забезпечення економічної стабільності й безпеки підприємств. Підвищення ефективності державної підтримки потребує удосконалення нормативно-правової бази у сфері зайнятості, стимулювання створення нових робочих місць, зокрема для молоді, а також системної координації дій різних органів влади під час формування та реалізації економічної політики, що дозволяє мінімізувати негативні наслідки кризових явищ.

Список літератури

1. W. Timothy Coombs. Coombs, W. T. [Protecting organization reputations during a crisis: the development and application of situational crisis communication theory](#). *Corporate Reputation Review*, 2017. No. 10(3). P. 163–176.
2. Commander S. Navaneetha Krishnan, L. S. Ganesh, C. Rajendran. [Entrepreneurial Interventions for crisis management: Lessons from the Covid-19 Pandemic's impact on entrepreneurial ventures](#). *International journal of disaster risk reduction*. 2022. No. 45. P. 203–215.
3. Robert R Rothberg. [Managing crises before they happen: what every executive needs to know about crisis management](#). *Journal of Product Innovation Management*. No. 19(1). P. 103–105.
4. Бабіна Н. О. [Антикризовий фінансовий контролінг як фактор забезпечення економічної безпеки підприємства](#). *Ефективна економіка*. 2019. № 5.
5. Кривов'язюк І. В. [Антикризове управління підприємством : навч. посіб. 3-тє видання](#). Київ, 2020. 396 с.
6. Левковець Н. П. [Удосконалення антикризового управління підприємством в умовах воєнного стану](#). *Вісник ПДАУ. Економіка, управління та фінанси*. Полтава, 2024. Вип. 2.
7. Ложачевська О. М., Підвальна О. Г., Мохонько Г. А. [Бізнес-адміністрування механізму антикризового управління фінансами інноваційно орієнтованих підприємств в умовах діджиталізації та розвитку публічного управління](#). *Інвестиції: практика та досвід*. Київ, 2023. Вип. 24. С. 30–34.
8. Н. Igor Ansoff, Edward J. McDonnell. [Implanting strategic management](#). Prentice Hall. 1990. 520 p.
9. Кривов'язюк І. В. [Антикризове управління підприємством в умовах війни: загальна характеристика й пошук рішень щодо доцільності його запровадження](#). *Економіка та суспільство*. Одеса, 2025. № 78. С. 1–11.
10. Лігоненко Л. О., Тарасюк М. В., Хіленко О. В. [Антикризове управління підприємством: навч. посіб.](#) Київ, 2015. 377 с.
11. Вавдійчик І. М., Кондратюк О. І., Стояненко І. В. [Антикризове управління як стратегічний інструмент забезпечення сталого розвитку підприємств торгівлі](#). *Молодий вчений*. Одеса, 2025. Вип. 4 (135).
12. Скібіцька Л. І, Матвеев В. В., Щелкунов В. І., Подреза С. М. [Антикризове управління: навч. посіб.](#) Київ, 2013. 527 с.
13. Терещенко О. О. [Антикризове фінансове управління на підприємстві: навч. посіб.](#) Київ, 2004. 560 с.
14. Про особливості регулювання діяльності юридичних осіб окремих організаційно-правових форм у перехідний період та об'єднань юридичних осіб: Закон України від 09.01.2025 № 4196-IX, редакція від 12.12.2025, N 4585-IX // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4196-20#Text> (дата звернення: 15.01.2026).
15. Державна служба статистики України. Зареєстровані суб'єкти господарювання в Україні. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/sze_20.htm (дата звернення: 15.01.2026).
16. Литвишко Л. О., Тетірко В. О., Заїка Ю. Л., Луговцов А. С. [Управління ризиками як ключовий елемент антикризового стратегічного планування бізнесу та підприємств в умовах війни](#). *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2025. № 60(1). С. 169–181.
17. Eurostat. Micro & small businesses make up 99% of enterprises in the EU. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20241025-1> (дата звернення: 15.01.2026).
18. Підтримка економіки та бізнесу у бюджеті-2026: інвестиції, кредитування, інновації та енергоефективність. Міністерство фінансів України, 2025. URL: <https://mof.gov.ua/uk/news/>

[pidtrimka_ekonomiki_ta_biznesu_u_biudzheti-2026_investitsii_kredituvannia_innovatsii_ta_energoefektivnist-5505](#) (дата звернення: 15.01.2026).

19. Про розвиток та державну підтримку малого і середнього підприємництва в Україні: Закон України від 22.03.2012 N 4618-VI, редакція від 28.08.2025 N 4618-VI // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4618-17#Text> (дата звернення: 15.01.2026).

20. Стратегія відновлення, сталого розвитку та цифрової трансформації малого і середнього підприємництва на період до 2027 року та операційний план заходів на 2024-2027 роки: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.08.2024 № 821-р, редакція від 30.08.2024 № 821-2024-р // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/821-2024-%D1%80#Text> (дата звернення: 15.01.2026).

21. Національна економічна стратегія до 2030 року: Постанова Кабінету Міністрів України від 03.03.2021 № 179, редакція від 04.05.2023 № 179-2021-п // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-%D0%BF#Text> (дата звернення: 15.01.2026).

22. Проблеми розвитку малого та середнього бізнесу в Україні як основного джерела робочих місць. Національний інститут стратегічних досліджень, 2024. URL: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/sotsialna-polityka/problemny-rozvytku-maloho-ta-serednoho-biznesu-v-ukrayini-yak> (дата звернення: 15.01.2026).

23. Податкова реформа – 2025 з елементами виживання. 7eminar, 2025. URL: <https://7eminar.ua/news/9218-pidsumki-tiznya-1606-20062025> (дата звернення: 15.01.2026).

References

1. W. Timothy Coombs. Coombs, W.T. [Protecting organization reputations during a crisis: the development and application of situational crisis communication theory](#). *Corporate Reputation Review*, 2017. No. 10(3). P. 163–176 [in English]
2. Commander S. Navaneetha Krishnan, L. S. Ganesh, C. Rajendran. [Entrepreneurial Interventions for crisis management: Lessons from the Covid-19 Pandemic's impact on entrepreneurial ventures](#). *International journal of disaster risk reduction*. 2022. No. 45, P. 203–215 [in English].
3. Robert R Rothberg. [Managing crises before they happen: what every executive needs to know about crisis management](#). *Journal of Product Innovation Management*. No. 19(1). P. 103–105 [in English].
4. Babina N.O. Antykryzovyi finansovyi kontrolinh yak faktor zabezpechennia ekonomichnoi bezpeky pidpriemstva. *Efektivna ekonomika*. 2019. No. 5 [in Ukrainian].
5. Kryvov'iaziuk I. V. Antykryzove upravlinnia pidpriemstvom : navch. posib. 3-tie vydannia. Kyiv, 2020. 396 p. [in Ukrainian].
6. Levkovets N. P. Udoshkonalennia antykryzovoho upravlinnia pidpriemstvom v umovakh voiennoho stanu. Visnyk PDAU, *Ekonomika, upravlinnia ta finansy*. Poltava, 2024. Issue 2 [in Ukrainian].
7. Lozhachevska O. M., Pidvalna O. H., Mokhonko H. A. Biznes-administruvannia mekhanizmu antykryzovoho upravlinnia finansamy innovatsiino oriietovanykh pidpriemstv v umovakh didzhitalizatsii ta rozvytku publichnogo upravlinnia. *Investytsii: praktyka ta dosvid*. Kyiv, 2023. Issue 24. P. 30–34 [in Ukrainian].
8. H. Igor Ansoff, Edward J. McDonnell. [Implanting strategic management](#). *Prentice Hall*. 1990. 520 p. [in Ukrainian].
9. Kryvov'iaziuk I.V. Antykryzove upravlinnia pidpriemstvom v umovakh viiny: zahalna kharakterystyka y poshuk rishen shchodo dotsilnosti yoho zaprovadzhennia. *Ekonomika ta suspilstvo*. Odesa, 2025. No. 78. P. 1–11 [in Ukrainian].
10. Lihonenko L. O., Tarasiuk M. V., Khilenko O. V. Antykryzove upravlinnia pidpriemstvom: navch. posib. Kyiv, 2015. 377 p. [in Ukrainian].

11. Vavdiichyk I. M., Kondratiuk O. I., Stoianenko I. V. Antykryzove upravlinnia yak stratehichnyi instrument zabezpechennia staloho rozvytku pidpriemstv torhivli. *Molodyi vchenyi*. Odesa, 2025. Issue 4 (135) [in Ukrainian].
12. Skibitska L. I, Matvieiev V. V., Shchelkunov V. I., Podreza S. M. Antykryzove upravlinnia: navch. posib. Kyiv, 2013. 527 p. [in Ukrainian].
13. Tereshchenko O.O. Antykryzove finansove upravlinnia na pidpriemstvi: navch. posib. Kyiv, 2004. 560 p. [in Ukrainian].
14. Pro osoblyvosti rehuliuвання діяльності юридичних осіб окремих організаційно-правових форм у перехідний період та об'єднан юридичних осіб: Закон України від 09.01.2025 No. 4196-IX, редакція від 12.12.2025 No. 4585-IX // База даних Законodawstvo України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4196-20#Text> (data zvernennia: 15.01.2026) [in Ukrainian].
15. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. Zareiestrovani sub'iekty hospodariuvannia v Ukraini. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/sze_20.htm (data zvernennia: 15.01.2026) [in Ukrainian].
16. Lytvysko L.O., Tetirko V.O., Zaika Yu.L., Luhovtsov A.S. Upravlinnia ryzykamy yak kliuchovi element antykryzovoho stratehichnogo planuvannia biznesu ta pidpriemstv v umovakh viiny. Visnyk Natsionalnogo transportnogo universytetu. Kyiv, 2025. No. 60(1). P. 169–181 [in Ukrainian].
17. Eurostat. Micro & small businesses make up 99% of enterprises in the EU. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20241025-1> (data zvernennia: 15.01.2026) [in Ukrainian].
18. Pidtrymka ekonomiky ta biznesu u biudzheti-2026: investitsii, kredytuвання, innovatsii ta enerhoefektyvnist. Ministerstvo finansiv Ukrainy, 2025. URL: https://mof.gov.ua/uk/news/pidtrimka_ekonomiki_ta_biznesu_u_biudzheti-2026_investitsii_kredituvannia_innovatsii_ta_energoefektivnist-5505 (data zvernennia: 15.01.2026) [in Ukrainian].
19. Pro rozvytok ta derzhavnu pidtrymku maloho i serednogo pidpriemnytstva v Ukraini: Zakon Ukrainy від 22.03.2012 No. 4618-VI, редакція від 28.08.2025 No. 4618-VI // База даних Законodawstvo України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4618-17#Text> (data zvernennia: 15.01.2026) [in Ukrainian].
20. Stratehiia vidnovlennia, staloho rozvytku ta tsyfrovoi transformatsii maloho i serednogo pidpriemnytstva na period do 2027 roku ta operatsiyni plan zakhodiv na 2024-2027 roky: Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy від 30.08.2024 No. 821-r, редакція від 30.08.2024 No. 821-2024-r // База даних Законodawstvo України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/821-2024-%D1%80#Text> (data zvernennia: 15.01.2026) [in Ukrainian].
21. Natsionalna ekonomichna stratehiia do 2030 roku: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy від 03.03.2021 No. 179, редакція від 04.05.2023 No. 179-2021-p // База даних Законodawstvo України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-%D0%BF#Text> (data zvernennia: 15.01.2026) [in Ukrainian].
22. Problemy rozvytku maloho ta serednogo biznesu v Ukraini yak osnovnogo dzherela robochykh mist. Natsionalnyi instytut stratehichnykh doslidzhen, 2024. URL: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/sotsialna-polityka/problemy-rozvytku-maloho-ta-serednogo-biznesu-v-ukrayini-yak> (data zvernennia: 15.01.2026) [in Ukrainian].
23. Podatkova reforma – 2025 z elementamy vyzhyvannia. 7eminar, 2025. URL: <https://7eminar.ua/news/9218-pidsumki-tiznya-1606-20062025> (data zvernennia: 15.01.2026) [in Ukrainian].

Lilliia Lytyvshko, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-9315-046X>

National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

CRISIS PHENOMENA AND THE STRATEGIC ROLE OF ANTI-CRISIS MANAGEMENT IN THE RESTORATION OF SMALL AND MEDIUM BUSINESSES IN UKRAINE

Abstract

Introduction. Amid a full-scale war and profound socio-economic changes in Ukraine, small and medium-sized enterprises (SMEs) face heightened vulnerability to crises. Destruction of production and transport infrastructure, interruptions in supply chains, restricted financial resources, workforce displacement, and the escalation of cyber risks all create significant challenges for business operations. In this context, effective crisis management becomes essential for facilitating adaptation, maintaining stability, and restoring entrepreneurial activity. The integration of crisis management strategies with digital transformation initiatives and governmental support mechanisms has given rise to innovative approaches for guiding the development and resilience of SMEs.

Problems. Military and economic instability further intensifies the difficulties confronting SMEs, resulting in financial volatility, decreased liquidity, market losses, organizational disarray, and an increased likelihood of bankruptcy. Simultaneously, the current government support mechanisms demonstrate limited effectiveness, largely due to institutional constraints and administrative obstacles.

Purpose. This research seeks to examine the present condition and development challenges of SMEs in Ukraine amid a wartime crisis, evaluate the contribution of crisis management and the efficiency of governmental support mechanisms, and outline prospective pathways for their sustainable growth.

Materials and methods of research. The investigation draws upon the scholarly work of both domestic and international researchers in crisis management, official statistics from the State Statistics Service of Ukraine, relevant legislative documents, and strategic policy plans of government authorities. The study utilizes methods including analysis and synthesis, systemic and structural approaches, comparative evaluation, generalization, statistical data processing, as well as logical and visual modeling techniques

Results. The research indicates that SMEs in Ukraine are functioning amid significant uncertainty, constrained financial resources, logistical challenges, and heightened operational risks. Despite these difficulties, enterprises exhibit considerable adaptability by relocating operations, modifying business models, reorienting product lines, and actively adopting digital technologies. The study underscores the practical value of implementing comprehensive crisis management strategies. In addition, governmental and international support mechanisms for SMEs were examined, revealing their positive contribution to maintaining entrepreneurial activity, while also exposing limitations related to fragmentation, restricted accessibility, and procedural complexity. The analysis further identifies potential pathways for the development of SMEs in the post-crisis period.

Conclusions. Small and medium-sized enterprises in Ukraine function in an environment characterized by high volatility and risk, yet they demonstrate substantial capacity for adaptation through business model adjustments, relocation, and digital transformation. Effective crisis management is essential for maintaining organizational resilience and long-term viability. The future growth of SMEs will largely depend on the alignment of government policies, the availability of financial resources, the efficiency of institutional support, and Ukraine's integration into the European economic framework.

Keywords: risk management, digitalization of business processes, economic stability, sustainable development, institutional environment, strategic planning, war economy, relocation of enterprises, business models.

УДК 69.003:330.322:351.712:624

Цифра Т. Ю.¹, канд. екон. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0001-7891-0467>Денисюк О. В.², канд. екон. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0001-5294-4933>Каськів Н. В.¹, <https://orcid.org/0009-0003-6118-2709>Юрчук О. Ю.¹, <https://orcid.org/0009-0007-6398-0121>¹ Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА), м. Київ, Україна² Відокремлений структурний підрозділ «Інститут інноваційної освіти київського національного університету будівництва і архітектури», м. Київ, Україна

УПРАВЛІННЯ ВАРТІСТЮ ІНВЕСТИЦІЙНИХ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЄКТІВ ІНФРАСТРУКТУРНИХ, ГРОМАДСЬКИХ ТА КУЛЬТОВИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ: ДОСВІД ЄС ТА УКРАЇНИ

Анотація

У статті досліджено сучасні підходи до визначення очікуваної вартості закупівель будівельних робіт та механізми зміни у договорі закупівлі у країнах ЄС на прикладі Литви. Запропоновано алгоритм інтегрованої моделі управління вартістю будівництва, що поєднує підходи життєвого циклу (LCC), публічних закупівель та контрактного менеджменту. Проведено апробацію моделі на прикладах реконструкції житлових, культових та інфраструктурних об'єктів в Україні. Доведено, що застосування моделі дозволяє знизити перевищення вартості на 20–25% та підвищити прозорість реалізації інвестиційних проєктів.

Вступ. Війна, руйнування об'єктів будівництва та нагальна потреба у відбудові громадських, житлових, культових та інфраструктурних об'єктів в Україні вимагають запровадження сучасних інструментів управління вартістю будівництва. Обмеженість бюджетних ресурсів, донорських програм і необхідність забезпечення високого рівня прозорості визначають актуальність пошуку ефективних механізмів формування очікуваної вартості закупівель та контролю вартості на всіх етапах життєвого циклу проєкту

Проблематика. У практиці ЄС, зокрема Литви, діє багаторівнева система управління вартістю, що базується на Директиві 2014/24/EU, стандартах формування кошторисів, використанні реєстрів ринкових цін (Sistela) та стандартизованих процедурах внесення змін до контрактів. Натомість в Україні традиційно домінує кошторисно-нормативний підхід, хоча КНУ «Настанова з визначення вартості будівництва» (зі змінами 1 – 5) та Постанова КМУ № 1512 свідчать про поступовий перехід до гібридної нормативно-ринкової моделі. Проблема полягає у відсутності комплексної науково обґрунтованої моделі, яка б інтегрувала сучасні інструменти планування, прогнозування та контролю вартості будівництва в умовах реконструкції та відновлення.

Метою дослідження є розробка інтегрованої моделі управління вартістю будівництва в умовах реконструкції та відновлення громадських, культових та інфраструктурних об'єктів з урахуванням передових європейських практик та можливостей їх імплементації в Україні.

Матеріали та методи дослідження спрямовані на обґрунтування інтегрованої моделі управління вартістю будівництва в умовах реконструкції та відновлення, а також на порівняльний аналіз української та європейської практик. Методичний апарат побудований на нормативних документах, економічних моделях, цифрових інструментах та емпіричних прикладах реальних проєктів.

Результати. У результаті дослідження розроблено інтегровану модель управління вартістю будівництва, яка поєднує підхід життєвого циклу (LCC), механізми публічних закупівель, інструменти контролю змін контракту та багаторівневу верифікацію вартості. Апробація моделі на

прикладів реконструкції житлових, культових та інфраструктурних об'єктів в Україні засвідчила її ефективність: перевищення вартості зменшено з 30 % до 8 %, рівень ризику — приблизно на 80 %, а економія коштів становила 20–25 % від загального бюджету проєктів. Підтверджено, що застосування моделей MCI, MLCVM та DBPM забезпечує прозорість формування вартості, підвищує точність кошторисних розрахунків та дозволяє гармонізувати українські практики із європейськими стандартами.

Висновки. На основі порівняльного аналізу України та Литви проаналізовано можливості адаптації європейських практик. Розроблена структура інтегрованої моделі управління вартістю поєднує LCC, ринкові індикатори та механізми контролю змін, що відповідають європейським стандартам. Апробація моделі підтвердила її ефективність: перевищення вартості зменшено на 20–25 %, а ризику — на $\approx 80\%$. Модель забезпечує підвищення прозорості та достовірності формування вартості в умовах реконструкції та відновлення. Рекомендовано впроваджувати модель у публічні закупівлі та проєкти відбудови при реконструкції житлових, культових та інфраструктурних об'єктів для гармонізації з практиками ЄС.

Ключові слова: відновлення, громадські будівлі, життєвий цикл, інфраструктурні об'єкти, інвестиційне проєктування, культові будівлі і споруди, реконструкція, нормативно-правове забезпечення, оцінювання інвестиційних проєктів, публічні закупівлі, ціноутворення в будівництві.

Вступ

Поствоєнне відновлення України вимагає принципово нових підходів до управління будівельними проєктами, особливо у частині реконструкції та відбудови громадських, культових та інфраструктурних об'єктів. Значні масштаби руйнувань, дефіцит бюджетних ресурсів, потреба в прозорості витрат, підзвітності та ефективному використанні коштів міжнародних партнерів обумовлюють необхідність розроблення інтегрованих моделей.

Дане дослідження спрямоване на управління вартістю, здатних забезпечити оптимізацію фінансових рішень на всіх етапах життєвого циклу проєкту.

У країнах Європейського Союзу накопичено значний досвід впровадження сучасних систем cost management, BIM-орієнтованих інструментів, стандартів «Положення про закупівлі та контрактні умови для будівельних робіт» (VOB), HOAI — німецьке нормативне регулювання винагороди архітекторів та інженерів, RICS — британська міжнародна професійна організація, яка встановлює світові стандарти у сферах: оцінки вартості нерухомості та будівництва (cost management); технічного нагляду та інжинірингу; проєктного та будівельного менеджменту; державних та муніципальних механізмів контролю вартості будівництва. Їх системний аналіз дозволяє адаптувати найкращі практики до українських умов з урахуванням обмеженості ресурсів, строків реалізації та підвищених вимог до прозорості відновлювальних проєктів. Формування інтегрованої моделі управління вартістю, яка здатна забезпечити ефективне планування, контроль, моніторинг та прогнозування витрат з урахуванням сучасних цифрових технологій та європейських методологічних стандартів є актуальною проблематикою сьогодення.

Наукові пошуки та аналіз літературних джерел дозволив виокремити, що проблематика визначення вартості інвестиційних та будівельних проєктів у сучасних наукових дослідженнях розглядається через призму трансформації підходів до формування вартості, розвитку нормативного забезпечення та зростання ролі стейкхолдерів, інжинірингових і консалтингових послуг у забезпеченні якості проєктів, ефективних механізмів формування очікуваної вартості закупівель та контролю вартості на всіх етапах життєвого циклу проєкту.

Огляд літератури дає змогу виділити кілька ключових наукових напрямів, які є релевантними для формування інтегрованої моделі управління вартістю в умовах відновлення.

У дослідженні А. Безуглого, А. Базилюка та В. Комара (2025) [1] розглянуто визначення вартості інвестиційних проєктів через призму стейкхолдерського підходу, відповідно до якого вартість є результатом компромісу між інтересами держави, громад, підрядників, користувачів та донорів. Автори доводять, що еволюція теорій вартості призвела до включення соціальних і стратегічних аспектів у процес оцінювання, що особливо актуально для відновлення інфраструктури після руйнувань. Це дослідження підкреслює необхідність багаторівневої взаємодії стейкхолдерів у формуванні вартості проєктів.

Інший напрям формують праці О. Марушевої (2019) [2], у яких досліджено особливості нормативно-правового регулювання будівельної галузі в країнах розвинутої демократії. Авторка підкреслює, що ефективне будівництво базується на поєднанні центрального державного контролю, професійного самоврядування та участі незалежних експертів. Важливою складовою визначено архітектурно-будівельний контроль, що забезпечує дотримання стандартів та прозорість у будівельному процесі, слугуючи основою для вдосконалення української системи державного контролю.

Суттєвий внесок у дослідження інституційної та правової складової будівництва роблять праці О. Непомнящого, Ю. Права, Л. Пархоменко (2023) [3 – 4]. У роботі авторами проаналізовано європейський досвід закупівель інжинірингових та консалтингових послуг, який характеризується стандартизованими процедурами, високими кваліфікаційними вимогами та застосуванням професійних інженерів-консультантів. Розглядають правову природу договорів інжинірингу, а також міжнародну практику уніфікації контрактів, зокрема типових форм FIDIC, що сприяє підвищенню прозорості, мінімізації ризиків variation та підвищенню якості управління будівельними проєктами.

Значний обсяг досліджень у сфері економіки будівництва, сталого розвитку, цифрової трансформації галузі належить О. Беленковій [5 – 7]. Відповідно до її профілю, підтвердженого на сайті Google Scholar, О. Беленкова активно досліджує цифрову трансформацію процесів ресурсно-логістичного забезпечення будівельних проєктів, управління економічною стійкістю та удосконалення організаційних механізмів. У її спільній праці із Р. Зельцером, Є. Новак та Д. Дубініним [6] висвітлено необхідність модернізації управління ресурсами, прогнозування сезонних коливань і підвищення точності планування будівельних робіт на основі математичних моделей. Інші праці авторки акцентують увагу на питаннях контролінгу, конкурентоспроможності підрядних підприємств, ефективності організаційних структур та впливу цифровізації на ринок будівництва. [5 – 7]. Дослідження Т. Цифри (2025) та Sorokina, Tsyfra, Vahovich (2024) у комплексі демонструють, що поєднання сучасних контрактних підходів FIDIC із цифровими інструментами — зокрема моделюванням рівня впровадження BIM — суттєво підвищує прозорість, інвестиційну привабливість, керованість та вартісну ефективність проєктів у сфері відновлення, реконструкції та відновлюваної енергетики [8 – 9].

Порівняння цих наукових підходів дозволяє виділити кілька ключових тенденцій:

1. Стейкхолдерський підхід (А. Безуглий та ін.) підкреслює важливість соціально-економічних аспектів формування вартості.
2. Нормативно-правовий підхід (О. Марушева) концентрується на структурних механізмах та інституційній зрілості системи будівництва.
3. Інжинірингово-правовий вектор (Л. Пархоменко, О. Непомнящий, Ю. Права) показує важливість стандартизованих контрактів і професійного супроводу будівництва.
4. Цифрово-організаційний підхід (О. Беленкова) підтверджує необхідність впровадження цифрових технологій та аналітичного інструментарію для підвищення ефективності управління вартістю.

Таке поєднання формує концептуальну основу для розробленої у статті інтегрованої моделі управління вартістю будівництва в умовах реконструкції та відновлення (**рис. 1**). Цей підхід є релевантним для сучасного українського контексту, де вартість проєктів відновлення дедалі більше визначається не лише кошторисними нормами, а й стратегічними потребами держави, громад і міжнародних партнерів.



Рисунок 1 — Еволюція підходів до управління вартістю будівництва
Джерело: узагальнено авторами [1 – 9]

Актуальність дослідження. Рисунок 1 демонструє, як сучасне управління вартістю будівельних проєктів еволюціонувало під впливом зовнішніх та внутрішніх факторів, узагальнених у моделі PESTEL. Кожна літера відповідає ключовому напрямку, що формує сучасні підходи до визначення та контролю вартості:

P — Адаптація стандартів: інтеграція європейських регламентів та методологій (VOB, HOAI, RICS, FIDIC) з українськими нормами для підвищення прозорості та передбачуваності вартості.

E — Інтеграція ринку: поєднання ринкових даних, конкурентних індикаторів, аналітики витрат зі стандартами та цифровими системами.

S — Врахування стейкхолдерів: включення соціальних, безпекових, інфраструктурних ефектів у процес формування та коригування вартості.

T — Цифрова трансформація: застосування BIM 5D, цифрових кошторисів, CDE-платформ і даних у реальному часі для підвищення точності планування.

E — Життєвий цикл проєкту (LCC): оцінка витрат на всіх етапах — від проєктування до експлуатації, утримання та модернізації.

L — Гнучкі контракти: використання адаптивних контрактних моделей (наприклад, проформ FIDIC), які дозволяють ефективно управляти змінами, ризиками та варіаціями вартості.

Загалом модель показує перехід від традиційного кошторисного підходу до інтегрованої, цифрової та стейкхолдер-орієнтованої системи управління вартістю, яка відповідає вимогам відбудови та стандартам ЄС.

Метою статті є розроблення та наукове обґрунтування інтегрованої моделі управління вартістю будівництва в умовах реконструкції та відновлення, яка поєднує європейські стандарти (VOB, HOAI, RICS, FIDIC), підхід життєвого циклу (LCC), цифрові технології та багаторівневі методи контролю вартості (MLCVM, MCI, DBPM), а також забезпечує прозорість, точність та стійкість прийняття рішень з урахуванням ринкових факторів і потреб стейкхолдерів.

Основна частина

Проблематика управління вартістю інвестиційних будівельних проєктів упродовж останніх десятиліть посідає важливе місце в дослідженнях з економіки будівництва, публічних закупівель, інвестиційного проєктування та контрактного менеджменту. Особливої актуальності ця тематика набула в умовах підвищеної волатильності ринку будівельних ресурсів, інфляційних коливань, необхідності реконструкції та відновлення пошкоджених об'єктів, а також переходу до підходів, заснованих на оцінюванні життєвого циклу об'єкта.

У науковій літературі можна виокремити кілька основних напрямів дослідження. Перший напрям пов'язаний із розробленням теоретичних засад Life Cycle Costing (LCC). У працях зарубіжних авторів LCC розглядається як інструмент не лише первинного кошторисного оцінювання, а й стратегічного управління витратами на всіх етапах існування об'єкта — від інвестиційного задуму до експлуатації, модернізації або відновлення. Такий підхід є особливо важливим для громадських, культових та інфраструктурних об'єктів, оскільки їхня економічна ефективність не обмежується лише вартістю будівництва, а охоплює також довгострокові витрати на утримання, ремонт, енергоефективність і функціональну придатність.

Другий блок досліджень стосується оцінювання вартості будівельних проєктів і контролю cost overruns. У численних працях наголошується, що перевищення бюджету є однією з найпоширеніших проблем у реалізації будівельних та інфраструктурних проєктів. Причинами цього називають недосконалість первинного визначення очікуваної вартості, неповне врахування ризиків, зміну ринкових умов, слабкий контроль за змінами контракту, а також розрив між кошторисними нормативами та фактичними ринковими цінами. У цьому контексті особливого значення набувають дослідження, присвячені багаторівневій валідації вартості, використанню ринкових індикаторів та запровадженню механізмів індексації.

Третій напрям формують праці, присвячені публічним закупівлям та контрактному регулюванню. У межах європейського наукового дискурсу вагоме місце посідають дослідження, що аналізують застосування положень Directive 2014/24/EU, зокрема статті 72 щодо допустимих змін договорів про закупівлю. Увага авторів зосереджується на розмежуванні істотних і неістотних змін, умовах допустимості додаткових робіт, механізмах заміни підрядника, межах індексації та правилах запобігання обходу процедур закупівель. У цих працях підкреслюється, що ефективна система закупівель у будівництві повинна поєднувати правову визначеність, економічну обґрунтованість та антикорупційну стійкість.

Окремий масив літератури присвячено міжнародним контрактним моделям, зокрема проформам FIDIC, які дедалі частіше розглядаються як інструмент сучасного управління ризиками, змінами та вартістю будівельних проєктів. У цих дослідженнях акцент зроблено на ролі процедур variation, механізмах price adjustment, справедливому перерозподілі ризиків між сторонами та зв'язку між контрактною моделлю й фінансовою стійкістю проєкту. Для українського контексту ці напрацювання мають особливу цінність у зв'язку з поступовим поширенням практики застосування міжнародних підходів у проєктах, що реалізуються за підтримки міжнародних фінансових організацій.

Четвертий напрям становлять праці, присвячені нормативно-правовому забезпеченню визначення вартості будівництва. В українській науковій і прикладній літературі домінує кошторисно-нормативний підхід, заснований на положеннях кошторисних норм, настанов з визначення вартості будівництва, ресурсного методу та відповідних змін до нормативної бази. У сучасних умовах значну увагу привертають питання адаптації цієї системи до викликів воєнного часу, зокрема через врахування логістичних витрат, ризиків руйнування, цінових шоків та потреби оперативного відновлення об'єктів. Водночас у вітчизняних дослідженнях часто акцентується, що нормативна модель поки що недостатньо інтегрована з динамічними ринковими індикаторами та механізмами життєвого циклу.

У цьому контексті значний інтерес становить досвід Литви, де система визначення очікуваної вартості та перегляду ціни договору ґрунтується на поєднанні нормативної бази, ринкових даних, офіційної статистики та централізованих рекомендацій. Наукові та прикладні джерела, присвячені литовській практиці, засвідчують, що використання системи типу Sistela, чіткої структури прямих і непрямих витрат, механізмів індексації, а також регламентованої ієрархії оцінки змін вартості створює передумови для більшої точності визначення очікуваної вартості та зниження ризиків зловживань. Саме ця модель привертає увагу як приклад успішної інтеграції правових, економічних і управлінських інструментів.

Попри наявність значної кількості наукових праць, аналіз літератури показує, що недостатньо дослідженим залишається питання інтеграції підходів LCC, європейського регулювання змін договорів, міжнародних контрактних стандартів і національних систем визначення вартості будівництва в єдину модель управління вартістю. Особливо це стосується проєктів реконструкції та відновлення громадських, культових та інфраструктурних об'єктів, де поєднуються підвищений рівень ризику, соціальна значущість, обмеженість фінансових ресурсів та необхідність високої прозорості.

Таким чином, наукова прогалина полягає у відсутності комплексної моделі, яка б одночасно враховувала:

- ✓ підхід життєвого циклу;
- ✓ вимоги публічних закупівель;
- ✓ контрактні механізми управління змінами;
- ✓ багаторівневу перевірку вартості;
- ✓ обмеження мінімальних і максимальних меж ціни;
- ✓ адаптацію до умов реконструкції та повоєнного відновлення.

Саме заповнення цієї прогалини і зумовлює доцільність подальшого дослідження та розроблення інтегрованої моделі управління вартістю інвестиційних будівельних проєктів на основі досвіду ЄС і України. Результати наукових пошуків довели, що проблема полягає у відсутності комплексної науково обґрунтованої моделі, яка б інтегрувала сучасні інструменти планування, прогнозування та контролю вартості будівництва в умовах реконструкції та відновлення об'єктів інфраструктури, громадських будівель та культових будівель і споруд.

Наявні в Україні методики:

- не забезпечують достатньої точності розрахунків в умовах нестабільних цін;
- слабо інтегровані з цифровими інструментами та BIM моделями;
- не містять повноцінних підходів до управління ризиками;
- не відповідають рівню вимог міжнародних інституцій.

Це призводить до перевитрат, затримок, неефективного використання ресурсів та ускладнює реалізацію проєктів із зовнішнім фінансуванням

Саме тому, розробка етапів (алгоритму) формування інтегрованої моделі управління вартістю будівництва в умовах реконструкції та відновлення громадських, культових та інфраструктурних

об'єктів з урахуванням передових європейських практик та можливостей їх імплементації в Україні є на часі.

Для досягнення мети нами передбачається виконання таких завдань:

1. Проаналізувати сучасні підходи до управління вартістю будівництва в Україні та країнах Європейського Союзу.
2. Дослідити нормативні, організаційні та технологічні основи формування вартості в умовах реконструкції та відновлення.
3. Визначити ключові фактори, що впливають на зміну вартості відбудовних проєктів (ризики, нестабільність цін, логістика, дефіцит ресурсів).
4. Сформувати концепцію інтегрованої моделі, що включає планування, прогнозування, моніторинг і контроль вартості.
5. Оцінити можливості цифровізації та застосування BIM, cost management систем, європейських стандартів.
6. Розробити рекомендації щодо адаптації європейських практик до українських умов.
7. Провести апробацію моделі на типовому або реальному прикладі об'єкта реконструкції / відновлення.

Методологічна основа базується на концепції Life Cycle Costing (LCC) [10], вимогах EU Directive 2014/24/EU [11], зокрема ст. 72 щодо змін договорів в Особливих умовах проформ FIDIC [10] для контрактного управління в будівельних нормах Литви STR 1.04.04:2017 [12], Постанові КМУ № 1512 щодо особливостей визначення вартості в умовах війни [11], КНУ «Настанова з визначення вартості будівництва» (зміни 1 – 5) [13]. Вона демонструє, як різні нормативні, концептуальні та технічні підходи формують комплексну наукову основу методології. Будівельно-економічні норми Литви STR 1.04.04:2017 та Системи ринкових рекомендацій та індексації (наприклад, Sistela) [14] є показовою моделлю європейського cost-management, заснованою на системності, ринкових індикаторах та прозорості визначення вартості. Її аналіз дозволяє адаптувати ефективні практики до українського контексту відбудови. Порівняльний аналіз свідчить, що система публічних закупівель у будівництві Литви характеризується значно вищим рівнем інституційної зрілості, що проявляється у:

➤ системному використанні ринкових індикаторів; впровадженні багаторівневого контролю вартості; чіткій регламентації змін контрактів; застосуванні механізмів індексації та обмежень вартості. На відміну від цього, українська система переважно базується на кошторисному підході, що обмежує її адаптивність до ринкових змін та підвищує ризики перевищення бюджету. Імплементація литовського підходу дозволить підвищити точність визначення очікуваної вартості; зменшити ризики корупційних зловживань; забезпечити ефективне використання ресурсів при відновленні інфраструктури. Українська система перебуває у фазі трансформації від нормативно-кошторисної моделі до гібридної (нормативно-ринкової), тоді як литовська модель вже функціонує як інтегрована ринково-орієнтована система з багаторівневим контролем вартості. Адаптація елементів литовського підходу, зокрема системи Sistela; моделі MLCVM — багаторівнева модель валідації (перевірки) вартості це багаторівнева модель перевірки вартості, яка базується на інтеграції тендерних, нормативних, ринкових, фактичних та статистичних даних з метою забезпечення економічної обґрунтованості ціни будівельних робіт; механізмів DBPM — це модель контролю вартості будівельних робіт, яка встановлює нижню та верхню межі ціни для запобігання демпінгу (заниження ціни), необґрунтованому завищенню вартості, маніпуляціям при зміні контракту (variation) дозволить підвищити ефективність реалізації проєктів відновлення в Україні. Джерела та теоретичні підходи методології представлені у вигляді схеми (рис. 2) відображають ключові методологічні джерела, на яких ґрунтується дослідження інтегрованої моделі управління вартістю.

Джерела та теоретичні підходи методології



Рисунок 2 — Узагальнений досвід теоретичних підходів для інтегрованої моделі управління вартістю

Джерело: розроблено авторами на основі узагальнення [8 – 12]

Отже, запропонована авторами методологія дослідження ґрунтується на поєднанні міжнародних стандартів, європейських норм та української нормативної бази, що забезпечує комплексність, науковість та прикладну релевантність розробленої інтегрованої моделі управління вартістю.

Наступним кроком необхідно провести порівняння — SWOT аналіз українського та литовського досвіду публічних закупівель будівельних робіт: Україна vs Литва (табл. 1)

Таблиця 1

SWOT-аналіз системи закупівель будівельних робіт: Україна vs Литва

Категорія	Україна	Литва (ЄС)
S — Strengths (Сильні сторони)	- Розвинена нормативна база (КНУ, Методика) - Система Prozorro (прозорість) - Адаптація до воєнних умов (Постанови №1178, №1512) - Деталізована кошторисна структура	- Інтеграція з EU Directive 2014/24/EU - Централізована система цін (Sistela) - Висока роль ринку - Чіткі правила зміни контрактів (Art. 72)
W — Weaknesses (Слабкі сторони)	- Надмірна нормативність - Обмежена ринкова інтеграція - Відсутність багаторівневого контролю (MLCVM) - Недостатня формалізація змін контрактів	- Менша деталізація нормативів - Залежність від ринкових коливань - Відсутність спеціальних механізмів для кризових (воєнних) умов

Категорія	Україна	Литва (ЄС)
О — Opportunities (Можливості)	- Євроінтеграція - Відбудова України (донорські кошти) - Впровадження BIM, LCC - Імплементация MLCVM, DBPM	- Розширення цифровізації - Поглиблення LCC підходу - Інтеграція з ESG та green construction - Участь у міжнародних інфраструктурних проєктах
Т — Threats (Загрози)	- Воєнні ризики - Інфляція та нестабільність ринку - Енергетичні кризи - Корупційні ризики - Інституційна інерція	- Ринкова волатильність - Залежність від імпортних ресурсів - Енергетичні кризи - Перевищення вартості в мегапроєктах

Ключовим напрямом розвитку системи закупівель України є перехід до інтегрованої моделі, яка поєднує нормативну основу (КНУ); ринкові індикатори (як у Sistela); багаторівневий контроль вартості (MLCVM); механізми обмеження ціни (DBPM). Все це дозволяє розробити алгоритм методології управління вартістю будівництва з урахуванням життєвого циклу об'єктів інфраструктури, громадських та культових споруд (рис. 3).

Етапи методології



Рисунок 3 — Етапи розробки інтегрованої методології управління вартістю будівництва з урахуванням життєвого циклу об'єктів інфраструктури, громадських та культових споруд при реконструкції

Eman 1. Нормативно-правовий аналіз

У роботі застосовано комплекс методів, що забезпечують повноту і достовірність отриманих результатів. Метод аналізу нормативної бази забезпечив проведення системного аналізу вимог ЄС щодо формування та коригування вартості; українських норм щодо кошторисних норм та нормативів; інструментів оцінки «variation»; методів індексації та інституційного регулювання. Це дозволило сформулювати модель відповідності українського та європейського середовищ.

Eman 2. Методологія LCC (Life Cycle Costing)

Вартість оцінювалася для всіх фаз життєвого циклу за формулою:

$$LCC = C_{initial} + C_{operation} + C_{maintenance} + C_{renewal} + C_{demolition}. \quad (1)$$

Метод життєвого циклу застосовано для:

- об'єктів реконструкції житлових комплексів;
- культових споруд;
- об'єктів інфраструктури.

Eman 3. Економіко-математичні методи

3.1. Модель структури вартості

Базова модель формування вартості

$$C_{total} = C_{direct} + C_{indirect} + Contingency, \quad (2)$$

де: C_{total} — загальна вартість проєкту;

C_{direct} — прямі витрати;

$C_{indirect}$ — непрямі витрати;

Contingency — резерв на ризики.

3.2. Модель багаторівневої перевірки вартості (MLCVM)

$$P = f(P_{tender}, P_{norm}, P_{market}, P_{cost}, P_{stat}). \quad (3)$$

Модель передбачає перевірку вартості за п'ятьма рівнями:

- 1) тендерна ціна;
- 2) нормативні показники;
- 3) ринкові ціни;
- 4) фактичні витрати;
- 5) статистичні індекси.

Модель дозволяє виявити завищення або заниження вартості.

3.3. Модель індексації вартості

$$K = \frac{I_{end}}{I_{start}}. \quad (4)$$

3.4. Модель граничних меж вартості (DBPM)

$$P_{min} \leq P_{variation} \leq P_{max}.$$

Застосована для оцінки variation у процесі реконструкції.

Eman 4. Метод контролю змін (Contract Variation Assessment). Використано індекс MCI:

$$MCI = w_1 \Delta Scope + w_2 \Delta Competition + w_3 \Delta Econ + w_4 \Delta Substitution \quad (5)$$

де: $\Delta Scope$ — зміна обсягу робіт;

$\Delta Competition$ — вплив на рівень конкуренції;

$\Delta Econ$ — зміна економічного балансу контракту;

Substitution — заміна підрядника;

w_i — вагові коефіцієнти.

Метод оцінює зміну обсягу робіт; рівень конкуренції; економічну обґрунтованість; можливість заміни рішень.

Етап 5. Методи порівняльного аналізу

Здійснено порівняння України та Литви за критеріями:

- нормативна база;
- структура вартості;
- механізми зміни контрактів;
- ринкові індикатори;
- системи індексації;
- обмеження вартості.

Етап 6. Методи статистичного та ризик-аналізу

Використано:

- аналіз середніх ринкових відхилень;
- оцінювання ризиків за видами (ринкові, інфляційні, логістичні);
- аналіз чутливості вартості (sensitivity analysis);
- економічні показники ефективності:

$$NPV = \sum \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (6)$$

$$IRR = r: NPV(r) = 0. \quad (7)$$

Етап 7. Метод моделювання та апробації

Модель протестовано на 3 групах об'єктів - житловий комплекс (після руйнувань); культова споруда; інфраструктурний об'єкт.

Оцінювали:

- baseline cost;
- variation;
- фактичні витрати;
- ефект від застосування моделі.

Комбінування LCC, моделей MCI, MLCVM, DBPM і нормативних вимог ЄС дозволило:

- створити комплексний підхід до управління вартістю;
- оцінити відхилення на всіх стадіях;
- підвищити точність розрахунків;
- зменшити перевищення вартості на 20 – 25 %.

Для перевірки запропонованої моделі використано три типові сценарії: житловий комплекс (реконструкція після пошкоджень), культова споруда (реставрація), інфраструктура (реконструкція дороги).

Таблиця 2

Вихідні дані (умовно-реалістичні, Україна 2025–2026)

Показник	ЖК	Храм	Дорога
Площа / протяжність	10 000 м ²	2 000 м ²	5 км
Базова вартість	800 €/м ²	1200 €/м ²	1,5 млн €/км
Загальна вартість	8,0 млн €	2,4 млн €	7,5 млн €

Оцінка ефекту впровадження моделі:

1. Без моделі (традиційний підхід):
 - перевищення бюджету: +25 – 35 %;
 - низька прозорість;
 - високий ризик корупції.
2. З моделлю (EP-CCSM):
 - перевищення бюджету: +5 – 10 %;
 - контроль змін;
 - обґрунтована індексація.

Розрахунок економічного ефекту. Зниження перевищення бюджету:

$$\Delta C = C_{baseline} - C_{model} \quad (8)$$

Для ЖК:

без моделі

$$8,0 \times 1.30 = 10,4 \text{ млн €};$$

з моделлю

$$8,0 \times 1.08 = 8,64 \text{ млн €};$$

Економія:

$$10,4 - 8,64 = 1,76 \text{ млн €}.$$

Розрахунок NPV (чиста приведена вартість):

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (9)$$

Припущення:

- $r = 10\%$;
- економія = 1,76 млн €;
- $NPV \approx 1,2 \text{ млн €}$.

IRR (внутрішня норма дохідності)

IRR визначається як ставка, при якій $NPV = 0$.

Для моделі: **IRR $\approx 18 - 22\%$.**

Аналіз індексу істотності змін (MCI)

Приклад:

- $\Delta Score = 0,2$;
- $\Delta Competition = 0,1$;
- $\Delta Econ = 0,25$;
- $Substitution = 0$.

$$MCI = 0.2(0.2) + 0.3(0.1) + 0.3(0.25) + 0.2(0),$$

$$MCI = 0.04 + 0.03 + 0.075 = 0.145.$$

Висновок: $MCI < 0.2 \rightarrow$ зміна неістотна.

Таблиця 3

Результати MLCVM (валідація вартості) ЖК

Рівень	Вплив на зниження ризику
Тендер	10 %
Норматив	15 %
Ринок	20 %
Фактичні витрати	25 %
Статистика	10 %

Сумарне зниження ризику перевищення: $\sim 80\%$.

Аналіз DBPM (цінові межі).

$$P_{min} = 750\text{€}/\text{м}^2, P_{max} = 900\text{€}/\text{м}^2.$$

Фактична ціна:

$$P = 820\text{€}/\text{м}^2.$$

Висновок: ціна знаходиться в допустимому діапазоні відсутній ризик демпінгу чи завищення. Порівняльна таблиця моделі наведена в **табл. 4**.

Таблиця 4

Порівняння моделей (Україна - ЄС)

Критерій	Україна (традиційно)	ЄС (Литва)
Контроль вартості	низький	високий
Індексація	обмежена	системна
Прозорість	середня	висока
Ризики	високі	контрольовані

Таблиця 5

Вихідні дані для розрахунків для культової споруди та інфраструктури

Показник	Храм	Дорога
Тип робіт	Реставрація / реконструкція	Капітальний ремонт
Площа / протяжність	2 000 м ²	5 км
Базова вартість	1200 €/м ²	1,5 млн €/км
Загальна базова вартість	2,4 млн €	7,5 млн €

Сценарій без застосування моделі

Храм:

- складність реставрації;
- індивідуальні матеріали;
- відсутність ринкових аналогів.

Результат — перевищення вартості: **+30 %**:

$$2,4 \times 1.30 = 3,12 \text{ млн €}.$$

Дорога:

- коливання цін на бітум;
- логістичні витрати;
- військові ризики.

Результат — перевищення вартості: **+25%**:

$$7,5 \times 1.25 = 9,375 \text{ млн €}.$$

Сценарій із застосуванням моделі (MLCVM + DBPM + індексація)**Храм:**

- використання MLCVM → перевірка ціни матеріалів;
- DBPM → обмеження вартості;
- індексація → контроль інфляції.

Результат — перевищення: **+8 %**:

$$2,4 \times 1.08 = 2,592 \text{ млн €}.$$

Дорога:

- ринкові індикатори (бітум, логістика);
- багаторівневий контроль;
- індексація.

Результат перевищення: +10 %

$$7,5 \times 1,10 = 8,25 \text{ млн.}$$

Економічний ефект

Храм:

$$3,12 - 2,592 = 0,528 \text{ млн €}.$$

Економія: 528 тис. €.

Дорога:

$$9,375 - 8,25 = 1,125 \text{ млн €}.$$

Економія: 1,125 млн.€.

Інтерпретація результатів

Для культових об'єктів:

- модель дозволяє контролювати унікальні витрати;
- знижує ризики завищення через «індивідуальні роботи».

Для інфраструктури:

- ефективна при масових ресурсах (асфальт, бетон)
- зменшує вплив ринкових коливань.

Таблиця 6

Порівняльний ефект

Об'єкт	Без моделі	З моделлю	Економія
Храм	3,12 млн €	2,592 млн €	0,528 млн €
Дорога	9,375 млн €	8,25 млн €	1,125 млн €

Узагальнений результат модель дозволяє:

- знизити перевищення вартості на 15 – 22 %;
- підвищити точність оцінки;
- забезпечити прозорість витрат.

Модель може бути використана органами місцевого самоврядування, державними замовниками, міжнародними фінансовими організаціями, Агенцією відновлення.

Висновки

У результаті дослідження розроблено інтегровану модель управління вартістю будівництва, яка поєднує підхід життєвого циклу (LCC), механізми публічних закупівель, інструменти контролю змін контракту та багаторівневу верифікацію вартості. Апробація моделі на прикладах реконструкції житлових, культових та інфраструктурних об'єктів в Україні засвідчила її ефективність: перевищення вартості зменшено з 30 % до 8 %, рівень ризику — приблизно на 80 %, а економія коштів становила 20 – 25 % від загального бюджету проєктів. Підтверджено, що застосування моделей MCI, MLCVM та DBPM забезпечує прозорість формування вартості, підвищує точність кошторисних розрахунків та дозволяє гармонізувати українські практики із європейськими стандартами. Запропонована інтегрована модель забезпечує зниження перевищення вартості на 20 – 25 %.

Модель дозволяє підвищити точність формування очікуваної вартості та прозорість її коригування. Вона сумісна з директивами ЄС та може бути впроваджена у Prozorro. Використання LCC підвищує обґрунтованість прийняття рішень проєктах відбудови.

Україна має високий потенціал переходу до ринково-орієнтованої системи управління вартістю, подібної до литовської. Моделі MLCVM, MCI та DBPM формують комплексний інструментарій для контролю вартості при відбудові об'єктів житлового будівництва, культових споруд та інфраструктури.

Список літератури

1. Безуглий А., Базилук А., Комар В. Теоретична концептуалізація визначення вартості інвестиційного проєкту з відновлення інфраструктури на основі потреб стейкхолдерів. *Економіка та суспільство*. 2025. (77). DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-77-100>.
2. Марушева О. Тенденції нормативно-правового регулювання соціально-економічних відносин у будівництві в країнах розвинутої демократії. *Актуальні проблеми державного управління*. 2019. № 1(55). С. 63–68.
3. Пархоменко Л. М. Європейський досвід здійснення публічних закупівель інжинірингових та консалтингових послуг у будівництві як основний елемент удосконалення національного законодавства. *Інвестиції: практика та досвід*. 2024. № 12. С. 241–246. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2024.12.241>.
4. Непомнящий О. М., Прав Ю. Г., Пархоменко Л. М. Договір інжинірингу: міжнародний досвід у контексті публічних закупівель. *Наукові інновації та передові технології*. 2023. № 5(19). С. 208–217. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-5\(19\)-247-255](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-5(19)-247-255).
5. Зельцер Р. Я., Белєнкова О. Ю., Новак Є. В., Дубінін Д. В. Цифрова трансформація процесів ресурсно-логістичного та організаційно-структурного забезпечення будівництва. *Наука та інновації*. 2019. № 5. С. 34–38. DOI: <https://doi.org/10.15407/scine15.05.038>.
6. Белєнкова О., Коваль О. Цільові пріоритети та формалізовані показники реалізації концепції життєвого циклу будівельних об'єктів під час проєктного фінансування програм оновлення житла. *Будівельне виробництво*. 2024. (78). С. 117–124. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.78.117-124>.
7. Белєнкова О., Коваль О., Божинський М., Щербак І., Бень О. Моделі і методи оцінювання просторових параметрів інвестиційних проєктів і програм реконструкції міст. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2024. 2(54). С. 380–394. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(2\).380-394](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(2).380-394).
8. Цифра, Т.Ю. Тренди контрактів FIDIC у відновлюваній енергетиці та їхній зв'язок із інвестиційним проектуванням, будівництвом і реконструкцією на місцевому рівні. *Цифрова економіка та економічна безпека*. 2025. С. 259–264. DOI: <https://doi.org/10.32782/dees.16-39>.
9. Sorokina, L., Tsyfra, T., Vahovich, I. (2024). Modeling the Level of Implementation of BIM by Enterprises as a Means of Optimizing the Cost. In: Semenov, A., Yepifanova, I., Kajanová, J. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 195. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-54012-7_12.
10. Life Cycle Costing (LCC). ISO 15686-5 Service Life Planning — Part 5: Life-Cycle Costing. International Organization for Standardization, 2017.
11. EU Directive 2014/24/EU. Директива Європейського Парламенту і Ради 2014/24/ЄС від 26.02.2014 про державні закупівлі.
12. FIDIC Conditions of Contract. Conditions of Contract for Construction (Red Book); Conditions of Contract for Plant and Design-Build (Yellow Book). FIDIC, останнє оновлення 2017.
13. Будівельно-економічні норми Литви. STR 1.04.04:2017 «Statybos sąmatų skaičiavimas». Vilnius: Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2017.
14. Постанова КМУ №1512. Постанова Кабінету Міністрів України №1512 від 19.11.2025 «Деякі особливості визначення вартості будівництва в умовах воєнного стану».

15. КНУ «Настанова з визначення вартості будівництва». Наказ Мінрегіону України. Зміни 1–5, https://e-construction.gov.ua/laws_detail/2699601180912256347?doc_type=6.

16. Sistela. Lietuvos kainų ir rekomendacijų sistema (ринкові індикатори та індексація вартості). Vilnius: Sistela Ltd., 2017–2024.

References

1. Bezuhlyi, A., Bazyliuk, A., & Komar, V. (2025). Teoretychna kontseptualizatsiia vyznachennia vartosti investytsiinoho proiektu z vidnovlennia infrastruktury na osnovi potreb steikkholderiv [Theoretical conceptualization of determining the cost of an infrastructure restoration investment project based on stakeholder needs]. *Ekonomika ta suspilstvo* [Economics and Society]. (77). DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-77-100> [in Ukrainian].

2. Marusheva, O. (2019). Tendentsii normatyvno-pravovoho rehuliuвання sotsialno-ekonomichnykh vidnosyn u budivnytstvi v krainakh rozvynenoi demokratii [Trends of regulatory framework governing socio-economic relations in construction in developed democracies]. *Aktualni problemy derzhavnoho upravlinnia* [Current Problems of Public Administration]. 1(55). P. 63–68 [in Ukrainian].

3. Parkhomenko, L. M. (2024). Yevropeiskyi dosvid zdiisnennia publichnykh zakupivel inzhynirnykhovykh ta konsaltnykhovykh posluh u budivnytstvi yak osnovnyi element udoskonalennia natsionalnoho zakonodavstva [European experience of public procurement of engineering and consulting services in construction as a key element of improving national legislation]. *Investytsii: praktyka ta dosvid* [Investments: Practice and Experience]. (12). P. 241–246. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2024.12.241> [in Ukrainian].

4. Nepomniashchyi, O. M., Prav, Yu. H., & Parkhomenko, L. M. (2023). Dohovir inzhynirnyhu: mizhnarodnyi dosvid u konteksti publichnykh zakupivel [Engineering contract: international experience in the context of public procurement]. *Naukovi innovatsii ta peredovi tekhnolohii* [Scientific Innovations and Advanced Technologies]. 5(19). P. 208–217. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-5\(19\)-247-255](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-5(19)-247-255) [in Ukrainian].

5. Zeltser, R. Ya., Bieliukova, O. Yu., Novak, Ye. V., & Dubinin, D. V. (2019). Tsyfrova transformatsiia protsesiv resursno-lohistychnogo ta orhanizatsiino-strukturnoho zabezpechennia budivnytstva [Digital transformation of resource-logistic and organizational-structural support of construction]. *Nauka ta innovatsii* [Science and Innovation]. 5. P. 34–38. DOI: <https://doi.org/10.15407/scine15.05.038> [in Ukrainian].

6. Bieliukova, O., & Koval, O. (2024). Tsilovi priorytety ta formalizovani pokaznyky realizatsii kontseptsii zhyttievoho tsykladu budivnykh ob'ektiv pid chas proiektynoho finansuvannia proham onovlennia zhytla [Target priorities and formalized indicators of implementing the life-cycle concept of buildings in project financing of housing renewal programs]. *Budivne vyrobnytstvo* [Construction Production]. (78). P. 117–124. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.78.117-124> [in Ukrainian].

7. Bieliukova, O., Koval, O., Bozhynskyi, M., Shcherbak, I., & Ben, O. (2024). Modeli i metody otsiniuvannia prostorovykh parametriv investytsiinykh proektiv i proham rekonstruktsii mist [Models and methods for evaluating spatial parameters of investment projects and urban reconstruction programs]. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva* [Ways to Improve Construction Efficiency]. 2(54). P. 380–394. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(2\).380-394](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(2).380-394) [in Ukrainian].

8. Tsyfra, T. Yu. (2025). Trendy kontraktiv FIDIC u vidnovliuvannii enerhetytsi ta yikhonii zviazok iz investytsiiny mproektuvanniam, budivnytstvom i rekonstruktsiieiu na mistsevomu rivni [Trends of FIDIC contracts in renewable energy and their link with investment design, construction, and reconstruction at the local level]. *Tsyfrova ekonomika ta ekonomichna bezpeka* [Digital Economy and Economic Security]. P. 259–264. DOI: <https://doi.org/10.32782/dees.16-39> [in Ukrainian].

9. Sorokina, L., Tsyfra, T., & Vahovich, I. (2024). Modeling the level of implementation of BIM by enterprises as a means of optimizing the cost. In: Semenov, A., Yepifanova, I., & Kajanová, J. (Eds.),

Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol. 195. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-54012-7_12 [in English].

10. ISO (2017). ISO 15686-5 Service Life Planning – Part 5: Life-Cycle Costing (LCC). International Organization for Standardization [in English].

11. EU Directive 2014/24/EU (2014). Directive of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on public procurement [in English].

12. FIDIC (2017). FIDIC Conditions of Contract for Construction (Red Book); FIDIC Conditions of Contract for Plant and Design-Build (Yellow Book). International Federation of Consulting Engineers.

13. Lithuanian Building Norms (2017). STR 1.04.04:2017 «Statybos sąmatų skaičiavimas». Vilnius: Ministry of Environment of the Republic of Lithuania [in English].

14. Cabinet of Ministers of Ukraine (2025). Postanova KMU №1512 vid 19.11.2025 «Deiaki osoblyvosti vyznachennia vartosti budivnytstva v umovakh voiennoho stanu». [Resolution on the specifics of determining construction cost under martial law] [in Ukrainian].

15. KNUBA / MinRegion (2021–2024). KNU «Nastanova z vyznachennia vartosti budivnytstva». Zminy 1–5. https://e-construction.gov.ua/laws_detail/2699601180912256347?doc_type=6 [in Ukrainian].

16. Sistela (2017–2024). Sistela: Lithuanian Price Index and Market Recommendation System. Vilnius: Sistela Ltd [in English].

Tetiana Tsyfra¹, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-7891-0467>

Olga Denysiuk², Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-5294-4933>

Nazarii Kaskiv¹, <https://orcid.org/0009-0003-6118-2709>

Oleksandra Yurchuk¹, <https://orcid.org/0009-0007-6398-0121>

¹Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUBA), Kyiv, Ukraine

²Separate structural unit «Institute of Innovative Education of the Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture», Kyiv, Ukraine

COST MANAGEMENT OF INVESTMENT CONSTRUCTION PROJECTS OF INFRASTRUCTURE, PUBLIC AND RELIGIOUS FACILITIES BASED ON THE LIFE CYCLE: EXPERIENCE OF THE EU AND UKRAINE

Abstract

The article examines modern approaches to determining the expected cost of construction works and mechanisms for changing the procurement contract in EU countries using the example of Lithuania. An algorithm for an integrated construction cost management model is proposed, combining life cycle approaches (LCC), public procurement and contract management. The model is tested on examples of reconstruction of residential, religious and infrastructure facilities in Ukraine. It is proven that the application of the model allows reducing cost overruns by 20 – 25 % and increasing the transparency of the implementation of investment projects.

Introduction. War, destruction of construction sites and the urgent need to rebuild public, residential, religious and infrastructure facilities in Ukraine require the introduction of modern construction cost management tools. Limited budget resources, donor programs and the need to ensure a high level of transparency determine the relevance of finding effective mechanisms for forming the expected cost of procurement and controlling costs at all stages of the project life cycle.

Problems. In the practice of the EU, in particular Lithuania, a multi-level cost management system is in place, based on Directive 2014/24/EU, standards for estimating, the use of market price registers (Sistela) and standardized procedures for amending contracts. In contrast, in Ukraine, the cost-normative

approach has traditionally dominated, although the KNU «Guidelines for Determining the Cost of Construction» (with amendments 1–5) and the CMU Resolution No. 1512 indicate a gradual transition to a hybrid regulatory-market model. The problem lies in the lack of a comprehensive scientifically based model that would integrate modern tools for planning, forecasting and controlling the cost of construction in the context of reconstruction and restoration.

The aim of the study is to develop an integrated model for managing the cost of construction in the context of reconstruction and restoration of public, religious and infrastructure facilities, taking into account best European practices and the possibilities of their implementation in Ukraine.

The materials and methods of the study are aimed at substantiating an integrated model of construction cost management in the context of reconstruction and restoration, as well as at a comparative analysis of Ukrainian and European practices. The methodological apparatus is built on regulatory documents, economic models, digital tools and empirical examples of real projects.

Results. As a result of the study, an integrated model of construction cost management was developed, which combines the life cycle approach (LCC), public procurement mechanisms, contract change control tools and multi-level cost verification. Testing the model on examples of reconstruction of residential, religious and infrastructure facilities in Ukraine demonstrated its effectiveness: cost overruns were reduced from 30 % to 8 %, the risk level was approximately 80%, and cost savings amounted to 20 – 25 % of the total project budget. It is confirmed that the use of MCI, MLCVM and DBPM models ensures transparency of cost formation, increases the accuracy of cost calculations and allows harmonizing Ukrainian practices with European standards.

Conclusions. Based on a comparative analysis of Ukraine and Lithuania, the possibilities of adapting European practices were analyzed. The developed structure of the integrated cost management model combines LCC, market indicators and change control mechanisms that meet European standards. The model testing confirmed its effectiveness: cost overruns were reduced by 20 – 25 %, and risks by ≈ 80 %. The model ensures increased transparency and reliability of cost formation in reconstruction and restoration conditions. It is recommended to implement the model in public procurement and reconstruction projects during the reconstruction of residential, religious and infrastructure facilities to harmonize with EU practices.

Keywords: life cycle, reconstruction, restoration, public buildings, religious buildings and structures, infrastructure facilities, public procurement, investment design, evaluation of investment projects, regulatory and legal support, pricing in construction.

УДК 658.5:005.96:502.131

Гець І. М., <https://orcid.org/0009-0002-0863-0157>Галак І. І., <https://orcid.org/0000-0002-5038-7771>Халацька І. І., <https://orcid.org/0000-0002-0896-3421>

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

ФОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКА СТАЛОСТІ ЛОГІСТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЯК ОСНОВА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ В МЕЖАХ ЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ

Анотація

Вступ. У сучасних умовах трансформації економіки та посилення глобальних викликів питання забезпечення сталого розвитку набуває особливої актуальності. Логістика як одна з ключових сфер економічної діяльності відіграє визначальну роль у формуванні ефективних потокових процесів і безпосередньо впливає на економічні, екологічні та соціальні результати функціонування систем різного рівня. З огляду на це інтеграція принципів сталого розвитку в логістичну діяльність стає необхідною передумовою формування збалансованих економічних систем.

Проблематика. Попри наявність міжнародних індикаторів оцінювання сталого розвитку логістики, наявні підходи переважно зосереджуються на визначенні загального рівня розвитку галузі та не враховують ступінь гармонійності між економічним, екологічним і соціальним складниками. Така ситуація ускладнює об'єктивну оцінку сталості логістичних систем, оскільки високі інтегральні показники можуть приховувати суттєві структурні дисбаланси. Водночас на мікрорівні відсутня універсальна методика комплексного вимірювання сталості діяльності логістичних провайдерів і ланцюгів постачань.

Мета. Метою дослідження є формування комплексної методики визначення показників сталості логістичної діяльності на макро- та мікрорівнях з урахуванням принципу гармонійного поєднання економічного, екологічного і соціального векторів розвитку.

Матеріали та методи. В ході дослідження використано аналіз наукових підходів до трактування сталого розвитку та структурування логістичних систем, а також методи порівняльного аналізу й узагальнення. За основу макрорівневої оцінки взято індекс UNCTAD SFT, який доповнено розрахунком коефіцієнта нерівномірності на базі індексу Джині для визначення гармонійності складників. Для мікрорівня запропоновано систему показників за підсистемами логістичної системи з подальшим їх нормуванням, агрегуванням і інтеграцією в узагальнений показник сталості.

Результати. У результаті дослідження запропоновано вдосконалений підхід до оцінювання сталості логістики на рівні держав шляхом коригування інтегрального індексу з урахуванням рівномірності розвитку його складників. Проведені розрахунки продемонстрували наявність структурних дисбалансів навіть за відносно високих загальних показників. Також розроблено універсальну методику визначення інтегрованого показника сталості логістичної діяльності для логістичних провайдерів і ланцюгів постачань, що враховує специфіку їх підсистем та триєдину природу сталого розвитку.

Висновки. Запропонований підхід дозволяє комплексно оцінювати сталість логістичних систем, виявляти дисбаланси між ключовими векторами розвитку та формувати обґрунтовані управлінські рішення. Методика є гнучкою та адаптивною до різних об'єктів дослідження й може бути використана як інструмент підвищення ефективності реалізації принципів сталого розвитку в логістичній діяльності.

Ключові слова: індекс Джині, індекс SFT, інтегрований показник сталості, логістична система, логістичний ланцюг, логістичний провайдер, макрорівень, мікрорівень, стала логістика.

Вступ

В умовах динамічного розвитку суспільства та його діяльності постає проблема забезпечення сталості цього розвитку з метою подальшого безтурботного існування наступних поколінь. Однією з основних сфер сучасної економіки є логістика яка формує та забезпечує рух матеріальних та супутніх їм потоків в межах економічної системи. Тому забезпечення сталості логістичної діяльності є основоположним чинником побудови сталої економічної системи як на макро-, так і на мікрорівнях. Задля підтвердження даного твердження можна розглянути логістику і сталий розвиток як взаємодоповнюючі концепції на прикладі досягнення цілей сталого розвитку шляхом використання логістичних підходів та впливу цих цілей на організацію сучасної логістичної діяльності. Відповідно до Резолюції, прийнятої Генеральною Асамблеєю ООН 25 вересня 2015 року [1], визначено 17 Цілей сталого розвитку та 169 відповідних їм завдань. Серед них, наприклад, можна навести Ціль 8, зокрема Завдання 8.2 «Домогтися підвищення продуктивності в економіці шляхом диверсифікації, технічної модернізації та інноваційної діяльності, зокрема приділяючи особливу увагу секторам з високою доданою вартістю і працемістким секторам» [1], адже діяльність логістичних провайдерів часто пов'язана з наданням послуг доданої вартості, що аргументує використання логістики для виконання даного завдання, також інноваційна діяльність може залучати використання логістичного підходу в галузях економіки для підвищення її ефективності. У той же час ця ціль, що сформована як «Сприяння безперервному, всеохопному та сталому економічному зростанню, повній і продуктивній зайнятості та гідній праці для всіх» [1], впливає на організацію виробництва таким чином, щоб забезпечувалась гідна та ефективна праця, а також раціональне використання трудових ресурсів у межах виробничого складника логістичної системи. До того ж концепції «логістики» та «сталого розвитку» демонструють взаємозв'язок навіть на рівні принципів. Наприклад, четвертий принцип сталого розвитку, описаний Зубенко В. В. наступним чином: «Необхідно погодити стан життя тих, хто користується надмірними засобами (грошовими та матеріальними), з ресурсними можливостями економіки, зокрема відносно використання енергоносіїв» [2] напряду відповідає принципу оптимальності, який Дудар Т. Г. визначає одним з основних в логістиці, даний принцип, як зазначає автор полягає в досягненні такої узгодженості стадій процесу руху товару і дій учасників, при якій забезпечується найбільша ефективність функціонування підприємства як цілісної виробничо-збутової системи [3]. Можна зазначити, що обидва підходи базуються на ідеї раціонального використання ресурсів через узгодженість дій та баланс між потребами і можливостями, що робить логістичну оптимальність практичним інструментом реалізації принципів сталого розвитку. Внаслідок такого тісного взаємозв'язку утворилася об'єднана концепція — концепція сталої логістики (**рис. 1**). Виходячи з тверджень Саєнус М. А. [4], вона полягає в реалізації логістичних функцій з врахуванням вимог сталого розвитку та є інструментом його реалізації.

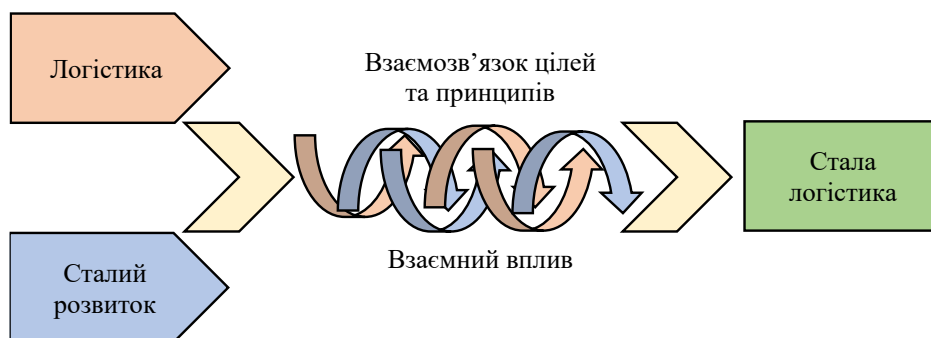


Рисунок 1 — Формування концепції «сталого логістики» внаслідок взаємодії концепцій «класичної логістики» та «сталого розвитку»

Відповідно, задля аналізу поточного стану, визначення проблемних аспектів та формування основи для прийняття необхідних рішень важливо сформулювати ефективну методику вимірювання сталості логістичної діяльності на різних рівнях логістичної системи як складника відповідної економічної. До того ж наявність такого показника на макrorівні дозволить визначити можливості подальшого впровадження й масштабування сталого розвитку в економіці країн шляхом впливу на нього логістики, як одного з визначальних чинників, а на мікрорівні дозволить об'єктивно оцінювати звітність логістичних підприємств / провайдерів щодо відповідності вимогам реалізації стратегії сталого розвитку.

Мета й завдання роботи полягають у формуванні методики визначення показників сталості логістичної діяльності що б враховувала основні положення концепції сталого розвитку на рівні як макросистем, зокрема держав, так і мікросистем, таких як логістичні провайдери.

Основна частина

Перш за все слід зазначити, що показник сталості логістики має базуватися на принципі гармонічного поєднання економічного, екологічного і соціального векторів сталого розвитку, Куспляк Г. І. та Куспляк І. С. зазначають, що сталий розвиток вимагає взаємозалежності між трьома векторами (економічний, екологічний, соціальний) [5].

У контексті визначення показника сталості на рівні країн слід розглянути наявний показник UNCTAD SFT індекс, що вимірює та візуалізує результати діяльності країн у сфері сталого вантажного транспорту (SFT) у міжнародно порівнянному форматі, охоплюючи близько 160 економік. Узгоджений із рамковою концепцією SFT UNCTAD, індекс включає загальний бал, бали за трьома складниками сталого вантажного транспорту (економічний, соціальний та екологічний показники), а також бали за окремими категоріями SFT (наприклад, інфраструктура, безпека тощо). Ці показники дають уявлення про відносну позицію економіки у світовому рейтингу ефективності сталого вантажного транспорту. Значення 0 означає, що економіка має найгірші показники у світі за всіма базовими індикаторами SFT, тоді як значення 100 свідчить про найкращі результати у світі за всіма показниками [6].

Потрібно зазначити, що UNCTAD SFT індекс хоча й характеризує рівень розвитку логістичної галузі за допомогою інтеграції кількісних показників трьох векторів, однак не надає повної характеристики її сталості, адже не показує відхилення рівня розвитку цих трьох векторів один відносно одного. Тобто під дією ефекту масштабу розрив між ними буде тільки збільшуватись, що порушує основний принцип сталого розвитку — гармонічне поєднання економічного, соціального й екологічного векторів. Тому в межах дослідження пропонується вдосконалити його шляхом розрахунку показника відхилення показників трьох інтерфейсів сталого розвитку в логістиці один відносно одного для оцінки сталості логістичної галузі на рівні країн.

Для прикладу пропонується розглянути показники двох країн із схожим рівнем економічного розвитку, а саме України і Румунії, SFT індекс для них становить 52,02 та 67,47 відповідно. Структура сталого розвитку логістики наведених країн наведено на **рис. 2**.



Рисунок 2 — Структура сталого розвитку логістики України та Румунії по векторам

На основі графічного відображення можна помітити, що в кожній країні існує більш або менш значна нерівномірність у структурних компонентах SFT індексу попри певний рівень сталого розвитку, його не можна назвати сталим внаслідок не відповідності основного принципу — гармонічному поєднанню економічного, соціального й екологічного векторів. На основі цього для відображення сталості логістики наведених країн потрібно вирахувати міру нерівномірності між цими векторами. Для чого найкраще підходить розрахунок на основі індексу Джині, що вираховує міру невідповідності значень одне одному, варіюється даний коефіцієнт від 0 до 1, де 0 — всі значення рівні, а 1 — максимальна нерівність значень. Визначається індекс Джині за наступною формулою:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |n_i - n_j|}{2n^2 \bar{x}}, \quad (1)$$

де n_i and n_j — значення балу певного вектора SFT;
 n — кількість ознак, в нашому випадку — 3;
 $\bar{x}$ — значення індексу SFT.

На основі цього ми можемо сформувати показник відображення сталості розвитку логістики кожної країни, тобто рівномірності кожного вектора один відносно одного, його ми відобразимо його як S_{logistic} , та розрахуємо наступним чином:

$$S_{\text{logistic}} = (1 - G). \quad (2)$$

Враховуючи цей показник ми можемо скоригувати індекс SFT на його сталість, представимо його як SFT^* та розрахуємо наступним чином:

$$SFT^* = SFT \cdot S_{\text{logistic}}. \quad (3)$$

Розрахувавши дані показники, отримано результати: Для України $S_{\text{logistic}} = 0,8855$ та $SFT^* = 46,06$, а для Румунії 0,8652 та 58,38 відповідно. Таким чином, Румунія демонструє вищий рівень сталого розвитку логістики за абсолютними показниками, однак Україна має трохи більш вирівняну структуру складників. Водночас жодна з країн не досягла повної гармонійності між економічним, соціальним та екологічним векторами, що вказує на наявність структурних дисбалансів і необхідність подальшої оптимізації логістичних систем з позицій комплексної сталості.

Слід зазначити, що запропоноване вдосконалення індексу UNCTAD SFT шляхом доповнення його показником нерівномірності на основі індексу Джині дозволяє оцінити не лише рівень розвитку логістики, а й ступінь гармонійності між економічним, соціальним та екологічним складниками. Коригований показник SFT^* більш повно відображає реальну сталість логістичної системи країни, враховуючи структурні дисбаланси. Тож можна зазначити, що удосконалений підхід забезпечує більш об'єктивну та методично обґрунтовану оцінку сталості логістики на макрорівні.

Надалі пропонується методика розрахунку на мікрорівні. Мікрорівнем логістичної системи, як складника економічної, може виступати як певний логістичний ланцюг у складі життєвого циклу певної продукції, так і окреме підприємство / провайдер. За визначенням Заборської Н. К., логістичний ланцюг — це лінійно впорядкована множина учасників логістичного процесу, які здійснюють логістичні операції із доведення зовнішнього матеріального потоку від однієї логістичної системи до іншої за умови виробничого споживання або до кінцевого споживача за умови особистого невиробничого споживання [7]. Логістичні ланцюги проходять в межах логістичних систем та їх підсистем. У попередніх дослідженнях [8] визначено, що логістичні операції в межах кожної підсистеми можуть здійснюватися як одним, так і кількома учасниками логістичного ланцюга або спеціалізованими логістичними провайдерами. Водночас один учасник

чи провайдер здатний виконувати операції, що належать до різних підсистем, а окремі структурні підрозділи однієї компанії можуть бути залучені до різних підсистем. Оксенюк К. І. наводить, що логістичний провайдер — це компанія або організація, яка спеціалізується на наданні послуг з управління ланцюгом постачання, забезпечуючи ефективне та безперервне транспортування товарів, зберігання, оброблення замовлень та інші логістичні функції [9]. Засновуючись на цих твердженнях можна прийти до висновку, що для формування показника сталості на мікрорівні потрібно брати за основу структуру логістичної системи певного ланцюга постачань або ж які підсистеми охоплює та в межах яких виконує логістичні функції певне підприємство / провайдер в межах своєї операційної діяльності.

У літературі є декілька підходів до розподілу логістичної системи. Васильєв О. Л. виділяє наступні основні підсистеми логістичної системи: транспортна, складська, управління запасами, інформаційна, логістичного обслуговування, логістичного менеджменту [10]. У той же час Кальченко А. Г. поділяє підсистеми на функціональні (закупівельна, виробнича, розподільча, логістична (складська)), а інші відносить до допоміжних, також їх можна назвати обслуговуючими [11]. Можна зазначити, що підхід описаний Васильєвим О. Л. більш доцільно використовувати при формуванні показника для певного підприємства / провайдера, оскільки структура наведена автором характеризує функції які може виконувати таке підприємство / провайдер. А підхід описаний Кальченко А. Г. більш доречно застосовувати при формуванні показника для логістичного ланцюга певної продукції, оскільки дана структура ґрунтується на стани в яких перебуває матеріальний потік в межах логістичного ланцюга. Також потрібно зазначити, що в дану структуру в контексті сталого розвитку доречно додати ще одну функціональну підсистему, а саме реверсивну, що описано в роботі [8].

Ураховуючи вищенаведену інформацію пропонується орієнтовний перелік показників для кожного структурного складника логістичної системи певного підприємства / провайдера (табл. 1) логістичного ланцюга певної продукції (табл. 2) для визначення інтегрованого показника їх сталості з урахуванням трьох векторів.

Таблиця 1

Орієнтовний перелік показників для визначення показника сталості діяльності логістичного провайдера

Підсистема	Економічні показники	Екологічні показники	Соціальні показники
Транспортна	Собівартість перевезень; коефіцієнт використання пробігу; рентабельність	Викиди вуглецю; частка транспорту на альтернативному паливі; вік автопарку	Кількість ДТП; рівень травматизму водіїв
Складська	Дохід на площу складу; витрати на зберігання; оборотність запасів	Споживання енергії; частка відновлюваної енергії	Рівень травматизму; середня тривалість навчання
Управління запасами	Точність прогнозування; дефіцит; оборотність запасів	Частка списаних запасів; зменшення надлишкових запасів	Рівень виконання замовлень без дефіциту
Інформаційна	Частка автоматизованих процесів; витрати на ІТ; час обробки замовлення	Частка електронного документообігу	Частка персоналу, що пройшла ІТ-навчання
Логістичного обслуговування	Рівень сервісу; кількість рекламаций; середній час реагування	Частка екологічного пакування; зменшення порожніх пробігів	Рівень задоволеності клієнтів

Таблиця 2

Орієнтовний перелік показників для визначення показника сталості логістичного ланцюга певного товару

Підсистема	Економічні показники	Екологічні показники	Соціальні показники
Логістичного менеджменту	Рентабельність; продуктивність праці; адміністративні витрати	Рівень досягнення екологічних цілей	Плинність кадрів; компетентність працівників
Закупівельна	Середня ціна закупівлі; частка логістичних витрат у закупівлях; своєчасність постачання	Вуглецевий слід закупівель; частка сертифікованої сировини; частка локальних постачальників	Частка постачальників, що відповідають кодексу етики; середній термін співпраці
Виробнича	Собівартість продукції; продуктивність праці; рівень браку	Енергоємність виробництва; викиди вуглецю; частка утилізованих відходів	Рівень травматизму; витрати на навчання
Розподільча	Загальні витрати на розподіл; витрати на транспортування; рівень виконання замовлень; середній час циклу замовлення	Викиди вуглецю; споживання енергії розподільчими складами; частка екологічного пакування; коефіцієнт завантаження транспорту	Рівень задоволеності споживачів; кількість пошкоджень продукції
Складська	Витрати на зберігання; оборотність запасів; рівень втрат при зберіганні	Споживання енергії; частка переробленої упаковки; обсяг відходів	Рівень травматизму; середня кількість годин навчання
Реверсивна	Витрати на обробку повернень; частка повернутої продукції; частка повторного використання	Частка переробленої продукції; рівень зменшення відходів; обсяг повторно використаної упаковки	Кількість створених робочих місць; рівень участі споживачів у програмах повернення
Обслуговуюча	Частка витрат на управління та ІТ у загальних логістичних витратах; рівень виконання SLA; рентабельність логістичного ланцюга	Частка електронного документообігу; наявність ESG-звітності;	Рівень задоволеності персоналу; плинність кадрів; кількість годин підвищення кваліфікації

Важливо зазначити, що перелік показників може варіюватися і доповнюватися залежно від специфікації, наявності даних та особливостей об'єкта дослідження.

Наступним етапом пропонується інтеграція наведених показників, для чого спочатку їх треба привести до співмірних значень, для цього пропонується кожен показник привести до бальної оцінки, що визначається шляхом відношення наявного показника до середньоринкового або ж встановленого певним стандартом за його наявності. Обчислення балу виглядає наступним чином:

$$a_{бал} = \frac{a_i}{\bar{a}}, \quad (4)$$

де a_i — значення показника;

$\bar{a}$ — середньоринкове значення показника або ж значення встановлене певним стандартом за його наявності.

Важливо зазначити, що така методика підходить для приведення показників що характеризують позитивні явища, такі як рівень прибутку або задоволеності споживачів, при приведенні показників негативних явищ, таких як рівень викидів, відношення необхідно зробити оберненим. Надалі необхідно узагальнити значення за кожним вектором сталого розвитку в межах кожної окремої підсистеми задля відображення структури сталості досліджуваного об'єкта, що визначають як середнє арифметичне балів визначених раніше, обчислення бала окремої підсистеми за кожним вектором виконують за формулою:

$$e_i = \frac{\sum a_{\sigma_{al}}}{n}, \quad (5)$$

де n — кількість показників в межах певного вектора певної підсистеми.

Надалі таким же способом потрібно визначити бал певного вектора в межах системи загалом, дане вираження виглядає наступним чином:

$$Bзаг_i = \frac{\sum e_i}{N}, \quad (6)$$

де N — кількість підсистем в межах логістичної системи ланцюга / провайдера.

Маючи розраховані значення можна визначити остаточне значення показника сталості на мікрорівні використовуючи методику описану в формулах (1) – (3), на основі результатів формули (5) для визначення показника сталості окремої підсистеми або значення результатів формули (6) для визначення показника сталості логістичної системи певного ланцюга або провайдера загалом.

Слід зазначити, що запропонована методика дозволяє сформувати інтегрований показник сталості логістики на мікрорівні (для ланцюга або провайдера) на основі структури логістичної системи та трьох векторів сталого розвитку. Вона передбачає нормування показників, їх агрегування за підсистемами й векторами та подальше врахування рівномірності розвитку складників. Такий підхід є гнучким, адаптивним до специфіки об'єкта та забезпечує комплексну і методично обґрунтовану оцінку сталості діяльності.

Висновки

У результаті проведеного дослідження доведено, що логістика та сталий розвиток є взаємодоповнюючими концепціями, а їх поєднання формує основу сучасного підходу до управління економічними системами на макро- та мікрорівнях. Логістика виступає не лише інструментом забезпечення руху матеріальних і супутніх потоків, а й дієвим механізмом досягнення Цілей сталого розвитку, зокрема через підвищення продуктивності, раціональне використання ресурсів, впровадження інновацій та забезпечення гідних умов праці. Водночас самі цілі сталого розвитку визначають нові вимоги до організації логістичної діяльності, орієнтуючи її на гармонійне поєднання економічних, екологічних і соціальних результатів.

Обґрунтовано, що наявні підходи до оцінювання сталості логістики на макрорівні, зокрема індекс UNCTAD SFT, дозволяють визначити рівень сталого розвитку, однак не відображають ступінь збалансованості між його складниками. З огляду на це запропоновано вдосконалення методики шляхом доповнення інтегрального показника розрахунком коефіцієнта нерівномірності на основі індексу Джині, що дає можливість оцінити гармонійність поєднання економічного, соціального та екологічного векторів. Запровадження скоригованого показника SFT* забезпечує більш об'єктивну характеристику сталості логістики на рівні держави, враховуючи структурні дисбаланси. Проведені розрахунки на прикладі України та

Румунії підтвердили доцільність такого підходу та продемонстрували, що навіть за відносно високих інтегральних значень можливі суттєві відхилення між складниками, які потребують управлінського втручання.

На мікрорівні розроблено методику формування інтегрованого показника сталості логістичної діяльності для логістичних провайдерів або окремих логістичних ланцюгів. В її основу покладено структурний підхід до побудови логістичної системи та принцип триєдності економічного, екологічного й соціального вимірів. Запропоновано систему орієнтовних показників для різних підсистем, механізм їх нормування та агрегування, а також врахування рівномірності розвитку складників за аналогією з макrorівнем. Такий підхід дозволяє комплексно оцінювати сталість діяльності, враховувати специфіку об'єкта дослідження, адаптувати перелік індикаторів до наявних даних і формувати інформаційну базу для прийняття стратегічних управлінських рішень.

Отже, запропонована методика забезпечує системне та методично обґрунтоване вимірювання сталості логістики як на рівні країни, так і на рівні окремих суб'єктів господарювання або ланцюгів постачань. Вона сприяє виявленню структурних дисбалансів, формуванню напрямів оптимізації логістичних систем та підвищенню їх ролі у досягненні цілей сталого розвитку в сучасних економічних умовах.

Список літератури

1. Резолюція, прийнята Генеральною Асамблеєю ООН 25 вересня 2015 року. Порядок денний у сфері сталого розвитку до 2030 року. URL: <http://surl.li/djxrwo>.
2. Зубенко В. В. Сучасне середовище економічної концепції сталого розвитку. *Ефективна економіка*. 2012. № 10.
3. Дудар Т. Г., Волошин Р. В. Основи логістики : навч. посіб. К. : ЦУЛ, 2012. 202 с.
4. Саєнсус М.А. Логістика як складник стратегії сталого розвитку. *Економіка і суспільство*. Випуск #17 / 2018. С. 46–52. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2018-17-7>.
5. Куспляк Г. І., Куспляк І. С. Сталий розвиток: етапи становлення, сутність поняття, основні вектори та інтерфейси. *Державне будівництво*. № 1/2020. С. 11–13. DOI: <https://doi.org/10.34213/db.20.01.08>.
6. United Nations. Sustainable Freight Transport. URL: <https://sft-framework.unctad.org/about-sft-index>.
7. Заборська Н. К., Жуковська Л. Е. Основи логістики : навч. посіб.. Одеса : ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2011.
8. Гець І. М., Галак І. І. Удосконалення моделей матеріального потоку як основа логістичних ланцюгів циркулярної економіки в умовах динамічного ринкового середовища. *Дороги і мости*. 2025. Вип. 32. С. 49–57. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2025.32.049>.
9. Оксенюк К. І. Вплив логістичних провайдерів на розвиток регіональної економіки. *Економічні науки* : зб. наук. праць ЛНТУ. Серія «Регіональна економіка». 2024. Вип. 21. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-68-146>.
10. Васильєв О. Л. Проектування логістичних систем : конспект лекцій. Харків : УкрДУЗТ, 2019. 34 с.
11. Кальченко А. Г. Логістика : підручник. К. : КНЕУ, 2003. 284 с.

References

1. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. Transforming our world : the 2030 Agenda for Sustainable Development. URL: <http://surl.li/djxrwo> (Last accessed: 15.02.2026) [in Ukrainian].

2. Zubenko V. V. Modern environment of the economic concept of sustainable development. *Effective Economy*. 2012. No. 10 [in Ukrainian].
3. Dudar T.H., Voloshyn R.V. Osnovy lohistyky (Basics of logistics) : Tutorial. Kyiv: TsUL, 2012. 202 p. [in Ukrainian].
4. Saiensus M.A. Lohistyka yak skladnyk stratehii staloho rozvytku (Logistics as a component of sustainable development strategy). *Ekonomika i suspilstvo*. 2018. Vol. 17. P. 46–52. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2018-17-7> [in Ukrainian].
5. Kuspliak H. I., Kuspliak I. S. Sustainable development: stages of formation, concept essence, main vectors and interfaces. *State Building*, No. 1/2020, P. 11–13. DOI: <https://doi.org/10.34213/db.20.01.08> [in Ukrainian].
6. United Nations. Sustainable Freight Transport. URL: <https://sft-framework.unctad.org/about-sft-index> (Last accessed: 15.02.2026) [in English].
7. Zaborska N.K., Zhukovska L.E. Osnovy lohistyky (Basics of logistics) : Tutorial. Odesa : ONAZ im. O.S. Popova, 2011 [in Ukrainian].
8. Ivan Hets, Iryna Halak. Improvement of material flow models as the basis of circular economy supply chains in a dynamic market environment. *Dorogi i mosti* [Roads and bridges]. 2025. Issue 32. P. 49–57. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2025.32.049> [in Ukrainian].
9. Okseniuk K. I. The influence of logistics providers on the development of regional economy. *Economic Sciences* : Collection of Scientific Works of LNTU. Series «Regional Economy». 2024. Issue 21. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-68-146> [in Ukrainian].
10. Vasyliov O.L. Proektuvannia lohistychnykh system (Design of logistics systems) : Lecture notes. Kharkiv : UkrDUZT, 2019. 34 p. [in Ukrainian].
11. Kalchenko A.G. Lohistyka (Logistics) : Textbook. Kyiv : KNEU, 2003. 284 p. [in Ukrainian].

Ivan Hets, <https://orcid.org/0009-0002-0863-0157>

Iryna Halak, <https://orcid.org/0000-0002-5038-7771>

Iлона Халатська, <https://orcid.org/0000-0002-0896-3421>

National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

FORMATION OF A SUSTAINABILITY INDICATOR OF LOGISTICS ACTIVITY AS A BASIS FOR ENSURING THE IMPLEMENTATION OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT CONCEPT WITHIN THE ECONOMIC SYSTEM

Abstract

Introduction. In the current conditions of economic transformation and the intensification of global challenges, the issue of ensuring sustainable development is becoming particularly relevant. Logistics, as one of the key spheres of economic activity, plays a decisive role in the formation of effective flow processes and directly influences the economic, environmental, and social outcomes of systems at various levels. In this regard, the integration of sustainable development principles into logistics activity becomes a necessary prerequisite for the formation of balanced economic systems.

Problem Statement. Despite the existence of international indicators for assessing logistics sustainability, existing approaches mainly focus on determining the overall level of industry development and do not consider the degree of harmony between the economic, environmental, and social components. This situation complicates the objective assessment of logistics system sustainability, as high aggregate

indicators may conceal significant structural imbalances. At the same time, at the micro-level, there is no universal methodology for comprehensively measuring the sustainability of logistics providers and supply chains.

Purpose. The objective of this study is to develop a comprehensive methodology for determining sustainability indicators of logistics activity at the macro- and micro-levels, taking into account the principle of harmonious combination of economic, environmental, and social development vectors.

Materials and Methods. The study applied an analysis of scientific approaches to the interpretation of sustainable development and the structuring of logistics systems, as well as methods of comparative analysis and generalization. For macro-level assessment, the UNCTAD SFT index was used as a basis, supplemented by the calculation of an inequality coefficient based on the Gini index to determine the harmony of components. For the micro-level, a system of indicators was proposed according to the subsystems of the logistics system, followed by normalization, aggregation, and integration into a generalized sustainability indicator.

Results. As a result of the study, an improved approach to assessing logistics sustainability at the national level was proposed by adjusting the aggregate index to account for the uniformity of component development. The calculations demonstrated the presence of structural imbalances even with relatively high overall indicators. Additionally, a universal methodology was developed for determining an integrated sustainability indicator of logistics activity for logistics providers and supply chains, taking into account the specifics of their subsystems and the triune nature of sustainable development.

Conclusions. The proposed approach allows for a comprehensive assessment of logistics system sustainability, identification of imbalances between key development vectors, and the formation of well-founded managerial decisions. The methodology is flexible and adaptable to different research objects and can be used as a tool to enhance the effectiveness of implementing sustainable development principles in logistics activity.

Keywords: Gini index, SFT index, sustainable logistics, logistics system, logistics provider, logistics chain, integrated sustainability indicator, macro-level, micro-level.

УДК 005.8

Беленкова О. Ю., д-р. екон. наук, професор, <https://orcid.org/0000-0002-1142-5237>Полтавець І. В., <https://orcid.org/0009-0008-9014-7845>*Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА), м. Київ, Україна*

ФОРМУВАННЯ ЕКОНОМІКО-ПРАВОВИХ МЕХАНІЗМІВ СУПРОВОДУ ПРОЄКТІВ ВІДНОВЛЕННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ

Анотація

Вступ. В умовах повоєнного відновлення цифровізація стає ключовим чинником ефективного управління інфраструктурними проєктами. Вона забезпечує нову якість даних, процедур і взаємодії між суб'єктами, формуючи передумови для підвищення прозорості та відповідальності у використанні публічних ресурсів.

Проблематика. Традиційні механізми економічного й правового супроводу проєктів виявляють обмежену здатність відповідати динаміці цифрового середовища, що породжує ризики неузгодженості процедур, фрагментації інформації та недостатнього контролю за реалізацією відбудовних ініціатив. Відсутність інтегрованих цифрових рішень ускладнює ефективний моніторинг, планування та правозастосування.

Мета. Метою статті є обґрунтування теоретичних засад і розроблення цілісного підходу до формування економіко-правових механізмів супроводу проєктів відновлення інфраструктури в умовах цифровізації з урахуванням сучасних технологічних можливостей і вимог правової визначеності.

Матеріали і методи. Дослідження спирається на нормативні акти, аналітичні звіти, цифрові моделі управління проєктами, а також застосовує методи функціонального аналізу, системного підходу, порівняльного правознавства, моделювання управлінських процесів і структурно-логічного узагальнення.

Результати. У роботі показано, що формування ефективних економіко-правових механізмів супроводу потребує переходу до інтегрованих цифрових платформ, що забезпечують інтероперабельність, прозорість та автоматизацію процедур. Визначено ключову роль електронних дозволів, цифрових реєстрів, ГІС-систем, BIM-моделювання, смарт-контрактів та алгоритмічних інструментів контролю. Доведено, що застосування аналітики та штучного інтелекту дає можливість здійснювати проактивний ризик-менеджмент та оптимізувати економічну ефективність відбудовних проєктів. Розкрито взаємозв'язок таких механізмів із системною цифровою трансформацією публічних закупівель.

Висновки. Цифровізація формує якісно нову модель супроводу інфраструктурних проєктів, у якій економічні та правові інструменти функціонують як єдиний комплекс стандартизованих, взаємопов'язаних і технологічно підтверджених процедур. Вона забезпечує підвищення прозорості, керованості та підзвітності відбудови, мінімізує корупційні ризики та зміцнює інвестиційну привабливість проєктів. Запропонований підхід сприяє формуванню стійкої цифрової інституційної архітектури, необхідної для ефективної реалізації довгострокових національних програм відновлення.

Ключові слова: будівництво, відбудова зруйнованих міст, громадські й релігійні будівлі, економічний і правовий супровід, економічні механізми, інвестиційний проєкт, інфраструктура, електронні реєстри, публічні закупівлі, реконструкція, реставрація зруйнованих об'єктів, смарт-контракти, цифровізація, управління проєктами.

Вступ

Масштабні руйнування об'єктів інфраструктури внаслідок збройної агресії проти України зумовили формування нового стратегічного напрямку державної політики — системного відновлення пошкоджених територій за принципами стійкості, інноваційності та ефективного управління ресурсами. Сучасний етап повоєнного відновлення потребує не лише технічного чи фінансового переосмислення підходів до реалізації відповідних проєктів, а й створення оновлених механізмів юридичного забезпечення, здатних гарантувати прозорість, узгодженість процедур, мінімізацію ризиків та прискорення реалізації відновлювальних ініціатив. У цьому контексті особливої значущості набувають інноваційні механізми правового супроводу проєктів, спрямованих на реконструкцію критичної, транспортної, соціальної та містобудівної інфраструктури.

Проєкти з відновлення інфраструктури мають підвищений рівень комплексності, оскільки перебувають на перетині правових, організаційних, технічних та управлінських аспектів. Вони реалізуються в умовах високої невизначеності, багатосторонньої взаємодії зацікавлених сторін, обмеженості ресурсів і дедалі більших соціальних очікувань. Традиційні правові процедури, орієнтовані переважно на регламентацію містобудівної діяльності у стабільних умовах, часто виявляються недостатньо адаптивними для потреб швидкого відновлення. Це створює необхідність розроблення інноваційних правових механізмів, інтегрованих з методологією управління проєктами та сучасними цифровими інструментами, зокрема геоінформаційними системами, електронними реєстрами та системами координації проєктних процесів.

У наукових дослідженнях останніх років активно аналізується проблематика правового забезпечення відновлення пошкодженої інфраструктури. Значний масив робіт присвячений формуванню нормативної бази, удосконаленню механізмів управління проєктами реконструкції, розвитку систем контролю та впровадженню інноваційних підходів до регулювання інфраструктурних процесів.

Однією з ключових тем у літературі є нормативно-правові механізми відбудови. У працях [1, 2, 5] докладно описано еволюцію українського законодавства 2022–2025 рр., особливо постанови КМУ та Закон №2923-IX, що регламентує компенсацію за пошкоджене майно, адміністративно-правові моделі регулювання реконструкції, включаючи питання контролю, планування та міжнародного досвіду [2], механізми державного й громадського нагляду за використанням ресурсів відбудови, акцентуючи на бюджетному аудиті, прозорості й цифровому моніторингу [5].

Суттєвий внесок у вивчення організаційних моделей відновлення критичної інфраструктури роблять дослідження, спрямовані на аналіз діяльності державних і місцевих інституцій, міжінституційної взаємодії та партнерства в реалізації проєктів реконструкції, а також роль проєктного підходу у впровадженні Програми відновлення [3], вдосконалення системи координації, а також стратегічного управління відновленням міст та критичної інфраструктури [4], інституційної спроможності, законодавчого закріплення статусу Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури, розмежування повноважень і впровадження електронного документообігу [6].

Окремий напрямок присвячений інструментам договірному забезпечення та державно-приватного партнерства. У працях [7, 19] аналізує застосування ЕРС-контрактів у транспортній інфраструктурі та проблеми адаптації FIDIC-проформ в українському правовому середовищі, питання техніко-правового структурування інфраструктурних проєктів, належного розподілу ризиків і вдосконалення механізмів контракування в складних проєктах розглядається у статті [8].

У роботі [9] пропонується трирівнева модель розвитку справедливої та стійкої інфраструктури, орієнтованої на інклюзивність, мінімізацію ризиків та інтеграцію нових політик у сфері відновлення. Міжнародне дослідження IFRC узагальнює глобальні правові стандарти відновлення після катастроф, розкриваючи принципи «build back better», роль правових механізмів стійкості та національних систем реагування [10]. Аналітичні матеріали [11, 12] систематизують ключові проблеми модернізації інфраструктури - від земельного регулювання й екологічних норм до ризик-менеджменту, цифровізації правових процедур та врегулювання спорів у процесі

реалізації проєктів [11, 12]. У ширшому нормативно-політичному контексті робота [13] наголошує на потребі ухвалення комплексного Закону про відбудову України, який би визначав концептуальні засади, принципи координації та єдині цифрові інструменти ведення проєктів.

Роботи [14-20] узагальнюють виклики, що стоять перед системою реконструкції, та пропонує інноваційні технології, модульні рішення, поглиблену цифровізацію та залучення міжнародних партнерів як ключові фактори успішного відновлення. Окремі аналітичні матеріали Київської школи економіки детально описують масштаби руйнувань та потреби у відновленні, що формує емпіричну базу для розробки правових і управлінських рішень [15].

Ступінь наукової розробленості теми свідчить про наявність значної кількості досліджень, присвячених проблемам правового забезпечення будівництва, управління проєктами міського розвитку, впровадженню інновацій у сферу публічного управління. Проте питання формування саме інноваційних юридичних механізмів, орієнтованих на проєкти відновлення пошкодженої інфраструктури, залишаються фрагментарно висвітленими. Недостатньо розробленими є моделі координації правових, управлінських і технічних процесів у таких проєктах; не узагальнено методичні принципи створення гнучких правових механізмів, здатних адаптуватися до швидкоплинного регуляторного та безпекового середовища; недостатньо інтегрована проєктно-орієнтована логіка у нормативно-правове забезпечення відновлення.

Актуальність дослідження посилюється потребами практики, оскільки ефективне та оперативне відновлення інфраструктури є одним із ключових факторів соціальної стабільності, регіонального розвитку та економічної стійкості України. Створення інноваційних юридичних механізмів дозволить підвищити ефективність проєктного управління, оптимізувати правові процедури, забезпечити їхню цифровізацію та відповідність міжнародним стандартам. Інтеграція підходів управління проєктами у сферу юридичного забезпечення створює передумови для підвищення прозорості, скорочення затримок у погоджувальних процесах, зменшення правових ризиків і забезпечення цілісності реалізації відновлювальних проєктів.

Метою статті є обґрунтування теоретико-методичних підходів до формування інноваційних механізмів економічного та юридичного забезпечення проєктів відновлення пошкодженої інфраструктури та визначення напрямів удосконалення правового супроводу в умовах застосування сучасних принципів управління проєктами.

Основна частина

Сучасні проблеми економічного та правового супроводу проєктів відновлення інфраструктури мають комплексний характер і зумовлені як масштабами руйнувань, так і швидкими змінами у регуляторному та фінансовому середовищі. Відновлення інфраструктури потребує значних інвестицій, чітких правил взаємодії між державою, приватним сектором і міжнародними партнерами, а також прозорих механізмів реалізації проєктів. Однак саме в цих сферах сьогодні спостерігається найбільша кількість викликів.

Економічні проблеми виникають насамперед через нестачу стабільних джерел фінансування та високий рівень невизначеності. Вартість відбудови часто суттєво коливається через інфляцію, подорожчання ресурсів, логістичні ризики та нестабільність ринку. Багато проєктів залежать від міжнародної допомоги, проте її надходження нерідко має політичні умови або складні процедури використання. Додатковим викликом є низька інвестиційна привабливість окремих територій, де оцінка ризиків є занадто високою для приватного капіталу. В таких умовах держава змушена шукати нові моделі державно-приватного партнерства, страхування ризиків та фінансових гарантій — але вони ще не достатньо розвинені або не адаптовані до масштабів відбудови.

Правові проблеми пов'язані з необхідністю швидкого й водночас якісного оновлення нормативної бази. Процедури погодження, землеустрою, нагляду і контролю часто залишаються тривалими, що гальмує реалізацію великих інфраструктурних проєктів. Іноді норми суперечать одна одній або не враховують нові технологічні підходи, наприклад цифрові моделі будівництва, електронні реєстри чи автоматизовані системи управління проєктами. До того ж у правовому полі

виникають питання прозорості закупівель, відповідальності підрядників, контролю якості робіт і захисту інвестицій — це критично важливо в умовах значних фінансових потоків.

Важливим блоком проблем є координація між різними суб'єктами: державними органами, місцевими громадами, міжнародними організаціями, банківськими установами, приватними підрядниками. Нерідко нормативи в одній галузі не узгоджуються з правилами в іншій, що створює бюрократичні затримки або правові колізії. Економічний супровід проєктів страждає також через нестачу аналітичних інструментів оцінки вартості, ефективності та ризиків, а правовий — через недостатній рівень правозастосування та слабкий контроль за виконанням норм на всіх етапах проєкту.

Не менш важливою проблемою є прозорість. Усі етапи відновлення — від планування до звітування — мають бути відкритими для суспільства й міжнародних партнерів. Проте на практиці доступ до даних часто є обмеженим або несистемним. Відсутність єдиних цифрових платформ, інтегрованих баз даних та електронних реєстрів ускладнює контроль і унеможливорює оперативну оцінку економічної доцільності та правомірності дій. Це створює передумови для корупційних ризиків, помилок і неефективного використання ресурсів.

Сучасні проблеми економічного і правового супроводу проєктів відновлення інфраструктури є наслідком поєднання об'єктивних викликів та недосконалості наявних інституційних механізмів. Для їх подолання необхідні системні реформи, цифровізація процесів, зміцнення правового поля, удосконалення моделей фінансування та створення ефективної системи управління проєктами, яка забезпечить прозорість, стабільність та відповідальність усіх учасників.

Формування економічних і правових механізмів супроводу проєктів відбудови в умовах цифровізації ґрунтується на комплексному поєднанні принципів прозорості, інтероперабельності, безпеки та відповідальності (**табл. 1**). Ці принципи забезпечують цілісність цифрової екосистеми управління інфраструктурними проєктами й визначають вимоги до організаційних, технічних та правових інструментів, що застосовуються на всіх етапах реалізації відбудовних процесів.

Важливою складовою методології є алгоритм створення правового механізму в цифровому середовищі, який передбачає послідовний аналіз чинної нормативної бази, моделювання процедур у цифровій формі, їх технічне кодування, інтеграцію із сервісами електронної взаємодії та постійний моніторинг функціонування правових норм у динаміці. Застосування цього алгоритму дозволяє створити регуляторні механізми, які не лише формально відповідають вимогам законодавства, а є також технічно здійсненними, внутрішньо узгодженими та стійкими до ризиків цифрового середовища.

Інструменти цифрової взаємодії — електронні кабінети, геоінформаційні системи, технології BIM та мережа цифрових реєстрів — формують інфраструктуру, у якій взаємодіють усі учасники проєкту. Наукове значення цих інструментів полягає у підвищенні рівня структурованості та верифікації даних, що забезпечує точність просторового планування, відповідність проєктних рішень нормативам і можливість автоматизованого контролю за їх виконанням. Такі технології створюють умови для синхронізації правових процедур із фактичним ходом будівельних та управлінських робіт.

Цифровізація містобудівних процедур ґрунтується на впровадженні правових інструментів, які встановлюють електронний формат рішень, уніфіковані цифрові моделі документів і механізми автоматизованої перевірки даних. Вони забезпечують не лише швидкість, а й підвищену об'єктивність процедур погодження, контролю та внесення змін. Особливу роль відіграють електронні дозволи та експертизи, які усувають необхідність паперового документообігу й мінімізують суб'єктивний вплив людського чинника.

Інноваційним елементом є застосування смарт-контрактів і цифрових моделей правовідносин. У науковому вимірі їх можна розглядати як нову форму правового регулювання, де норми права реалізуються автоматично через алгоритм, а відповідальність сторін стає частково «вбудованою» у технічний код. Це забезпечує точність виконання зобов'язань, фіксацію всіх змін і максимізує захист інтересів сторін у складних інфраструктурних проєктах.

Застосування аналітики й штучного інтелекту становить окремий напрям модернізації правового супроводу. Ці технології дозволяють виконувати поглиблений юридичний та економічний аналіз, прогнозувати ризики, виявляти аномалії в поведінці учасників, автоматизувати аудит та забезпечувати превентивний нагляд за проєктами відбудови. З наукового погляду, це свідчить про перехід від реактивного контролю до моделі проактивного регулювання, яка спирається на масиви даних та інтелектуальні алгоритми.

Таблиця 1

Формування економічних і правових механізмів супроводу проєктів відбудови

Компонент	Характеристика
Принципи побудови механізмів	Прозорість: забезпечення відкритості всіх процедур, доступність даних про контракти, фінансування та хід реалізації проєктів. Інтероперабельність: сумісність цифрових платформ, інтеграція державних реєстрів, ГІС та систем моніторингу. Безпека: захист даних, кіберстійкість, контроль доступу та цілісності інформації. Відповідальність: чіткий розподіл ролей між замовниками, виконавцями та органами контролю; автоматизоване відстеження відповідності вимогам.
Алгоритм створення правового механізму в цифровому середовищі	1. Аналіз нормативної бази та ідентифікація прогалів у регуляторному забезпеченні цифрових процедур. 2. Моделювання цифрового процесу — визначення необхідних дій, документів, реєстрів, алгоритмів перевірки. 3. Цифрове кодування процедур — створення технічних протоколів, електронних шаблонів, регламентів дій у системі. 4. Впровадження архітектури взаємодії суб'єктів через електронні кабінети та інтегровані сервіси. 5. Моніторинг і оновлення механізму на основі зворотного зв'язку, даних аналітики та технічних аудитів.
Інструменти цифрової взаємодії	Електронні кабінети: персоналізований доступ замовників, виконавців, експертів; подання документів, погоджень, звітів. Геоінформаційні системи (ГІС): просторове планування, моделювання інфраструктурних рішень, контроль територій. ВІМ-моделювання: цифрові моделі будівель / споруд, інтеграція проєктних, технічних і фінансових даних. Цифрові реєстри: дані про земельні ділянки, об'єкти нерухомості, дозволи, контракти, виконавців, бенефіціарів.
Правові інструменти цифровізації містобудівних процедур	Встановлення цифрових стандартів документації, електронний документообіг, уніфіковані електронні протоколи прийняття рішень, впровадження нормативних вимог щодо цифрових моделей об'єктів (ВІМ), використання цифрових кадастрів і реєстрів для автоматизованої перевірки даних.
Електронні дозволи, погодження та експертизи	Повністю електронний процес отримання містобудівних умов і обмежень, дозволів на будівництво, експертних висновків; автоматичні перевірки повноти документів; онлайн-трекінг статусу; інтеграція з ГІС і реєстрами для мінімізації ручних перевірок.
Смарт-контракти та цифрові моделі правовідносин	Автоматизовані юридично значущі дії, що виконують за наперед визначеними умовами; гарантія виконання зобов'язань; інтеграція платежів, контроль графіків робіт, прив'язка до реальних даних; застосування блокчейну для незмінності записів.
Використання аналітики та штучного інтелекту в правовому супроводі	Автоматичний аналіз ризиків, виявлення аномалій у тендерах і договорах; прогнозування вартості й строків проєктів; інтелектуальні підказки для учасників процедур; оцінка доброчесності контрагентів; моделювання правових наслідків рішень; підтримка аудиту та моніторингу.

У 2026 році система публічних закупівель суттєво модернізується з метою посилення прозорості процедур та підвищення рівня підзвітності органів влади й учасників ринку. У центрі реформ перебуває вдосконалення механізмів моніторингу й контролю, що дозволяє своєчасно виявляти ознаки порушень та підвищувати якість управління державними ресурсами. Запроваджене автоматизоване відображення ризикових індикаторів, а також розширення доступу органів контролю до інформації про приховані закупівлі й договори підсилюють інституційні можливості державного фінансового контролю та забезпечують глибшу аналітичну оцінку процесів закупівель.

Особливої уваги надано інтеграції з державними реєстрами. Автоматичне отримання даних про кінцевих бенефіціарних власників суб'єктів господарювання під час проведення конкурентних процедур сприяє зменшенню проявів недоброчесної поведінки та унеможливорює приховування потенційних конфліктів інтересів. Така інтеграція підвищує прозорість структури власності учасників та створює додаткові гарантії для захисту конкуренції.

Суттєвим напрямом розвитку системи є модернізація роботи з договорами. Впровадження можливості електронного підписання контрактів, автоматичне формування та оприлюднення графіків постачання і платежів, а також уточнення правових підстав для внесення змін до договорів формують цілісну й прозору договірну інфраструктуру. Внаслідок цього підвищується контроль за виконанням зобов'язань та зменшується простір для маніпуляцій із умовами контрактів після завершення тендерних процедур.

Важливою частиною трансформації є оновлення електронних каталогів, що використовуються для типових закупівель. Уточнення причин вибору переможців, удосконалення процедур розгляду звернень замовників і модернізація алгоритмів роботи з пропозиціями постачальників забезпечують більшу прогнозованість та відкритість таких закупівель, які становлять значну частину загального обсягу процедур у системі.

Паралельно триває адаптація нормативно-правової бази до європейських стандартів. Гармонізація законодавства, а також інтеграція правил міжнародних донорських організацій у загальну систему державних закупівель забезпечують уніфікованість процедур та зміцнюють довіру міжнародних партнерів. Завдяки цьому виникає можливість проводити закупівлі у сфері відбудови держави за єдиними прозорими правилами, що підсилює ефективність координації великих інфраструктурних проєктів.

Використання технологій штучного інтелекту й сучасної аналітики сприяє підвищенню якості доступу до інформації та оптимізує процеси взаємодії між замовниками та учасниками. Інтелектуальні інструменти дозволяють автоматизувати аналіз документації, мінімізувати типові помилки та підвищувати точність оцінювання пропозицій, що в комплексі створює умови для більш справедливого та змагального середовища в сфері закупівель.

Організаційна реформа, пов'язана зі зміною статусу адміністратора системи на нову юридичну форму зі збереженням державного контролю, має на меті посилення інституційної спроможності, підвищення управлінської гнучкості та створення передумов для подальшого технологічного розвитку системи. Це сприяє формуванню стійкої моделі адміністрування, здатної оперативно реагувати на виклики та потреби ринку.

Оновлення системи закупівель у 2026 році має комплексний характер і охоплює технологічні, організаційні та правові аспекти. Передбачені заходи спрямовані на підсилення прозорості всього циклу закупівель — від оголошення процедури до виконання договору. У результаті формується більш відкрита, підзвітна й ефективна система, яка відповідає сучасним європейським стандартам і завданням масштабної відбудови держави.

Висновки

Формування економіко-правових механізмів супроводу проєктів відновлення інфраструктури в умовах цифровізації засвідчує трансформацію традиційних підходів до управління публічними ресурсами та реалізації містобудівних і відбудовних процесів. Сучасне цифрове середовище

створює принципово нові можливості для посилення прозорості, оптимізації процедур, інтеграції даних та забезпечення підзвітності всіх учасників проєкту, що підвищує якість управлінських рішень і зменшує ризики корупційного чи неефективного використання ресурсів. Зміна технологічної парадигми супроводжується необхідністю оновлення правових норм, адаптації нормативно-правової бази до цифрових форматів, а також впровадженням таких моделей правовідносин, які відповідають умовам автоматизованого обміну даними, електронного документообігу та використання алгоритмічних інструментів контролю.

Ключовою закономірністю є те, що економічний та правовий супровід інфраструктурних проєктів поступово переходить від паперових, офлайн-орієнтованих систем до інтегрованої цифрової екосистеми, де дані, процеси й механізми правозастосування функціонують як єдине ціле. Такий підхід забезпечує точність планування, своєчасність ухвалення рішень і можливість комплексного моніторингу на різних етапах реалізації проєкту. Застосування цифрових реєстрів, електронних кабінетів, ГІС-систем та BIM-моделювання створює багаторівневу систему верифікації, у якій технічна, юридична та фінансова інформація поєднується у взаємопов'язані блоки. Це підсилює обґрунтованість управлінських рішень і сприяє раціональному використанню ресурсів у процесах реконструкції та модернізації інфраструктури.

Правові механізми, що формуються в умовах цифровізації, отримують новий зміст завдяки появі електронних дозволів, цифрових погоджень, автоматизованих експертиз та смарт-контрактів. Юридично значимі дії, які традиційно вимагали значного часу, людського залучення та багаторівневих перевірок, у цифровому середовищі можуть бути стандартизовані, автоматизовані та підкріплені технічними протоколами виконання. У такий спосіб правове регулювання набуває рис алгоритмізації, що не лише прискорює реалізацію процедур, а й забезпечує їхню повторюваність, передбачуваність і стійкість до зовнішніх впливів. Особливого значення набуває підвищення правової визначеності та зменшення дискретності у прийнятті рішень, що досягається шляхом формалізації вимог і впровадження цифрових стандартів перевірки.

Використання аналітики та штучного інтелекту в економіко-правовому супроводі проєктів відкриває можливості для переходу від реактивного до проактивного управління. Інтелектуальні системи здатні виявляти ризики на ранніх етапах, моделювати альтернативні сценарії, прогнозувати строки та вартість робіт, а також оцінювати доброчесність учасників. Це сприяє не лише підвищенню ефективності правового контролю, а й зміцненню економічної обґрунтованості рішень, що є критично важливим у контексті масштабної повоєнної відбудови.

Важливо підкреслити, що розвиток економіко-правових механізмів супроводу інфраструктурних проєктів тісно пов'язаний із переформатуванням системи Prozorro. Модернізація Prozorro, спрямована на інтеграцію цифрових інструментів, розширення аналітичних можливостей та посилення моніторингових функцій, утворює системний каркас для забезпечення прозорості й відкритості публічних процесів відбудови. Завдяки впровадженню автоматизованих ризик-індикаторів, цифрових моделей договорів та інтеграції з державними реєстрами Prozorro фактично виконує роль центральної платформи, яка об'єднує інформаційні потоки, забезпечує їхню верифікацію та надає інституційні гарантії дотримання правових норм у цифровому середовищі.

Цифровізація, модернізація нормативно-правового забезпечення та інституційне оновлення Prozorro формують нову модель економіко-правового супроводу інфраструктурних проєктів, яка вирізняється високим рівнем прозорості, прогнозованості та стійкості. Така модель відповідає викликам сучасного етапу відбудови, забезпечує взаємодію між державою, бізнесом і громадськістю на якісно новому рівні та сприяє інтеграції України до європейського цифрового і правового простору. Вона створює передумови для підвищення ефективності використання публічних ресурсів і гарантованого дотримання принципів доброчесності та відповідальності в усіх аспектах реалізації відбудовних проєктів.

Список літератури

1. Микитась М. Я. Система нормативного регулювання відбудови інфраструктури України. *Юридичний науковий електронний журнал*. 2025. № 3. С. 776–779. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2025-3/188>.
2. Бондар В. Нормативно-правове забезпечення реалізації державної політики у сфері відновлення територій України. *Вчені записки Університету «КРОК»*. 2025. № 2(78). С. 332–338. DOI: <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2025-78-332-338>.
3. Magomedov A. Renovation of critical infrastructure facilities in Ukraine after the war: strategy and perspectives. *Economy, Finances, Management*. 2024. № 1(67). DOI: <https://doi.org/10.37128/2411-4413-2024-1-7>.
4. Sergiienko L., Homlia L., Chichulina K. та ін. Lasting Growth of Cities: Challenges of Infrastructure Rehabilitation in Ukraine. *OIDA International Journal of Sustainable Development*. 2024. URL: <https://oidaijsd.com/wp-content/uploads/2025/09/18-11-24-23-14-IJSD-UR3-25-LS.pdf>.
5. Микитась М. Я. Адміністративно-правові процедури державного і громадського контролю у сфері фінансування та реалізації заходів з відбудови інфраструктури України. *Право і суспільство*. 2024. № 4. С. 850–858. DOI: <https://doi.org/10.32842/2078-3736/2024.4.121>.
6. Діордіца І. В., Циганин Я. М. Правові напрями удосконалення діяльності Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України. *Вісник УжНУ*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2024.85.2.47>.
7. Турченко І. В. Контракти «під ключ» у сфері розбудови транспортної інфраструктури України. *Inter Nauka. Juridical Sciences*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2308-2024-11>.
8. Ayibam J. Legal Structuring of Public Infrastructure Projects: A Practical Guide for Government Lawyers and Project Teams. 2025. URL: <https://www.researchgate.net>.
9. Giovannettone J. та ін. Equitable infrastructure: Achieving resilient systems and restorative justice through policy and research innovation. *PNAS Nexus*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgae157>.
10. IFRC. Literature Review on Law and Disaster Recovery and Reconstruction. Geneva: IFRC, 2020. URL: <https://www.ifrc.org>.
11. Legal Frameworks for Infrastructure Innovation: Ensuring Sustainable Development. Legivio. 2024. URL: <https://legivio.com>.
12. Legal Considerations in Infrastructure Modernization. Lawfina. 2025. URL: <https://lawfina.com>.
13. Ivanova V. A Reconstruction Law for Ukraine. *The German Marshall Fund*. 2025. URL: <https://www.gmfus.org>.
14. Бобось О. Л., Бобось М. Л. Відновлення інфраструктури територій України: виклики, інноваційні підходи та партнерство у відбудові. *Державне управління: теорія та практика*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.32782/1813-3401.2024.4.29>.
15. Damage and reconstruction of Ukrainian infrastructure. *Ukraine Analyses*. 2024. URL: <https://supernet.isenberg.umass.edu>.
16. Беленкова О., Коваль О. Цільові пріоритети та формалізовані показники реалізації концепції життєвого циклу будівельних об'єктів під час проектного фінансування програм оновлення житла. *Будівельне виробництво*. 2024. № (78), С. 117-124. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.78.117-124>.
17. Беленкова О., Коваль О., Божинський М., Щербак І., Бень О. Моделі і методи оцінювання просторових параметрів інвестиційних проєктів і програм реконструкції міст. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2024. № 2(54), С. 80–394. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(2\)](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(2)).
18. Бедрій Р. Б. Організаційно-правове забезпечення відбудови та економічного розвитку міст у контексті повоєнного відновлення України. *Економіка та право*. 2023. № 3. С. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.15407/econlaw.2023.03.053>.

19. Цифра, Т. Ю. Тренди контрактів FIDIC у відновлюваній енергетиці та їхній зв'язок із інвестиційним проектуванням, будівництвом і реконструкцією на місцевому рівні. *Цифрова економіка та економічна безпека*. 2025. С. 259–264. DOI: <https://doi.org/10.32782/dees.16-39>.

20. Sorokina, L., Tsyfra, T., Vahovich, I. (2024). Modeling the Level of Implementation of BIM by Enterprises as a Means of Optimizing the Cost. In: Semenov, A., Yepifanova, I., Kajanová, J. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, Vol. 195. Springer. Cham. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-54012-712>.

References

1. Mykytas, M. Ya. Systema normatyvnoho rehuliuвання vidbudovy infrastruktury Ukrainy [The system of regulatory framework for the reconstruction of Ukraine's infrastructure]. *Iurydychnyi naukovyi elektronnyi zhurnal* [Legal Scientific Electronic Journal]. 2025. No. 3. P. 776–779. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2025-3/188> [in Ukrainian].

2. Bondar, V. Normatyvno-pravove zabezpechennia realizatsii derzhavnoi polityky u sferi vidnovlennia terytorii Ukrainy [Legal support for the implementation of state policy in the field of restoration of Ukraine's territories]. *Vcheni zapysky Universytetu «KROK»* [Scholarly Notes of KROK University]. 2025. No. 2(78). P. 332–338. DOI: <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2025-78-332-338> [in Ukrainian].

3. Magomedov, A. Renovation of critical infrastructure facilities in Ukraine after the war: Strategy and perspectives. *Economy, Finances, Management*. 2024. No. 1(67). DOI: <https://doi.org/10.37128/2411-4413-2024-1-7> [in English].

4. Sergiienko, L., Homlia, L., Chichulina, K., et al. Lasting growth of cities: Challenges of infrastructure rehabilitation in Ukraine. *OIDA International Journal of Sustainable Development*. 2024. URL: <https://oidajsd.com/wp-content/uploads/2025/09/18-11-24-23-14-IJSD-UR3-25-LS.pdf> [in English].

5. Mykytas, M. Ya. (2024). Administratyvno-pravovi protsedury derzhavnoho i hromadskoho kontroliu u sferi finansuvannia ta realizatsii zakhodiv z vidbudovy infrastruktury Ukrainy [Administrative and legal procedures of state and public control in financing and implementing infrastructure reconstruction measures]. *Pravo i suspilstvo* [Law and Society]. No. 4. P. 850–858. DOI: <https://doi.org/10.32842/2078-3736/2024.4.121> [in Ukrainian].

6. Diorditsa, I. V., & Tsyhanyn, Ya. M.. Pravovi napriamy udoskonalennia diialnosti Derzhavnoho ahentstva vidnovlennia ta rozvytku infrastruktury Ukrainy [Legal directions for improving the activities of the State Agency for Restoration and Infrastructure Development of Ukraine]. *Visnyk UzhNU* [Herald of UzhNU]. 2024. No. 85(2). DOI: <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2024.85.2.47> [in Ukrainian].

7. Turchenko, I. V. (2024). Kontrakty “pid kliuch” u sferi rozbudovy transportnoi infrastruktury Ukrainy [Turnkey contracts in the development of Ukraine's transport infrastructure]. *Internauka. Juridical Sciences*, 11. DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2308-2024-11> [in Ukrainian].

8. Ayibam, J. Legal Structuring of Public Infrastructure Projects: A Practical Guide for Government Lawyers and Project Teams. Retrieved from 2025. URL: <https://www.researchgate.net> [in English].

9. Giovannettone, J., et al. (2024). Equitable infrastructure: Achieving resilient systems and restorative justice through policy and research innovation. *PNAS Nexus*. DOI: <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgae157> [in English].

10. IFRC. Literature Review on Law and Disaster Recovery and Reconstruction. Geneva: International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. 2020. URL: <https://www.ifrc.org> [in English].

11. Legal Frameworks for Infrastructure Innovation: Ensuring Sustainable Development. Legivio. 2024. URL: <https://legivio.com> [in English].

12. Legal Considerations in Infrastructure Modernization. Lawfina. 2025. URL: <https://lawfina.com> [in English].

13. Ivanova, V. A Reconstruction Law for Ukraine. The German Marshall Fund. 2025. URL: <https://www.gmfus.org> [in English].
14. Bobos, O. L., & Bobos, M. L. Vidnovlennia infrastruktury terytorii Ukrainy: vyklyky, innovatsiini pidkhody ta partnerstvo u vidbudovi [Infrastructure recovery of Ukraine's territories: Challenges, innovative approaches and partnerships]. *Derzhavne upravlinnia: teoriia ta praktyka* [Public Administration: Theory and Practice]. 2024. DOI: <https://doi.org/10.32782/1813-3401.2024.4.29> [in Ukrainian].
15. Damage and reconstruction of Ukrainian infrastructure. (2024). Ukraine Analyses. URL: <https://supernet.isenberg.umass.edu> [in English].
16. Bielienkova, O., & Koval, O. Tsilovi priorytety ta formalizovani pokaznyky realizatsii kontseptsii zhyttievoho tsykladu budivelnnykh ob'ektiv pid chas proiektnoho finansuvannia prohram onovlennia zhytla [Target priorities and formalized indicators of implementing the concept of the life cycle of buildings in project financing of housing renewal programs]. *Budivelne vyrobnytstvo* [Construction Production]. 2024. No. 78. P. 117–124. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.78.117-124> [in Ukrainian].
17. Bielienkova, O., Koval, O., Bozhynskyi, M., Shcherbak, I., & Ben, O. Modeli i metody otsiniuvannia prostorovykh parametriv investytsiynykh proiektiv i prohram rekonstruktsii mist [Models and methods for assessing spatial parameters of investment projects and urban reconstruction programs]. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva* [Ways to Improve Construction Efficiency]. 2024. No. 2(54). P. 380–394. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(2\).380-394](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(2).380-394) [in Ukrainian].
18. Bedrii, R. B. Orhanizatsiino-pravove zabezpechennia vidbudovy ta ekonomichnoho rozvytku mist u konteksti poveiennoho vidnovlennia Ukrainy [Organizational and legal support for the reconstruction and economic development of cities in post-war Ukraine]. *Ekonomika ta pravo* [Economics and Law]. 2023. No. 3. P. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.15407/econlaw.2023.03.053> [in Ukrainian].
19. Tsyfra, T. Yu. Trendy kontraktiv FIDIC u vidnovliuvanii enerhetytsi ta yikh zviazok iz investytsiynym proektuvanniam, budivnytstvom i rekonstruktsieiu na mistsevomu rivni [FIDIC contract trends in renewable energy and their relation to investment planning, construction and reconstruction at the local level]. *Tsyfrova ekonomika ta ekonomichna bezpeka* [Digital Economy and Economic Security]. 2025. P. 259–264. DOI: <https://doi.org/10.32782/dees.16-39> [in Ukrainian].
20. Sorokina, L., Tsyfra, T., & Vahovich, I. (2024). Modeling the level of implementation of BIM by enterprises as a means of optimizing the cost. In A. Semenov, I. Yepifanova & J. Kajanová (Eds.), *Data-Centric Business and Applications*. Vol. 195. Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-54012-712> [in English].

Olha Bielienkova, D.Sc., Professor, <https://orcid.org/0000-0002-1142-5237>

Ihor Poltavets, <https://orcid.org/0009-0008-9014-7845>

Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture (KNUBA), Kyiv, Ukraine

FORMATION OF ECONOMIC AND LEGAL MECHANISMS FOR SUPPORTING INFRASTRUCTURE RENEWAL PROJECTS IN THE CONDITIONS OF DIGITALIZATION

Abstract

Introduction. In the context of post-war reconstruction, digitalization is becoming a key factor in the effective management of infrastructure projects. It provides a new quality of data, procedures and interaction between entities, creating the prerequisites for increasing transparency and responsibility in the use of public resources.

Problem statement. Traditional mechanisms for economic and legal support of projects show limited ability to respond to the dynamics of the digital environment, which creates risks of inconsistency of procedures, fragmentation of information and insufficient control over the implementation of reconstruction initiatives. The lack of integrated digital solutions complicates effective monitoring, planning and enforcement.

Objective. The purpose of the article is to substantiate the theoretical foundations and develop a holistic approach to the formation of economic and legal mechanisms for supporting infrastructure restoration projects in the context of digitalization, taking into account modern technological capabilities and the requirements of legal certainty.

Materials and methods. The study is based on regulatory acts, analytical reports, digital project management models, and also applies the methods of functional analysis, a systems approach, comparative law, modeling of management processes, and structural-logical generalization.

Results. The paper shows that the formation of effective economic and legal support mechanisms requires a transition to integrated digital platforms that ensure interoperability, transparency, and automation of procedures. The key role of electronic permits, digital registers, GIS systems, BIM modeling, smart contracts, and algorithmic control tools is identified. It is proven that the use of analytics and artificial intelligence makes it possible to carry out proactive risk management and optimize the economic efficiency of reconstruction projects. The relationship of such mechanisms with the systemic digital transformation of public procurement is revealed.

Conclusions. Digitalization forms a qualitatively new model of infrastructure project support, in which economic and legal instruments function as a single set of standardized, interconnected and technologically proven procedures. It ensures increased transparency, manageability and accountability of reconstruction, minimizes corruption risks and strengthens the investment attractiveness of projects. The proposed approach contributes to the formation of a sustainable digital institutional architecture necessary for the effective implementation of long-term national recovery programs.

Keywords: digitalization, project management, economic and legal support, economic mechanisms, investment project, rebuilding destroyed cities, construction, reconstruction, restoration of destroyed facilities, infrastructure, public and religious buildings, electronic registers, smart contracts, public procurement.

УДК 656.13:005.336.1

Воркут Т. А., *д-р техн. наук, професор.*, <https://orcid.org/0000-0003-0354-476X>Овчар Д. О., <https://orcid.org/0000-0002-9359-2206>*Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна*

УДОСКОНАЛЕННЯ НАУКОВО-МЕТОДИЧНИХ ЗАСАД ОЦІНЮВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ВОДІЇВ АВТОМОБІЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Анотація

Вступ. В умовах зростання вимог до результативності й ефективності функціонування та розвитку організацій транспортного обслуговування особливо актуальним стає вдосконалення науково-методичних засад оцінювання діяльності водіїв автомобільних транспортних засобів (АТЗ) з урахуванням мінливості результатів їх роботи, що передбачає виокремлення випадкової та не випадкової частин цієї мінливості із метою підвищення об'єктивності управління персоналом водіїв.

Проблематика. Все більшого поширення набуває усвідомлення того, що на сьогодні управління персоналом організації взагалі, і персоналом водіїв АТЗ, зокрема, вимагає врахування мінливості результату діяльності персоналу. Насамперед розділення двох випадків щодо видів цієї мінливості. Це випадок, коли джерелом мінливості виступає система організації, в межах якої є працівник, тобто є випадкова мінливість. І випадок, коли за таке джерело виступають особливі, пов'язані безпосередньо із конкретним працівником, обставини, тобто є не випадкова мінливість. Підходи до управління даними видами мінливості, і, відповідно, персоналом, який демонструє в своїй діяльності ці види мінливості, є відмінними.

Водночас, для розуміння того, про який вид мінливості у кожному конкретному випадку йде мова, управляючі організації повинні спиратися на відповідну систему показників оцінювання діяльності персоналу. Тобто, систему показників, яка цю відмінність у мінливості діяльності персоналу дозволяла б виявляти.

Таким чином, актуальною є проблема оцінювання діяльності водіїв АТЗ, яка б дозволяла враховувати мінливість результату цієї діяльності, виокремлюючи при цьому два її види — випадкову та не випадкову.

Мета. Метою дослідження є підвищення результативності й ефективності управління персоналом водіїв АТЗ на основі розроблення науково-методичного підходу до формування систем показників оцінювання діяльності водіїв АТЗ, які, беручи до уваги умови неоднорідності цієї діяльності, дозволили б врахувати мінливість результату діяльності водіїв АТЗ із виокремленням двох видів цієї мінливості – випадкової і не випадкової.

Матеріали та методи. Об'єктом дослідження є процес управління персоналом водіїв АТЗ, які виконують перевезення вантажів.

Предметом дослідження є методи, моделі та механізми оцінювання діяльності персоналу, в основу яких покладається концепція статистичного мислення.

Гіпотеза дослідження полягає в припущенні про можливість підвищення результативності й ефективності управління персоналом водіїв АТЗ через застосування таких систем показників оцінювання діяльності водіїв АТЗ, які б дозволяли підвищувати об'єктивність такого оцінювання, виокремлюючи випадкову і не випадкову мінливість результату діяльності водіїв АТЗ.

Методологія проведення дослідження заснована на результатах проведеного аналізу літературних джерел наукового характеру. При вдосконаленні методу оцінювання діяльності водіїв АТЗ з урахуванням мінливості результату цієї діяльності використано положення концепції

статистичного мислення, теорії управління транспортними процесами і системами, а також абстрактно-логістичний метод для категоризації умов діяльності водіїв АТЗ в організації у контексті виявлення неоднорідності зазначених умов.

Під час розроблення науково-методичного підходу до формування систем показників для оцінювання діяльності водіїв АТЗ, які б враховували мінливість результату цієї діяльності, виокремлюючи два її види — випадкову і не випадкову, використано положення концепції статистичного мислення, теорії ймовірності та математичної статистики, теорії управління транспортними процесами і системами, концепції збалансованої системи показників.

Результати. Застосування наукових результатів, отриманих у даній статті, має надати організаціям можливість підвищувати результативність ефективність управління персоналом водіїв АТЗ, які здійснюють вантажні перевезення, насамперед завдяки підвищенню рівня об'єктивності оцінювання діяльності водіїв АТЗ.

Висновок. У статті запропоновано вирішення актуального науково-прикладного завдання щодо вдосконалення науково-методичних засад оцінювання діяльності водіїв АТЗ з урахуванням мінливості результату даної діяльності.

Запропоновано науково-методичний підхід до ідентифікації і врахування неоднорідності умов діяльності водіїв АТЗ, в основу якого покладено категоризацію за ознакою однорідності маршрутів (їздки), до виконання яких залучаються водії АТЗ організації при перевезенні вантажів.

Запропоновано науково-методичний підхід до формування систем показників для оцінювання діяльності водіїв АТЗ, який, беручи до уваги умови неоднорідності цієї діяльності, дозволяє враховувати мінливість результату діяльності водіїв АТЗ у даних системах показників із виокремленням двох її видів — випадкової і не випадкової.

Ключові слова: автомобіль, водій, транспортний засіб, управління персоналом, оцінювання діяльності персоналу, управління мінливістю процесів, управління транспортними процесами та системами.

Вступ

Відповідно до сучасних уявлень про управління, які в найбільш цілісному вигляді презентує концепція статистичного мислення, результати будь-якого процесу характеризуються мінливістю. При цьому актуальності набуває проблематика управління даною мінливістю, яка передбачає виокремлення двох видів мінливості. Це випадкова мінливість, яка виникає через випадкові, або, як їх ще визначають, «звичайні» причини. І не випадкова мінливість, яка виникає через не випадкові, або, як їх ще визначають, «особливі» причини [1, 2].

Випадкова мінливість зумовлена наявністю широкого переліку причин. Ці причини присутні постійно. І кожна із них становить дуже малу частку в причинах загальної мінливості, при цьому не значна сама по собі. Проте, сума всіх цих причин вимірна, і вважається, що вона є внутрішньою сутністю процесу. Зменшення впливу звичайних причин вимагає управлінських рішень, виділення ресурсів, удосконалення процесу і/або системи. Стосовно другого, із вказаних, виду мінливості, тобто, не випадкової мінливості, то вона інтерпретується як реальні «дійсні» зміни в аналізованому процесі. Ці зміни можуть бути наслідком деяких обумовлених причин, які не є такими, що властиві процесу внутрішньо. Вони можуть бути усунені, принаймні теоретично [1, 2].

Стабільний процес, тобто, той, у якому відсутні ознаки особливих причин варіацій, слідуючи за В. Шухартом, теорія варіабельності якого стала предтечою концепції статистичного мислення, називають статистично керованим. Це випадковий процес. Він є передбачуваним, хоча очевидно, що деякі непередбачувані обставини можуть вивести даний процес зі стану статистичної керованості.

Наявність вищезазначених двох видів мінливості — це те, що знаходиться в основі двох типів помилок під час прийняття управлінських рішень. Кожна із цих помилок призводить до значних втрат організації. Помилка першого типу полягає в тому, щоб розглядати як деякий особливий випадок будь-який недолік, скаргу, вихід із ладу, пригоду, дефіцит будь-чого. Коли, насправді,

нічого особливого не відбувається. Тобто, все це є проявом випадкових варіацій у процесі, зумовлених загальними причинами. Помилка другого типу полягає в тому, щоб відносити на рахунок загальних, тобто, звичайних, варіацій процесу будь-який недолік, скаргу, помилку, вихід із ладу, пригоду, дефіцит будь-чого. Коли, насправді, це є проявом деякої особливої причини [1].

Вдосконалення (покращення) процесу, узгоджуючись із концепцією статистичного мислення, може бути розбито в часі на три фази [2]. Фаза 1 — стабілізація процесу, тобто, приведення його в статистично керований стан шляхом ідентифікації і усунення особливих причин варіацій. Фаза 2 — заходи щодо вдосконалення (покращення) процесу, тобто, «зменшення» звичайних причин варіацій. Фаза 3 — моніторинг процесу для підтримування досягнутих вдосконалень (покращень).

Зауважимо, що фахова спільнота в області статистики в певній своїй частині не готова сприйняти власне статистичний аспект концепції статистичного мислення. Насамперед через те, що в ній кардинально переглядається класична теорія статистичного висновку. Е. Демінг, як фундатор концепції статистичного мислення, узгодив цю теорію із відомою вже йому на той час теорією мінливості (варіабельності), яка отримала свій розвиток у роботах В. Шухарта. Проблемою видавалась ідея статистичної керованості процесів, яка виходить із класичних уявлень щодо репрезентативності вибірки. Як вважають прибічники В. Шухарта і Е. Демінга, ці дослідники лише надали цим поняттям операційного сенсу і зробили їх придатними для використання на практиці [2].

Стосовно поглядів науковців в області власне управління на концепцію статистичного мислення, то частково їх відображає позиція П. Друкера. Він інтерпретував цю концепцію виключно в контексті продовження традиції раціонального, наукового, підходу до управління, яку заклав Ф. Тейлор [3, 4]. Водночас таке бачення не може пояснити всю багатогранність концепції статистичного мислення, як самостійність теорії управління.

Важливим аспектом мотивації та контролю діяльності персоналу виступає обрана організацією система показників, використовувана для оцінювання такої діяльності. Очевидно, найбільш відомими за умовами формування таких систем є поняття «ключовий показник діяльності» або, як вживане за рівнозначне, поняття «ключовий показник результату діяльності», — КПД (від англ. — key performance indicator, KPI). У багатьох випадках появу КПД у фаховій літературі із управління пов'язують із появою методу управління за цілями, який був запропонований П. Друкером ще у 1950-х рр. [3, 4]. Водночас відомі роботи де введення КПД пов'язується із вдосконаленням і подальшим розвитком методу управління за цілями в його більш пізніх модифікаціях. Насамперед, мова йде про метод збалансованої системи показників [5, 6]. Спостерігаєма практика формування систем показників для оцінювання діяльності персоналу як систем КПД свідчить про домінування серед останніх «детермінованих» показників, тобто, умови будови даних показників, здебільшого, залишають поза увагою об'єктивно наявну мінливість результату діяльності персоналу.

Якщо при розбудові КПД, використовуваних для оцінювання діяльності персоналу, ми будемо спиратися на теорію управління Е. Демінга, то матимемо наступне. Замість одного детермінованого значення КПД має бути наведено математичне сподівання (m_x), дисперсію (D_x), а також межі для показника виду $m_x \pm 3\sqrt{D_x}$. Ініціативи, спрямовані на вдосконалення процесу, можна представляти в складі двох груп, відповідно до фази процесного вдосконалення, на якій знаходиться процес. Це ініціативи, які мають на меті стабілізацію процесу. І це ініціативи, які мають на меті власне вдосконалення процесу, тобто, вдосконалення в частині зменшення звичайних причин варіацій. Очевидно, що зазначені ініціативи потребують конкретизації їхнього змісту. За умовами теорії управління Е. Демінга не мають вводитися нормативні значення КПД. Оскільки така їхня наявність суперечить положенням даної теорії. Власне, і сама сутність КПД, в контексті застосування теорії управління Е. Демінга, потребує переосмислення [7, 8].

У контексті проблематики оцінювання діяльності саме логістичного персоналу з урахуванням мінливості (варіабельності) цієї діяльності представляє інтерес робота [9].

Водночас її автори зосереджуються на стратегічно орієнтованому оцінюванні діяльності логістичного персоналу загалом. Зокрема, ними запропонована структурна модель інтегрального показника для стратегічно орієнтованого оцінювання діяльності працівника організації, залученого у наданні логістичних послуг. Даною моделлю передбачається встановлення зв'язку системи оцінювання результату діяльності логістичного персоналу зі стратегічними цілями організації. На її основі пропонуються до розроблення математичні моделі для оцінювання діяльності логістичного персоналу.

Разом із тим, визнаючи цінність роботи [9] у загальнометодологічній постановці, водночас маємо вказати на її обмеженість. Дана робота залишає поза увагою питання власне конкретизації показників, які можуть бути використані для оцінювання результату діяльності логістичного персоналу з урахуванням мінливості (варіабельності) цього результату. При цьому, очевидно, що ці показники будуть відмінними, наприклад, для водіїв АТЗ і комплектувальників замовлень на складі. Хоча обидві ці категорії працівників, вочевидь, можуть бути віднесені до логістичного персоналу.

Результативність і ефективність застосування концепції статистичного мислення в оцінюванні діяльності персоналу можуть бути досягнуті лише при наявності однорідності умов у його діяльності. Водночас специфіка діяльності водіїв АТЗ, які залучені в перевезенні вантажів, вказує на можливість значущої відмінності в умовах цієї діяльності. Зазначене потребує проведення досліджень щодо опрацювання підходів до категоризації умов діяльності водіїв АТЗ в організації за вимогами однорідності із подальшою ідентифікацією показників для оцінювання діяльності водіїв АТЗ з урахуванням виявлених категорій.

Маємо зауважити, що проблематика оцінювання діяльності водіїв АТЗ з урахуванням мінливості цієї діяльності розглядалась у роботі [10]. Проте, автори залишили поза увагою ряд важливих аспектів даної проблематики, насамперед, пов'язаних з однорідністю умов, у яких мають діяти водії АТЗ у конкретній організації.

Наукова прогалина може бути ідентифікована у частині браку науково-методичних підходів, які б дозволили проводити оцінювання результату діяльності водіїв АТЗ в організаціях із застосуванням концепції статистичного мислення. Насамперед у частині виявлення і врахування неоднорідності умов діяльності водіїв АТЗ в організаціях і розроблення систем показників оцінювання, які б дозволили, враховуючи дану неоднорідність, брати до уваги мінливість діяльності водіїв АТЗ із виокремленням двох видів мінливості — випадкової і не випадкової.

Метою дослідження є підвищення результативності й ефективності управління персоналом водіїв АТЗ на основі розроблення науково-методичного підходу до формування систем показників оцінювання діяльності водіїв АТЗ, які, беручи до уваги умови неоднорідності цієї діяльності, дозволили б врахувати мінливість результату діяльності водіїв АТЗ із виокремленням двох видів цієї мінливості — випадкової і не випадкової.

Для досягнення поставленої мети були визначені і вирішувались наступні **завдання**:

- удосконалити метод оцінювання діяльності водіїв АТЗ з урахуванням мінливості результату цієї діяльності, в частині розроблення науково-методичного підходу, який би дозволив виявляти умови неоднорідності, в яких діють водії АТЗ в організації;

- розробити науково-методичний підхід до формування систем показників для оцінювання діяльності водіїв АТЗ, який, беручи до уваги умови неоднорідності цієї діяльності, дозволяв би враховувати мінливість результату діяльності водіїв АТЗ із виокремленням двох її видів — випадкової і не випадкової — у відповідних системах показників.

Основна частина

За одну із проблем, яка постає в організаціях при спробі введення ними, для водіїв АТЗ КПД, які формуються з урахуванням положень концепції статистичного мислення, виступає проблема неоднорідності умов, в яких об'єктивно мають працювати водії АТЗ. В якості одного із напрямів розв'язання цієї проблеми може розглядатися розроблення підходів до категоризації умов діяльності водіїв АТЗ щодо однорідності даних умов. Зазначене своєю чергою спонукає звернутись

до положень теорії управління транспортними процесами та системами. Відповідно до положень даної теорії транспортний процес пропонується розглядати із двох точок зорпозицій — з позиції операцій з АТЗ і з позиції операцій із предметами перевезень, тобто, вантажами. Суміщений розгляд операцій із вантажем і АТЗ показує, що транспортний процес є багатоелементним. Основний його елемент — переміщення вантажів, всі інші елементи йому підпорядковуються.

Сукупності обов'язкових операцій — завантаження, переміщення і вивантаження вантажів, як операції з вантажем, відповідають таким операціям з АТЗ як простій АТЗ під навантаженням, рух із вантажем і простій АТЗ під розвантаженням. Цим операціям із вантажем і АТЗ, які виконуються сумісно, передують підготовчі операції із вантажем — накопичення і формування (сортування) відправлень (партій) вантажів і їх підготовка до перевезення і з АТЗ — подача АТЗ до місця навантаження. Якщо розвантаження АТЗ характеризує закінчення циклу перевезень (не беручи до уваги, наприклад, час прибирання кузова АТЗ та інше), то цикл доставки вантажу ще триває і включає операції, які пов'язані з розформуванням відправлення (партії) вантажу, переміщенням до місця складування тощо. При цьому рух із вантажем (операція з АТЗ) і переміщення вантажу (операція з вантажем) є суміщеними операціями, які збігаються в часі та просторі.

Простій АТЗ в пункті навантаження (розвантаження) складається з часу в очікуванні навантаження (розвантаження) і часу обслуговування, тобто, власне навантаження (розвантаження), а також із часу оформлення документів, якщо останній повністю не збігається в часі з очікуванням навантаження й обслуговуванням. Водночас завантаження (вивантаження) вантажів пов'язане із можливим очікуванням прибуття АТЗ. Прості АТЗ в очікуванні навантаження (розвантаження) та при оформленні документів і простої навантажувально-розвантажувальних засобів в очікуванні прибуття АТЗ мають різну тривалість і не збігаються в часі.

Управління транспортним процесом, таким чином, має виходити із представлення останнього як сукупності операцій із вантажем (із використанням навантажувально-розвантажувальних засобів) з АТЗ. При цьому процес, який включає операції з АТЗ (перевізний процес), слід розглядати як складову частину транспортного процесу. В ньому знаходить відображення активна роль АТЗ, яка виявляється в подачі АТЗ під навантаження і русі із вантажем, і пасивна роль АТЗ, яка пов'язана із простоем під навантаженням і розвантаженням.

Перевезення вантажів автомобільним транспортом здійснюється за наперед розробленими маршрутами. При цьому під маршрутом руху АТЗ (переміщення вантажу) розуміють цілеспрямовано обраний шлях руху від початкового пункту навантаження до повернення в нього або до кінцевого пункту вивантаження (коли шлях розімкнений), позначений послідовністю пунктів завантаження і вивезення вантажу. Зазвичай, розрізняють маятникові, кільцеві, розвізні, збірні і розвізно-збірні типи маршрутів. На всіх маршрутах транспортний процес складається із послідовності елементів, які повторюються. Це: подача АТЗ до місця навантаження, саме навантаження, переміщення (рух із вантажем), розвантаження. Для позначення сукупності цих елементів, які складають закінчену операцію доставки вантажів, використовується термін «цикл перевезення». За рівнозначний також вживається термін «їздка».

У контексті розв'язання проблеми однорідності умов діяльності водіїв АТЗ під час оцінювання результату їх діяльності з урахуванням його мінливості в роботі [10] пропонується за «одиницю», за яку проводиться оцінювання, обирати їздки. Водночас, гіпотетично, це також може бути, наприклад, маршрут. Зазначимо, що окрема організація, що надає послуги власними корпоративними практиками управління, а також оперуючи власною корпоративною термінологією, може використовувати й інші, відмінні (за сутністю і/або назвою) від їздки або маршруту, об'єкти, за якими оцінюється результат діяльності водіїв АТЗ.

На **рис. 1** запропоновано підхід до категоризації маршрутів (їздок), на основі якого в організації вони можуть виокремлюватися за умовами однорідності діяльності водіїв АТЗ.

У загальному випадку виокремлення видів маршрутів (їздок), як однорідних за умовами діяльності водіїв АТЗ, може відбуватися через комбінацію у певних сполученнях із різним ступенем деталізації різновидів категорій, наведених на **рис. 1**.

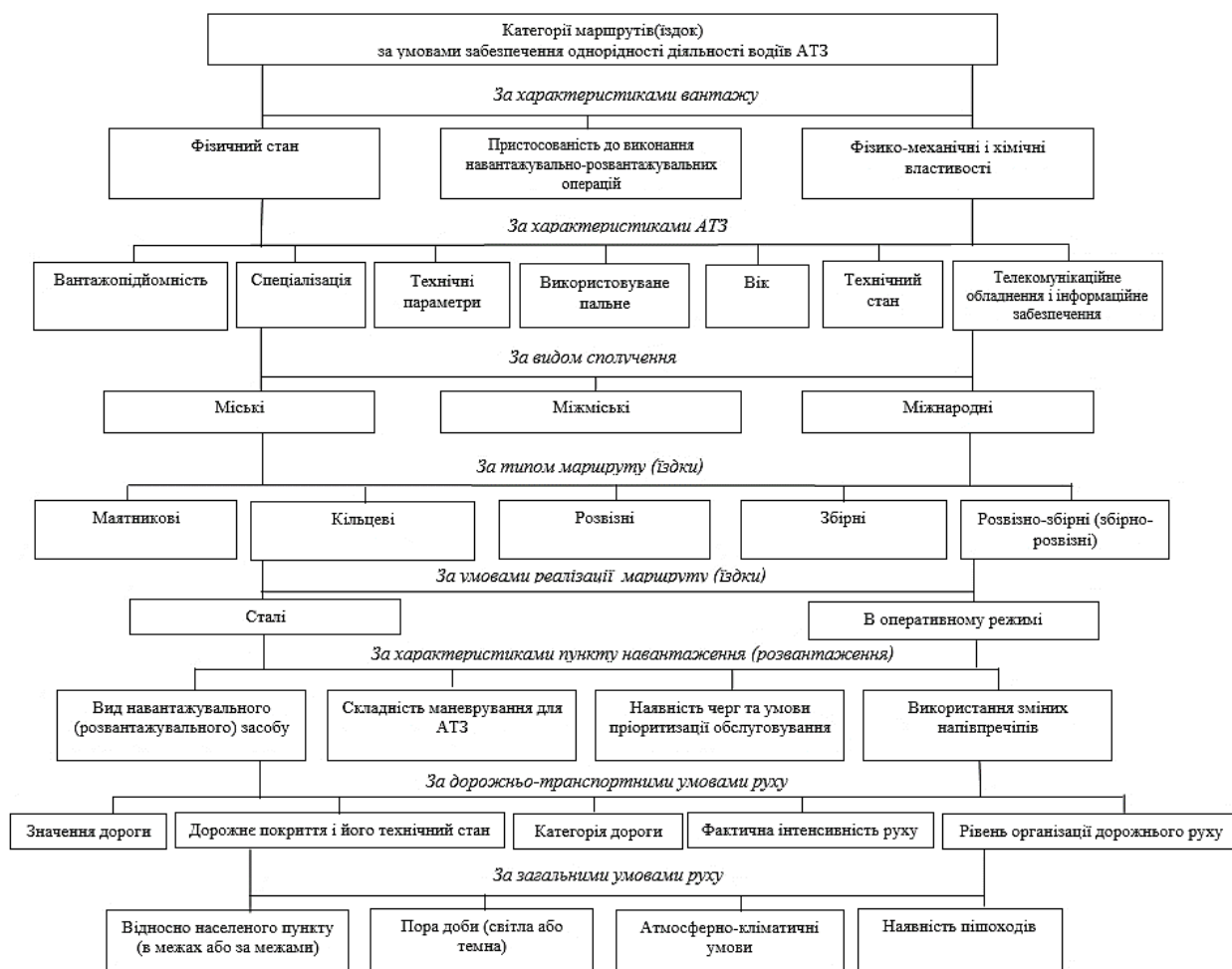


Рисунок 1 — Категорії маршрутів (іздок), виокремлювані за умовами забезпечення однорідності діяльності водіїв АТЗ

Зауважимо, що наведений на **рис. 1** підхід до виокремлення категорій маршрутів (іздок) за умовами однорідності не обмежує надалі їх деталізацію або, навпаки, укрупнення, додавання нових категорій тощо в корпоративному управлінні. Дана категоризація може не лише бути покладена в основу корпоративних практик (шаблонів), а й власне отримати свій загальний розвиток. Наприклад, вкажемо на практику виокремлення операторами ринків доставки поштових відправлень міжтермінальних перевезень – на заміну чи в поєднанні з іншими видами сполучень.

Виходячи з вище наведених міркувань щодо врахування умов однорідності при оцінюванні результату діяльності водіїв АТЗ в організаціях, які впроваджують концепцію статистичного мислення, структурна модель формування системи показників для оцінювання діяльності водіїв АТЗ, представлена в роботі [10], може бути трансформована до виду, який наведено на **рис. 2**.

Структурною моделлю, представленою на **рис. 2**, передбачається використання показників оцінювання результату діяльності персоналу водіїв АТЗ. Зазначене, своєю чергою, передбачає необхідність ідентифікації і кількісного вимірювання відповідних показників надалі. Очевидно, що проблема неоднорідності умов діяльності персоналу водіїв АТЗ накладає свій відбиток і на вибір типу даних показників оцінювання.

У роботі [1] як такий показник, із посиланням на практику роботи організацій перевізників і логістичних провайдерів США, що склалася, вводиться показник кількості помилок, які зробив

водій АТЗ організації протягом певного проміжку часу. Наприклад, допущені надлишок чи нестача в замовленні, невідповідність в оформленні супроводжувальних документів тощо. У цій роботі ми також приймемо зазначений показник в якості показника для оцінювання діяльності персоналу водіїв АТЗ [10]. Водночас ми вважаємо задовільним запропонувати умови ідентифікації і кількісного вимірювання даного показника. Для вирішення цього завдання також може бути запропоновано підхід до категоризації помилок водіїв АТЗ, **рис. 3**, який надалі застосовують стосовно виокремлених видів маршрутів (їздок).

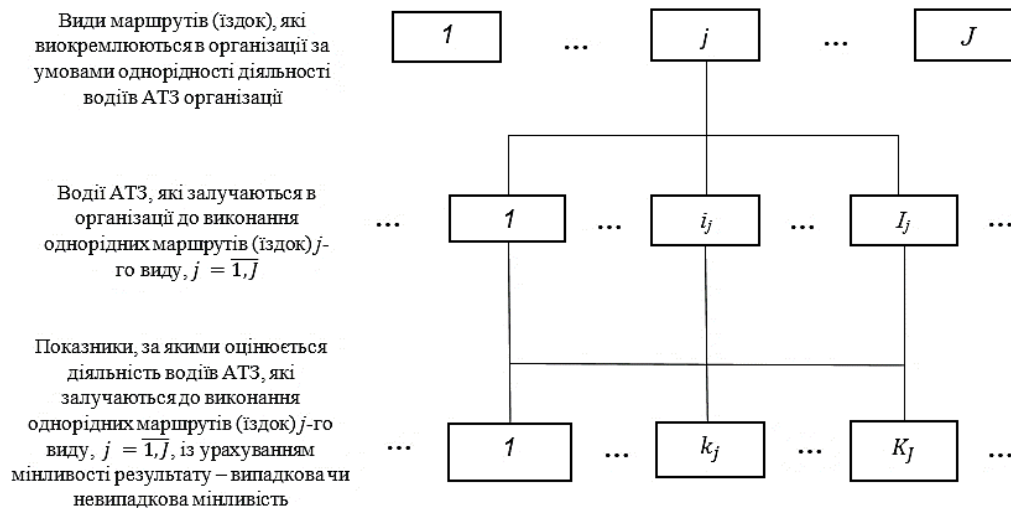


Рисунок 2 — Структурна модель до формування в організації системи показників для оцінювання діяльності водіїв АТЗ з урахуванням мінливості результату цієї діяльності

Використання концепції збалансованої системи показників (ЗСП) для формування показників оцінювання результату діяльності водіїв АТЗ дозволяє забезпечити орієнтованість даного оцінювання на стратегію розвитку організації, з одного боку, і розширити перелік аспектів для оцінювання діяльності водіїв АТЗ — з іншого. Виокремлення категорії за складовими транспортного процесу може розглядатися, насамперед, у контексті складової внутрішніх бізнес-процесів ЗСП. Водночас важливими є показники, які характеризують взаємодію водіїв АТЗ не лише з вантажовідправниками, які, здебільшого, виступають замовниками послуг із перевезення вантажів. Тобто «прямими» замовниками. Водії АТЗ, взаємодіючи із вантажоотримувачами, які не є «прямими» замовниками послуг із перевезення вантажів, впливають на відносини «постачальник — клієнт (споживач)» щодо того продукту, доставку якого, як вантажу, здійснює водій АТЗ. Особливої значущості ця обставина набуває в умовах впровадження в організаціях концепції управління ланцюгами постачань.

Важливу роль також відіграють водії АТЗ у формуванні величини витрат, пов'язаних із використанням ресурсів за маршрутом (їздом), — пального, паливно-мастильних матеріалів тощо, а також виконанням робіт із технічного обслуговування та ремонту АТЗ.

За аналогією до застосування підходу до категоризації маршрутів (їздок), **рис. 1**, виокремлення категорій помилок водіїв АТЗ не обмежує в подальшому їх деталізації або, навпаки, укрупнення, додавання нових категорій помилок тощо в корпоративному управлінні. Відповідно, зазначена категоризація може бути покладена не лише в основу корпоративних практик (шаблонів), а й, власне, отримати свій загальний розвиток. Зазвичай виокремлення показників відповідно до видів помилок водіїв АТЗ може відбуватися через комбінацію у певних сполученнях різновидів категорій, наведених на **рис. 3**.

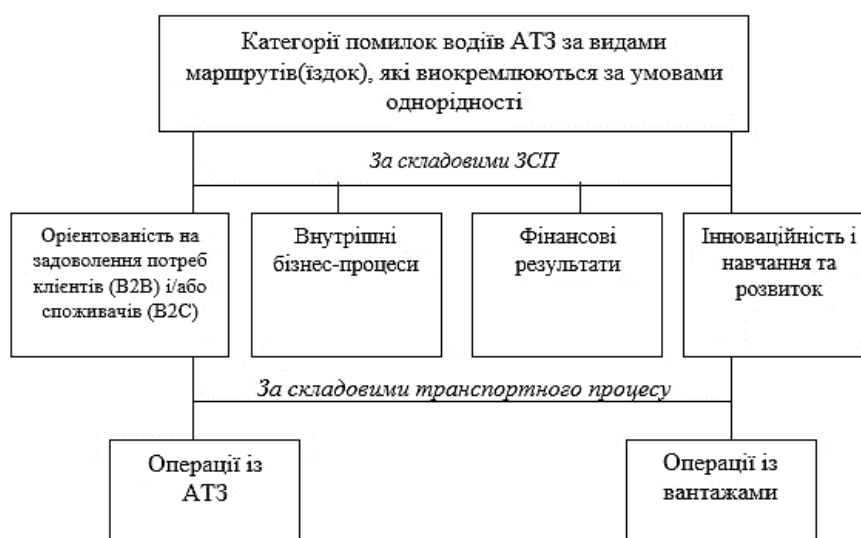


Рисунок 3 — Категорії помилок водіїв АТЗ, виокремлювані за видами однорідних маршрутів (їздок)

У **табл. 1** представлена матриця для акумулювання вихідних даних щодо кількості помилок за j -м видом однорідних маршрутів (їздок), $j = \overline{1, J}$, які виконуються в організації, за результатом діяльності персоналу водіїв АТЗ у встановленому часовому періоді. Умови збіжності отриманих значень показників, які визначають як кількість помилок, допущених окремими водіями АТЗ, вимагають використання не абсолютної величини цих помилок, а відносної. Тобто, у перерахунку на кількість однорідних маршрутів (їздок) певного, j -го, виду, $j = \overline{1, J}$, яку виконав i_j -й водій АТЗ, $i_j = \overline{1, I_j}$, $j = \overline{1, J}$.

Таблиця 1

Матриця значень відносної кількості помилок, які допустили водії АТЗ, які залучаються в організації до виконання однорідних маршрутів (їздок) j -го виду, $j = \overline{1, J}$, у встановленому часовому періоді

Водій АТЗ, який залучається в організації до виконання однорідних маршрутів (їздок) j -го виду, $j = \overline{1, J}$	Показник кількості помилок, допущених i_j -м водієм АТЗ, $i_j = \overline{1, I_j}$, $j = \overline{1, J}$ за однорідними маршрутами (їздками) j -го, виду, $j = \overline{1, J}$, у перерахунку на один маршрут (їздку) даного виду за видами помилок				
	1	...	k_j	...	K_j
1	r_{11}	...	r_{1k_j}	...	r_{1K_j}
...	...	...	...	...	...
i_j	$r_{i_j 1}$	...	$r_{i_j k_j}$	...	$r_{i_j K_j}$
...	...	...	...	...	...
I_j	$r_{I_j 1}$	...	$r_{I_j k_j}$	...	$r_{I_j K_j}$

Якщо матриця, представлена у **табл. 1**, має акумулювати дані щодо відносної кількості помилок, допущених водіям АТЗ за j -м видом маршрутів (їздок) за певний проміжок часу, то матриця, представлена у **табл. 2**, виконує іншу функцію. Спираючись на концепцію статистичного мислення [1], ми в даній матриці, **табл. 2**, відображаємо, в яких випадках відносна кількість помилок i_j -го водія АТЗ, $i_j = \overline{1, I_j}$, $j = \overline{1, J}$, організації — як результат його діяльності — може бути

інтерпретована в контексті випадкової мінливості, а в яких мінливості не випадкової. При цьому, як очевидно, ми виходимо із даних кількості помилок певного типу, які зробили всі водії АТЗ відповідної організації за певним, j -м, $j = \overline{1, J}$, видом однорідних маршрутів (їздок) за встановлений часовий період.

У матриці, **табл. 2**, результат діяльності, досягнутий кожним i_j -м водієм АТЗ, $i_j = \overline{1, I_j}$, $j = \overline{1, J}$, за кожним показником, який визначається як відносна кількість помилок певного типу за певним, j -м, $j = \overline{1, J}$, видом однорідних маршрутів (їздок), позначається як «1» або «0». Припустимо, що через «1» ми позначаємо випадки, коли значення показника кількості помилок не вийшло за межі контрольних значень, тобто, за межі нижньої і верхньої контрольної межі за контрольними картами В. Шухарта [1, 2]. Тобто, ми маємо випадок випадкової мінливості. Якщо значення показника вийшло за вищеписані контрольні межі, то в цьому випадку він може бути позначений через «0». Тобто, ми маємо випадок не випадкової мінливості.

Можемо зауважити, що для встановлення зазначених меж контрольних значень у роботі [1] наведено підхід, який виходить із припущення про пуассонівський закон розподілу випадкової величини помилок, допущених водіями АТЗ.

Таблиця 2

Матриця інтерпретації значень відносної кількості помилок, які допустили водії АТЗ, які залучаються в організації до виконання однорідних маршрутів (їздок) j -го виду, $j = \overline{1, J}$, у встановленому часовому періоді, в контексті випадкової чи не випадкової мінливості

Водії АТЗ, який залучається в організації до виконання однорідних маршрутів (їздок) j -го виду, $j = \overline{1, J}$	Показник кількості помилок, допущених i_j -м водієм АТЗ, $i_j = \overline{1, I_j}$, $j = \overline{1, J}$, за однорідними маршрутами (їздками) j -го, виду, $j = \overline{1, J}$, у перерахунку на один маршрут (їздку) даного виду, яка інтерпретується як випадкова чи не випадкова мінливість, за видами помилок				
	1	...	k_j	...	K_j
1	v_{11}	...	v_{1k_j}	...	v_{1K_j}
...	...	...	...	...	...
i_j	$v_{i_j 1}$	...	$v_{i_j k_j}$	...	$v_{i_j K_j}$
...	...	...	...	...	...
I_j	$v_{I_j 1}$	...	$v_{I_j k_j}$	...	$v_{I_j K_j}$

На основі отриманих значень показників оцінювання діяльності персоналу водіїв АТЗ із урахуванням мінливості результату цієї діяльності слід провести аналіз причин (джерел) появи тих кейсів, у яких випадкова величина кількості помилок певного типу за певним видом маршрутів (їздок) вийшла за контрольні межі.

Якщо відмінність не пов'язана із засадами однорідності, в розумінні наявності значущих відмінностей, умов, у яких працює окремий водій, то позитивні відмінності щодо виходу за контрольні межі, особливо в довгостроковому періоді, можуть розглядатися як лідерство. Це потребує запровадження заходів, які мали б сприяти поширенню позитивного досвіду. Для водіїв АТЗ, які виявили себе як лідерів за певним показником, тобто, коли останній вийшов за контрольні межі в позитивному сенсі, у матриці, наведеній у **табл. 2**, виставляють «1».

Водночас, негативні відмінності потребують запровадження заходів щодо окремих водіїв АТЗ, які б спрямовувалися на виявлення і подолання причин і негативних відхилень. Даними заходами, зокрема, може бути визначено перелік навчальних програм (тренінгів), які можуть пройти водії АТЗ для того, щоб увійти «в систему» організації за показниками, за якими результати їх діяльності вийшли за контрольні межі в негативному сенсі.

У загальному випадку можна очікувати, що відмінні види помилок, ідентифіковані на основі категорій помилок, представлених на **рис. 3**, призведуть до відмінних наслідків. Зазначена «вартість» чи «цінність» помилок для організації може бути оцінена в різний спосіб. На практиці можна спостерігати, що організації, які замовляють послуги щодо перевезення вантажів, виставляють штрафи за неналежне виконання транспортних послуг. Зокрема, і організації логістичних провайдерів – як такі, що формують комплекси логістичних послуг, до виконання яких залучають надавачів окремих видів логістичних послуг, у тому числі, зовні. У тих випадках, коли певний вид даного штрафу однозначно може бути «накладений» на кожен із ідентифікованих помилок водія АТЗ, яка, в свою чергу, може мати місце один раз за j -м, $j = \overline{1, J}$, видом однорідних маршрутів (їздок), то за кожним видом помилки може бути введено ваговий коефіцієнт w_{kj} .

Даний ваговий коефіцієнт може бути обчислено за виразом виду:

$$w_{kj} = \frac{P_{kj}}{\sum_{k_j=1}^{K_j} P_{kj}}, k_j = \overline{1, K_j}, j = \overline{1, J}, \quad (1)$$

- де P_{kj} — величина штрафу, який накладається на організацію через k_j помилку, $k_j = \overline{1, K_j}$, $j = \overline{1, J}$, яку допустив водій АТЗ, працюючи за j -м, $j = \overline{1, J}$, видом однорідних маршрутів (їздок);
- K_j — загальне число показників кількості помилок за якими оцінюється діяльність i_j -го водія АТЗ, $i_j = \overline{1, I_j}$, $j = \overline{1, J}$, за однорідними маршрутами (їздками) j -го виду, $j = \overline{1, J}$;
- J — загальне число видів однорідних, за умовами роботи водіїв АТЗ, маршрутів (їздок), виокремлених в організації.

Таким чином, результат діяльності i_j -го водія АТЗ, $i_j = \overline{1, I_j}$, $j = \overline{1, J}$, за відповідним видом однорідних маршрутів (їздок), оцінений із урахуванням мінливості цього результату за даними матриці, яка представлена на рис. 5, можна описати за допомогою інтегрального показника виду:

$$S_{i_j} = \sum_{k_j=1}^{K_j} w_{kj} \cdot v_{i_j k_j}, i_j = \overline{1, I_j}, j = \overline{1, J}. \quad (2)$$

Коли $S_{i_j} = 1$, то це свідчить про випадкову мінливість у результаті діяльності i_j -го водія АТЗ, $i_j = \overline{1, I_j}$, $j = \overline{1, J}$, який працює на відповідному виді однорідних маршрутів (їздок). У випадку коли $S_{i_j} < 1$, то це вказує на невипадкову мінливість у результаті діяльності i_j -го водія АТЗ за j -м видом однорідних маршрутів (їздок), $i_j = \overline{1, I_j}$, $j = \overline{1, J}$. При цьому чим менше значення S_{i_j} , $i_j = \overline{1, I_j}$, $j = \overline{1, J}$, для водія АТЗ, тим, очевидно, за більш значущими типами помилок щодо штрафних санкцій він вийшов за контрольні межі.

Формат матриці, **табл. 2**, дозволяє також з'ясувати питання, чи є в стані статистичної керованості в організації вид операції, оцінюваний через показник відповідного виду помилок, які допустив i_j -й водій АТЗ у встановленому періоді часу за даною операцією. Ваговий коефіцієнт, який при цьому водиться, може бути обчислений за виразом виду:

$$w_{i_j} = \frac{Q_{i_j}}{\sum_{i_j=1}^{I_j} Q_{i_j}}, i_j = \overline{1, I_j}, j = \overline{1, J}, \quad (3)$$

- де Q_{i_j} — кількість однорідних маршрутів (їздок) j -го виду, $j = \overline{1, J}$, які виконав i_j -й водій АТЗ у встановленому періоді часу, $i_j = \overline{1, I_j}$, $j = \overline{1, J}$;
- I_j — загальне число водіїв АТЗ в організації, які залучаються до виконання однорідних маршрутів (їздок) j -го виду, $j = \overline{1, J}$.

Таким чином, результат виконання в організації певної операції, якій (операції) відповідає i за якою визначається показник відповідного виду помилок, які допустили водії АТЗ у

встановленому періоді часу, оцінений із урахуванням мінливості цього результату за даними матриці, **табл. 2**, можна описати, використовуючи інтегральний показник виду:

$$T_{kj} = \sum_{i=1}^I w_{ij} \cdot v_{ijk}, k_j = \overline{1, K_j}, j = \overline{1, J}. \quad (4)$$

Розглянемо умови оцінювання результатів діяльності водіїв АТЗ організації і виконання в організації окремих операцій із урахуванням мінливості цих результатів, використовуючи вихідні дані, наведені в матриці **табл. 3**. Під час побудови даної матриці за основу була взята матриця **табл. 1** як шаблон.

Зазначимо, що в даній матриці ми маємо величини абсолютної кількості помилок в припущенні, що всі водії АТЗ виконали однакову кількість однорідних їздок певного виду за однаковий період часу – квартал. Ці їздки виокремлені за умовами однорідності перевезень продуктів харчування (вантажів) на маятникових маршрутах між розподільчими центрами мережі роздрібної торгівлі, які розташовані в місті.

Інтерпретація даних, наведених у **табл. 3**, відповідно до матриці **табл. 2** як шаблон, пропонується **табл. 4**.

Таблиця 3

Матриця вихідних даних щодо оцінювання в організації результатів діяльності водіїв АТЗ і виконання окремих операцій у кварталному часовому періоді

Водій АТЗ, який залучається в організації до виконання однорідних їздок виокремлюваного виду	Показник кількості помилок, допущених водієм АТЗ за однорідними їздками виокремлюваного виду за помилками виду		
	затримка доставки вантажу одержувачу	неповне заповнення ТТН* або заповнення з помилками	некоректне заповнення ТТН*
Водій 1	5	4	2
Водій 2	5	3	1
Водій 3	3	5	1
Водій 4	2	1	0
Водій 5	13	5	8
Водій 6	3	2	2
Водій 7	5	3	1
Водій 8	5	12	2
Водій 9	5	2	2
Водій 10	3	3	1
Разом	50	40	20
Середня кількість помилок, яка припадає на одного водія	5	4	2

* Товаро-транспортна накладна

Виходячи із того, що величина штрафу за затримку в доставці вантажу одержувачу складає 200 гр.од., неповне заповнення ТТН або заповнення з помилками — 300 гр.од., некоректне заповнення ТТН — 500 гр.од., відповідні вагові коефіцієнти, які обчислюються за виразом (1), складуть 0,2, 0,3 і 0,5. Так як у прикладі припускається, що всі водії АТЗ виконали однакову кількість їздок, то вагові коефіцієнти, які обчислюються за виразом (3), будуть однаковими і складуть 0,1. Узгоджуючись із встановленими значеннями вагових коефіцієнтів можуть бути обчислені значення відповідних інтегральних показників, вираз (2) і (4).

Таблиця 4

Матриця ідентифікації вихідних даних щодо оцінювання в організації результатів діяльності водіїв АТЗ і виконання окремих операцій із урахуванням мінливості цих результатів у кварталному часовому періоді

Водій АТЗ, який залучається в організації до виконання однорідних їздок виокремлюваного виду	Показник кількості помилок, допущених водієм АТЗ за однорідними їздками виокремлюваного виду за помилками виду			Інтегральний показник, вираз (2)
	затримка доставки вантажу одержувачу	неповне заповнення ТТН або заповнення з помилками	некоректне заповнення ТТН	
Водій 1	1	1	1	1
Водій 2	1	1	1	1
Водій 3	1	1	1	1
Водій 4	1	1	1	1
Водій 5	0	1	0	0,3
Водій 6	1	1	1	1
Водій 7	1	1	1	1
Водій 8	1	0	1	0,7
Водій 9	1	1	1	1
Водій 10	1	1	1	1
Верхня контрольна межа	$5,0 + 3\sqrt{5,0} = 11,6$	$4,0 + 3\sqrt{4,0} = 10,0$	$2,0 + 3\sqrt{2,0} = 6,2$	-
Нижня контрольна межа	$5,0 - 3\sqrt{5,0}$ дає 0	$4,0 - 3\sqrt{4,0}$ дає 0	$2,0 - 3\sqrt{2,0}$ дає 0	-
Інтегральний показник, вираз (4)	0,9	0,9	0,9	-

Отримані результати, **табл. 4**, вказують на те, що водій 5 не належить системі організації за помилками щодо затримки доставки вантажу одержувачу і некоректного заповнення ТТН. А водій 8 не належить системі організації за помилкою щодо неповного заповнення ТТН або її заповнення з помилками. Всі інші водії за всіма виокремленими помилками системі організації належать. Стосовно водіїв АТЗ, які вийшли за межі системи, можуть бути вжиті заходи стабілізаційного характеру, які дозволять детальніше проаналізувати появу особливих причин варіації і надати рекомендації щодо їх усунення.

Якщо рівень розсіювання випадкової величини кількості помилок певного виду розглядається управляючими як незадовільний, у розумінні – високий, то мають бути вжиті вже заходи іншого характеру. А саме — активні дії щодо вдосконалення (покращення) процесу, що передбачають зменшення звичайних причин варіації.

Інформація, яку можна отримати із матриць, типу наведеної у **табл. 4**, також дозволяє з'ясовувати питання щодо стабільності в організації процесів (операцій). У кейсі, який розглядається, як видно, всі операції на першому етапі потребують застосування до них заходів стабілізаційного характеру. Надалі можна розглядати доцільність застосування активних дій щодо зменшення звичайних причин варіації. При цьому можуть бути використані результати роботи [11], в якій розглядають умови структурування портфелів проєктів, у частині введення структурування портфелів проєктів організацій, які здійснюють доставку вантажів із використанням термінальної технології. Зокрема, пропонується виокремлення двох груп проєктів — спрямованих на подолання особливих причин (стабілізацію) і звичайних причин (вдосконалення) варіації.

Висновки

У дослідженні запропоновано вирішення актуального науково-прикладного завдання щодо вдосконалення науково-методичних засад оцінювання діяльності водіїв АТЗ із урахуванням мінливості результату цієї діяльності.

У межах даного вдосконалення виконано наступне:

— розроблено науково-методичний підхід до виявлення і врахування неоднорідності умов діяльності водіїв АТЗ, в основу, якого покладено категоризацію за ознакою однорідності маршрутів (їздок), до виконання яких залучаються водії АТЗ організації при перевезенні вантажів;

— розроблено науково-методичний підхід до формування систем показників для оцінювання діяльності водіїв АТЗ, який, беручи до уваги умови неоднорідності цієї діяльності, дозволяє врахувати мінливість результату діяльності водіїв АТЗ, із виокремленням двох її видів — випадкової і не випадкової — у відповідних системах показників.

Застосування результатів даного дослідження дозволяє підвищувати рівень об'єктивності оцінювання діяльності водіїв АТЗ і, на основі цього, підвищувати результативність і ефективність управління персоналом водіїв АТЗ в організації. Насамперед, через запровадження заходів щодо формування індивідуальних траєкторій навчання та розвитку персоналу водіїв АТЗ.

Список літератури

1. Deming W. E. Out of the crisis. 4th ed. New York : The MIT Press, 2000. 524 p.
2. Neave H. R. The Deming dimension. 2nd ed. Knoxville : SPC Press, 1990. 440 p.
3. Drucker P. F. The practice of management. New York : Harper Business, 2006. 416 p. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780080942360>.
4. Drucker P. F. Management challenges for the 21st century. New York : Harper Business, 2021. 224 p. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780080942384>.
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. Niven P. R. Balanced Scorecard Step-By-Step: Maximizing Performance and Maintaining Results. Second Edition. Hoboken: Wiley, 2006. 336 p.
7. Vorkut, T., Volynets, L. Devising a method for assessing the efficiency in managing logistics operations of motor transport enterprises. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2024, 6(3 (132), 17–24. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.317567>.
8. Воркут Т. А., Волинець Л. М. Вдосконалення науково-методичних підходів до формування ключових показників діяльності в логістичній організації в контексті впровадження концепції збалансованої системи показників. Економіка транспортного комплексу, 2025. Вип. 45. С. 273–287. DOI: <https://doi.org/10.30977/ETK.2225-2304.2025.45.273>.
9. Vorkut T., Volynets L. Devising a method for strategic-oriented evaluation of the activities of logistics personnel taking into account the effect of risk and uncertainty factors // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2025, Vol. 3, No. 3(135). P. 57–66. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.329994>.
10. Воркут Т. А., Овчар Д. О. Метод оцінювання діяльності водіїв автомобільних транспортних засобів в організаціях, які надають послуги із перевезення вантажів із урахуванням дії чинників ризику та невизначеності. Менеджмент та підприємництво: тренди розвитку. Запоріжжя, 2026. Випуск 1 (35), С. 50–66. DOI: <https://doi.org/10.26661/2522-1566/2025-1/31-05>.
11. Портфельно-орієнтоване управління в організаційних мережах: монографія / Т. А. Воркут, О. Є. Білоног, А. М. Дмитриченко, А. В. Петунін, Н. В. Срібна, Ю. О. Третиниченко. Київ : Міленіум, 2021. 227 с.

References

1. Deming W. E. Out of the crisis. 4th ed. New York : The MIT Press, 2000. 524 p. [in English].
2. Neave H. R. The Deming dimension. 2nd ed. Knoxville : SPC Press, 1990. 440 p. [in English].

3. Drucker P. F. The practice of management. New York : Harper Business, 2006. 416 p. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780080942360> [in English].
4. Drucker P. F. Management challenges for the 21st century. New York : Harper Business, 2021. 224 p. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780080942384> [in English].
5. Kaplan R.S., Norton D.P. Alignment: Using the Balanced Scorecard to Create Corporate Synergies. Boston: Harvard Business School Press, 2006. 320 p. [in English].
6. Niven P.R. Balanced Scorecard Step-By-Step: Maximizing Performance and Maintaining Results. Second Edition. Hoboken: Wiley, 2006. 336 p. [in English].
7. Vorkut, T., Volynets, L. Devising a method for assessing the efficiency in managing logistics operations of motor transport enterprises. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2024, 6(3 (132), 17–24. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.317567> [in English].
8. Vorkut T. A., Volynets L. M. Vdoskonalennia naukovo-metodychnykh pidkhodiv do formuvannia kluchovykh pokaznykiv diialnosti v lohistychnii orhanizatsii v konteksti vprovadzhennia kontseptsii zbalansovanoi systemy pokaznykiv. Ekonomika transportnoho kompleksu, 2025. Vyp. 45. P. 273–287. DOI: <https://doi.org/10.30977/ETK.2225-2304.2025.45.273> [in Ukrainian].
9. Vorkut T., Volynets L. Devising a method for strategic-oriented evaluation of the activities of logistics personnel taking into account the effect of risk and uncertainty factors // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2025, Vol. 3, No. 3(135). P. 57–66. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.329994> [in English].
10. Vorkut T. A., Ovchar D. O. Metod otsiniuvannia diialnosti vodiiv avtomobilnykh transportnykh zasobiv v orhanizatsiiakh, yaki nadaiut posluhy iz perevezennia vantazhiv iz urakhuvanniam dii chynnykiv ryzyku ta nevyznachenosti. Menedzhment ta pidpriemnytstvo: trendy rozvytku. Zaporizhzhia, 2026. Vypusk 1 (35), P. 50–66. DOI: <https://doi.org/10.26661/2522-1566/2025-1/31-05> [in Ukrainian].
11. Portfelno-orientovane upravlinnia v orhanizatsiinykh merezhakh: monohrafiia / T. A. Vorkut, O. Ye. Bilonoh, A. M. Dmytrychenko, A. V. Petunin, N. V. Sribna, Yu. O. Tretynychenko. Kyiv: Milenium, 2021. 227 p. [in Ukrainian].

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

Denys Ovchar, <https://orcid.org/0000-0002-9359-2206>

National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

DEVELOPING THE METHODOLOGY ASPECTS FOR EVALUATION OF THE TRUCK DRIVERS' PERFORMANCE

Abstract

Introduction. In the context of increasing requirements for the performance and efficiency of transport service organizations and their development, the improvement of the scientific and methodological foundations for evaluating the performance of truck drivers becomes particularly relevant. This involves taking into account the variability of their work results and distinguishing between the random and non-random components of such variability in order to enhance the objectivity of human resources management of truck drivers.

Problem Statement. There is a growing recognition that, at present, human resources management of an organization in general, and human resources management of truck drivers in particular, requires consideration of variability in employee performance outcomes. First of all, it is necessary to distinguish between two cases of such variability. The first case arises when the source of variability is the organizational system within which the employee operates; that is, random variability. The second case occurs when the source is specific circumstances directly related to a particular employee; that is, non-random variability. Approaches to managing these types of variability and, accordingly, to human resources management of personnel demonstrating such variability in their activities, differ substantially.

At the same time, in order to determine which type of variability is involved in each specific case, organizational management should rely on an appropriate system of performance evaluation indicators. In other words, such a system should make it possible to identify differences in the variability of personnel performance.

Thus, the issue of evaluating the performance of truck drivers in a way that allows for consideration of performance variability, distinguishing between its random and non-random types, is highly relevant.

Purpose. The purpose of the study is to improve the effectiveness and efficiency of human resources management of truck drivers through the development of a scientific and methodological approach to forming systems of performance evaluation indicators for truck drivers. Taking into account the heterogeneity of their activities, these systems should enable consideration of performance variability by distinguishing between its random and non-random components.

Materials and Methods. The object of the study is the process of human resources management of truck drivers engaged in freight transportation.

The subject of the study comprises methods, models, and mechanisms for personnel performance evaluation based on the concept of statistical thinking.

The research hypothesis assumes that it is possible to enhance the effectiveness and efficiency of human resources management of truck drivers by applying such systems of performance evaluation indicators that increase objectivity by distinguishing between random and non-random variability in truck drivers' performance outcomes.

The research methodology is based on the analysis of scientific literature. In improving the method for evaluating the performance of truck drivers while taking into account performance variability, the provisions of the statistical thinking concept, the theory of transport process and system management, and the abstract-logical method for categorizing the working conditions of truck drivers within an organization in order to identify their heterogeneity were applied.

In developing the scientific and methodological approach to forming systems of indicators for evaluating the performance of truck drivers that account for variability and distinguish between its two types — random and non-random — the provisions of statistical thinking, probability theory and mathematical statistics, the theory of transport process and system management, and the balanced scorecard concept were used.

Results. The application of the scientific results obtained in this article enables organizations to increase the effectiveness and efficiency of human resources management of truck drivers engaged in freight transportation, primarily through enhancing the objectivity of truck driver performance evaluation.

Conclusion. The article proposes a solution to a relevant scientific and applied problem concerning the improvement of the scientific and methodological foundations for evaluating the performance of truck drivers, taking into account variability in their performance outcomes.

A scientific and methodological approach to identifying and considering the heterogeneity of truck drivers' working conditions is proposed, based on categorization according to the homogeneity of routes (trips) performed by truck drivers engaged in freight transportation.

In addition, a scientific and methodological approach to forming systems of indicators for evaluating the performance of truck drivers is proposed. Taking into account the heterogeneity of their activities, this approach makes it possible to consider performance variability within these systems of indicators by distinguishing between its random and non-random types.

Keywords: truck drivers, human resources management, personnel performance evaluation, process variability management, transport process and system management.

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

ПРОБЛЕМАТИКА ДЕКЛАРУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ДОРОЖНЬОЇ БУДІВЕЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ В УМОВАХ ІМПЛЕМЕНТУВАННЯ РЕГЛАМЕНТУ (ЄС) № 305/2011

Анотація

Вступ. Реформування системи технічного регулювання в дорожньо-будівельній галузі України та перехід до європейської моделі декларування експлуатаційних показників згідно з Регламентом (ЄС) № 305/2011 і Законом № 850-IX вимагають від учасників ринку докорінного переосмислення підходів до формування супровідної документації та розподілу відповідальності.

Проблематика. Практичне застосування нових норм виявило низку системних колізій на стику національного законодавства, європейських стандартів та мандатів Єврокомісії. Зафіксовано суттєвий розрив між нормативною теорією та ринковою практикою імплементування Декларацій показників.

Мета. Аналіз нормативно-правових та технічних розбіжностей під час декларування показників дорожньої будівельної продукції та дослідження їхнього впливу на правомірність та юридичну силу декларацій.

Методи. Застосовано методи системного аналізу для структурування систем оцінки та перевірки стабільності показників (ОПСП), ієрархічний аналіз трансформування суттєвих експлуатаційних характеристик у фізико-технічні властивості, а також емпіричний аналіз відкритих даних реєстру Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва.

Результати. Доведено ключову роль Мандата М/124 у виборі систем ОПСП та встановлено перехід від лінійної до системної залежності характеристик для бітумомінеральних сумішей. Аналіз реєстру Декларацій показників виявив масове імітування процедур оцінки відповідності: декларування бітумомінеральних сумішей за системою 2+ без залучення призначеного органу та відсутності сертифіката контролю виробництва на підприємстві. Також виявлено «категоризаційний хаос» — помилкове реєстрування елементів збірного бетону (бордюрів, бруківки) як дорожньої будівельної продукції.

Висновки. Відсутність об'єктивного залучення призначених органів де-факто перетворює задекларовану систему 2+ на систему самодекларування (систему 4), що є юридично нелегітимним для об'єктів інфраструктури з високими вимогами до безпеки. Без жорсткого державного ринкового нагляду інструмент Декларації показників перетворюється на формальність.

Ключові слова: дорожня будівельна продукція, Декларація показників, Регламент (ЄС) № 305/2011, Закон № 850-IX, системи ОПСП, Мандат М/124, бітумомінеральні суміші.

Вступ

Реформування системи технічного регулювання у дорожньо-будівельній галузі України, зумовлене курсом на європейську інтеграцію, передбачає докорінну зміну філософії оцінки експлуатаційних показників будівельної продукції. Відхід від системи сертифікації на користь європейської моделі оцінки відповідності вимагає від учасників ринку не лише оновлення

нормативної бази, а й переосмислення підходів до формування супровідної документації та розподілу відповідальності.

Фундаментальним кроком у цьому напрямі стало прийняття Закону України «Про надання будівельної продукції на ринку» (далі — Закон № 850-IX) [1], що імплементує положення Регламенту Європейського Парламенту і Ради (ЄС) № 305/2011 [5]. Впровадження цього акта сформувало нове правове поле, де Декларація показників набула статусу базового документа, який підтверджує суттєві експлуатаційні характеристики будівельної продукції.

Закон № 850-IX [1] визначає правові та організаційні засади введення будівельної продукції в обіг, встановлюючи прямий зв'язок між суттєвими експлуатаційними характеристиками та основними вимогами до споруд. Утім, практичне застосування цих норм у дорожньому будівництві виявило низку системних колізій. Вони виникають на стику національного законодавства, положень гармонізованих європейських стандартів та вимог відповідних мандатів Європейської Комісії. Навіть маючи уніфіковану форму декларації (Постанова Кабінету Міністрів України № 1458 [3]), виробники стикаються з проблемою коректного відображення технічних даних. Здебільшого це зумовлено процедурними й термінологічними розбіжностями, а також юридичним статусом окремих видів продукції, гармонізація яких у європейському правовому полі досі триває.

Метою цієї статті є аналіз нормативно-правових та технічних розбіжностей, що виникають під час декларування показників дорожньої будівельної продукції, а також дослідження впливу цих чинників на правомірність та юридичну силу таких декларацій в умовах дії Закону № 850-IX [1].

Для досягнення поставленої мети було вирішено такі завдання:

- 1) систематизовано системи оцінки та перевірки стабільності показників (ОПСП) згідно з європейськими мандатами;
- 2) проаналізовано ієрархію переходу від суттєвих експлуатаційних характеристик до фізико-технічних властивостей матеріалів;
- 3) виявлено типові помилки в наявному реєстрі декларацій.

Методи

У процесі дослідження застосовано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів, що дозволило всебічно оцінити процеси декларування будівельної продукції:

- 1) метод системного аналізу використано для структурування процедур оцінки та перевірки стабільності показників (ОПСП) і визначення місця суттєвих експлуатаційних характеристик у загальній системі основних вимог до споруд;
- 2) метод ієрархічного (структурно-логічного) аналізу застосовано для простеження вертикалі трансформатування юридичних вимог мандатів Європейської Комісії (Мандат М/124 [6]) у конкретні вимірювані фізико-технічні властивості матеріалів згідно з національними стандартами, ідентичними гармонізованим європейським стандартам (серії ДСТУ EN);
- 3) емпіричний метод (аналіз відкритих даних та документальне спостереження) використано під час збору та опрацювання масиву зареєстрованих Декларацій показників із Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва [13];
- 4) метод порівняльного аналізу дозволив зіставити теоретичні нормативно-правові вимоги законодавства (Закон № 850-IX, Регламент (ЄС) № 305/2011 [5]) із фактичним станом заповнення супровідної документації виробниками на ринку, що дало змогу виявити системні колізії та категоризаційні помилки.

Основна частина

Системи оцінки та перевірки стабільності показників (ОПСП) як фундамент декларування

Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 596 [4], в Україні діють п'ять систем ОПСП: 1+, 1, 2+, 3 та 4. З метою структурування вимог до учасників ринку, усі процедурні заходи систематизовано в **табл. 1**. Такий підхід дозволяє чітко відстежити ключову тенденцію: поступове

зменшення обсягу контролю з боку призначеного органу зі співмірним зростанням відповідальності виробника в напрямку від системи 1+ до системи 4.

Таблиця 1

Розподіл обов'язків виробника та призначеного органу за системами ОПСП

Сторона	Обов'язки (заходи) щодо оцінки та перевірки стабільності показників	1+	1	2+	3	4
Виробник	Контроль виробництва на підприємстві	+	+	+	+	+
	Подальші випробування зразків, відібраних на підприємстві, відповідно до встановленого плану випробувань	+	+	+	–	–
	Оцінка експлуатаційних характеристик будівельної продукції на основі випробування (включаючи відбір зразків), розрахунків, табличних значень або описової документації продукції	–	–	+	–	+)*)
Призначений орган	Оцінка експлуатаційних характеристик будівельної продукції на основі випробування (включаючи відбір зразків), розрахунків, табличних значень або описової документації продукції	+	+	–	–	–
	Оцінка експлуатаційних характеристик будівельної продукції на основі випробування (на основі зразків, відібраних виробником), розрахунків, табличних значень або описової документації продукції	–	–	–	+	–
	Первинне інспектування виробничого підприємства та контролю виробництва на підприємстві	+	+	+	–	–
	Безперервний нагляд, оцінка та аналіз контролю виробництва на підприємстві	+	+	+	–	–
	Випробування зразків, відібраних на виробничому підприємстві або на складі виробника	+	–	–	–	–
*) Для системи 4 текст обов'язку виробника щодо оцінки характеристик ідентичний системі 2+, за винятком уточнення про відбір зразків.						

Наведена порівняльна **табл. 1** дозволяє виявити ключовий принцип європейської системи регулювання: пропорційність контролю ступеня впливу продукції на безпеку споруди. Аналіз дозволяє виділити три вектори, за якими здійснюється диференціація систем ОПСП.

Незалежно від обраної системи, базовим елементом залишається контроль виробництва на підприємстві. Це підтверджує тезу про те, що первинна відповідальність за стабільність показників завжди лежить на суб'єкті господарювання. Однак, починаючи з системи 3, спостерігається цікава тенденція: виробник звільняється від обов'язку проводити подальші випробування зразків за встановленим планом, що свідчить про довіру системи до результатів первинної оцінки типу, проведеної третьою стороною або самим виробником.

Градація участі призначеного органу є найбільш показовою. У системах 1+ та 1 орган бере безпосередню участь в оцінці експлуатаційних характеристик продукції. Це означає, що держава (через призначений орган) бере на себе частину ризику за технічну помилку під час визначення типу продукції. Перехід до системи 2+ знаменує принципову зміну парадигми: орган перестає випробовувати саму продукцію і переходить до аудиту процесу. Такий інженерний підхід заснований на тому, що стабільність технологічного циклу є достатньою гарантією стабільності показників кінцевої продукції.

Єдиним розділовим елементом між системами 1+ та 1 є аудиторські випробування зразків. Це механізм подвійного контролю, який застосовують виключно там, де відмова матеріалу призведе до катастрофічних наслідків.

У системах 2+ та 4 за умови ідентичності завдань виробника (контроль виробництва та оцінка характеристик), у системі 4 повністю зникає зовнішній аудит. Це переводить продукцію у зону чистої ринкової відповідальності.

Особливістю системи 3 є те, що вона стоїть дещо осторонь від інших систем, оскільки зосереджена на об'єктивності випробування (їх проводить призначений орган), але ігнорує умови виробництва (інспектування заводу не виконують).

Розуміння цієї структури є критичним для дорожнього будівництва. Якщо для бітумомінеральних сумішей мандатом визначено систему 2+, отже, держава визнає технологію виробництва (контроль виробництва на підприємстві) більш важливою, ніж суцільний контроль кожної партії органом сертифікації. Водночас наявність системи 4 для певних типів незв'язних сумішей вказує на можливість самодекларування, що вимагає від виробника надзвичайно високої кваліфікації власного персоналу та рівня оснащення лабораторії.

Мандат М/124 як інструмент визначення систем ОПСП для дорожньої будівельної продукції

Вибір конкретної системи ОПСП для кожної групи будівельної продукції регламентований не гармонізованими європейськими чи національними стандартами, а спеціальними правовими актами Європейської Комісії — мандатами. Для дорожньої галузі фундаментальним документом є Мандат М/124 «Дорожня будівельна продукція» [6]. Хоча він був виданий ще в межах попередньої Директиви 89/106/ЕЕС, його положення залишаються базовими і для імплементації чинного Регламенту (ЄС) № 305/2011 [5].

За своєю суттю Мандат М/124 є технічним завданням від законодавчої влади (Єврокомісії) до розробників європейських стандартів (CEN). Він виконує роль сполучної ланки між загальними вимогами безпеки споруд та конкретними переліками експлуатаційних характеристик продукції. Саме в Мандаті М/124 встановлено:

- 1) перелік сімейств продукції, що підпадають під дію Регламенту;
- 2) сфери використання за призначенням, які критично впливають на вибір суворості контролю;
- 3) систему ОПСП, яку потрібно застосовувати для підтвердження відповідності.

Важливою особливістю Мандата М/124 [6] є його динамічність. Первинний текст документа з часом допрацьовували та актуалізовували, що призвело до появи важливих доповнень. Зокрема, тривалий час поза межами гармонізованого регулювання перебували незв'язні суміші. Введення відповідного доповнення до Мандата М/124 [6] дозволило уніфікувати підходи до декларування цієї групи матеріалів, чітко розмежувавши вимоги залежно від безпекових пріоритетів конструктивних шарів дорожнього одягу.

Отже, розгляд дорожньої будівельної продукції без прив'язки до положень Мандата М/124 [6] унеможливило коректне складання Декларації показників, оскільки саме цей документ визначає юридичну легітимність обраної системи ОПСП.

Класифікація дорожньої будівельної продукції за сімействами та системами ОПСП відповідно до Мандата М/124

Для практичного застосування положень Закону № 850-ІХ [1] визначальним чинником є не лише вид матеріалу, а і його сфера використання за призначенням. Саме цільове використання продукції у конструктивних шарах дорожнього одягу визначає ступінь потрібного контролю з боку призначеного органу.

У **табл. 2** систематизовано основні групи дорожньої будівельної продукції у послідовності, визначеній Мандатом М/124 [6], з додаванням незв'язних сумішей, статус яких було уточнено пізнішими доповненнями до мандата.

Наведена систематизація демонструє ключову роль використання за призначенням у виборі системи ОПСП. Як свідчать дані **табл. 2**, для переважної більшості матеріалів, втрата експлуатаційних характеристик (руйнування) якими може призвести до критичних наслідків для безпеки руху, безальтернативно встановлено систему 2+. Водночас, система 4 передбачена лише для допоміжної продукції або для випадків, коли матеріал (наприклад, незв'язна суміш) використовують на ділянках із менш жорсткими вимогами до безпеки. Це підкреслює диференційований підхід законодавця до нагляду за продукцією залежно від її потенційного ризику.

Таблиця 2

Групи дорожньої будівельної продукції та відповідні системи ОПСП

Група продукції	Продукція	Використання за призначенням	Система ОПСП
Бітуми	Природний асфальт / бітум, чистий бітум, флюксований бітум, бітумна емульсія, флюксована бітумна емульсія, розріджений бітум, бітум, модифікований полімером, флюксований бітум, модифікований полімером, бітумна емульсія, модифікована полімером, флюксована бітумна емульсія, модифікована полімером	Для будувannya автомобільних доріг та поверхневої обробки автомобільних доріг	2+
Бітумомінеральні суміші	Асфальтобетонні суміші, включаючи дуже м'які асфальтобетонні суміші та асфальтобетонні суміші для дуже тонких шарів, асфальтобетонні суміші для дренажного асфальтобетону, мастикові асфальтобетонні суміші, щебенево-мастиковий щебенево-мастикові асфальтобетонні суміші, укотковуваний асфальтобетонні суміші. Ці асфальтобетонні суміші можуть містити перероблений (регенерований) асфальтобетон.	Для будувannya автомобільних доріг та поверхневої обробки автомобільних доріг	2+
Поверхневі обробки	Літні емульсійно-мінеральні суміші, мікросюрфейсінг, поверхнева обробка	Для поверхневої обробки автомобільних доріг	2+
Матеріали та комплекти для гідроізолювання проїзної частини мостів	Мастикові асфальтобетонні суміші, збірні мембрани, готові бітумні листи, смоли / поліуретан (рідкого нанесення)	Для проїзної частини мостів	2+
Допоміжна продукція	Дюбелі, заповнювачі шва, герметики шва	Для бетонних автомобільних доріг	4
Незв'язні суміші	Незв'язні суміші для автомобільних доріг	Для автомобільних доріг з високими вимогами безпеки	2+
		Для автомобільних доріг без високих вимог безпеки	4

Суттєві експлуатаційні характеристики дорожньої будівельної продукції в системі основних вимог до споруд

Згідно зі статтею 4 Закону № 850-IX [1], показники суттєвих експлуатаційних характеристик будівельної продукції мають бути безпосередньо пов'язані з основними вимогами до будівель і споруд. Це створює логічну вертикаль: від безпеки об'єкта будівництва в цілому до конкретного показника матеріалу (наприклад, вмісту бітуму чи міцності щебеню).

Статтею 7² Закону України «Про будівельні норми» [2] встановлено сім груп основних вимог, яким має відповідати споруда впродовж усього строку її експлуатування, а саме:

1. Механічний опір та стійкість;
2. Пожежна безпека;
3. Гігієна, здоров'я та захист довкілля;
4. Безпека та доступність під час експлуатування;
5. Захист від шуму та вібрації;
6. Енергозбереження та енергоефективність;
7. Стале використання природних ресурсів.

Для коректного складання Декларації показників згідно із Законом № 850-IX [1] виробник повинен керуватися переліком характеристик, які Мандат М/124 [6] визначає як суттєві для конкретної сфери призначення. У **табл. 3** систематизовано ці вимоги для трьох ключових груп матеріалів у послідовності: від бітумних в'язучих до незв'язних сумішей.

Таблиця 3

Суттєві експлуатаційні характеристики та вимоги до довговічності дорожньої будівельної продукції

Основні вимоги (ОВ)	Експлуатаційні характеристики	Довговічність
Чисті бітуми та бітуми, модифіковані полімером		
1 та 4	Твердість (зокрема залежність від температури) Опір плину / деформації (зокрема залежність від температури) Здатність до твердіння або схоплювання Когезія Адгезія	ТАК (Проти старіння, атмосферного впливу, окиснення... залежно від застосовності)
2		
3	Виділення поліароматичних вуглеводнів Виділення інших небезпечних речовин	
5		
6		
Бітумомінеральні суміші		
1 та 4	Зчеплення в'язучого із заповнювачем Жорсткість Стійкість до залишкових деформацій (наприклад, колієутворення) (зокрема залежність від температури) Стійкість до втоми / утворення тріщин Опір ковзанню Стійкість до стирання Гідралічна провідність	ТАК (Проти старіння, атмосферного впливу, окиснення, зносу, викришування, хімічних речовин, зносу від шипованих шин, відшаровування... залежно від застосовності)

Основні вимоги (ОВ)	Експлуатаційні характеристики	Довговічність
2	Реакція на вогонь	
3		
5	Шумопоглинання	
6		
Незв'язні суміші		
1 та 4	Характеристики заповнювачів Уміст пилюватої фракції Уміст зерен надвеликого розміру Зерновий склад Морозостійкість Лабораторна густина у сухому стані	ТАК (Проти атмосферних впливів, заморожування / відтавання... залежно від застосовності)
2		
3	Вимивання важких металів Виділення інших небезпечних речовин	
5		
6		

Трансформування суттєвих експлуатаційних характеристик у фізико-технічні властивості

Для розуміння того, що саме стоїть за термінами Мандата М/124 [6], необхідно звернутися до національних стандартів, ідентичних гармонізованим європейським стандартам. Саме вони слугують інструментом переходу від юридичної мови до мови лабораторії. Наведена **табл. 4** демонструє ієрархічну структуру декларування, де кожна суттєва характеристика, визначена мандатом, знаходить своє підтвердження через конкретну властивість (або групу властивостей) згідно з відповідним стандартом.

Таблиця 4

Взаємозв'язок суттєвих експлуатаційних характеристик та фізико-технічних властивостей дорожньої будівельної продукції

Експлуатаційна характеристика	Властивість (застосовні положення)	Примітки та задекларовані показники
Бітум дорожній згідно з ДСТУ EN 12591 [8]		
Твердість	Консистенція за помірної температури експлуатування (5.2.2)	Марка: задекларований діапазон
Опір плину / деформації	Консистенція за підвищеної температури експлуатування (5.2.3)	Задекларований діапазон
Твердість	Крихкість за низької температури експлуатування (5.2.4)	Задеклароване найбільше значення Можна використовувати ПНВ
Твердість	Залежність консистенції від температури (5.2.5)	Можна використовувати ПНВ
Здатність до твердіння / Довговічність	Стійкість консистенції за помірної та підвищеної температур експлуатування (5.2.6)	Задеклароване найменше значення залишкової penetraції та Задеклароване найбільше зростання температури розм'якшеності

Експлуатаційна характеристика	Властивість (застосовні положення)	Примітки та задекларовані показники
Виділення небезпечних речовин	Регламентування небезпечних речовин (5.3)	Див. ZA.1, примітка 2
Бітумомінеральні суміші згідно з ДСТУ EN 13108-1 [7]		
Адгезія в'язучого до заповнювача	Уміст повітряних пор (5.2.2) Уміст в'язучого (5.3.1.3) Водостійкість (5.2.4) Температура суміші (5.2.10)	Категорії Категорії Категорії Граничні значення
Жорсткість	Зерновий склад (5.2.1.2, 5.3.1.2) Уміст в'язучого (5.3.1.3) Уміст повітряних пор (5.2.2) Температура суміші (5.2.10)	Значення, % Категорії Категорії Граничні значення
Стійкість до залишкових деформацій	Зерновий склад (5.2.1.2, 5.3.1.2) Уміст в'язучого (5.3.1.3) Уміст повітряних пор (5.2.2) Пори, заповнені бітумом (5.3.3) Пустоти в мінеральному заповнювачі (5.3.4) Температура суміші (5.2.10) Показники за Маршалом для аеродромів (5.3.2) Опір залишковим деформаціям (5.2.6)	Значення, % Категорії Категорії Категорії Категорії Граничні значення Категорії Категорії
Стійкість до втоми / утворення тріщин	Уміст повітряних пор (5.2.2) Температура суміші (5.2.10) Уміст в'язучого (5.3.1.3)	Категорії Граничні значення Категорії
Опір ковзанню	Зерновий склад (5.2.1.2, 5.3.1.2) Уміст в'язучого (5.3.1.3) Уміст повітряних пор (5.2.2)	Значення, % Категорії Категорії
Стійкість до стирання	Зерновий склад (5.2.1.2, 5.3.1.2) Уміст в'язучого (5.3.1.3) Опір стиранню шипованою гумою (5.2.5)	Значення, % Категорії Категорії
Гідравлічна провідність	—	—
Реакція на вогонь	Реакція на вогонь (5.2.7)	—
Шумопоглинання	—	—
Довговічність вищезазначених характеристик проти старіння, атмосферних впливів, окиснення, зносу, викришування, дії хімічних речовин, зносу від шипованих шин, злущування, залежно від застосовності	Усі вищезгадані вимоги мають відношення до довговічності	—

Експлуатаційна характеристика	Властивість (застосовні положення)	Примітки та задекларовані показники
Незв'язні суміші згідно з ДСТУ EN 13285 [9]		
Характеристики заповнювачів ¹⁾	Форма (4.4), розмір (4.3) та густина зерен (5.4) Уміст пилюватих фракцій (4.6), якість пилюватих фракцій (4.7) Відсотковий уміст дроблених зерен / подрібнених поверхонь (4.5) Опір дробленню / роздавлюванню (5.2) Стабільність об'єму (6.5.2) Водопоглинання / всмоктування (5.5) Склад / уміст (наприклад, сірка, глина, мінерали, чутливі до води та схильні до набухання... залежно від застосовності) Опір стиранню Вимивання важких металів (С.3.4) Виділення інших небезпечних речовин (С.3.4)	Категорії, фактичні значення Категорії Категорії Категорії Категорії Фактичні значення Фактичні значення Фактичні значення Фактичні значення Фактичні значення
Уміст пилюватих фракцій	Найбільший та найменший уміст пилюватих фракцій (4.3.2)	Категорії
Уміст зерен надвеликого розміру	Фракція надвеликого розміру (4.3.3)	Категорії
Зерновий склад	Зерновий склад (4.3.4)	Категорії
Морозостійкість	Морозостійкість (4.3.6)	Фактичні значення
Лабораторна густина у сухому стані	Лабораторна густина у сухому стані (4.3.5)	Фактичні значення
Вимивання важких металів	Вимивання важких металів	Фактичні значення
Виділення інших небезпечних речовин	Виділення інших небезпечних речовин	Фактичні значення
¹⁾ Надано застосовні положення згідно з ДСТУ EN 13242.		

Для групи бітумів характерна лінійна залежність. Кожна абстрактна вимога Мандата М/124 [6] має прямий аналог у стандарті. Твердість визначено через консистенцію за помірної температури експлуатування (пенетрацію) та за низької температури експлуатування (температуру крихкості за Фраасом). Опір плину / деформації підтверджують температурою розм'якшеності. Важливим нюансом є можливість використання опції ПНВ (показника не визначено) для показників температури крихкості та залежності консистенції від температури, що дає виробнику певну гнучкість у межах системи ОПСП 2+.

У групі бітумомінеральних сумішей спостерігаємо перехід від лінійної до системної залежності. Одну суттєву характеристику забезпечують цілим комплексом властивостей. Наприклад, адгезія в'язучого до заповнювача не є окремим випробуванням, її декларують через сукупність вмісту повітряних пор, вмісту в'язучого та показника водостійкості. Аналогічно стійкість до залишкових деформацій вимагає контролю як рецептурних параметрів (зерновий склад, пористість), так і результатів безпосередніх випробувань на колісутворення.

Особливість групи незв'язних сумішей полягає в тому, що основний масив характеристик суміші заснований на властивостях заповнювачів, які її складають. Ключовими тут є геометричні та фізичні параметри: форма, розмір, густина зерен та вміст подрібнених зерен.

Поточний стан декларування показників дорожньої будівельної продукції

Перехід вітчизняного дорожнього будівництва на європейську систему декларування виявив суттєвий розрив між нормативною теорією та ринковою практикою. Наразі в Єдиній державній електронній системі у сфері будівництва [13] зареєстровано сімнадцять Декларацій показників у категорії «Дорожня будівельна продукція» (табл. 5).

Таблиця 5

Зареєстровані декларації показників у категорії «Дорожня будівельна продукція»

Ч.ч.	Номер декларації	Назва продукції	Позначення національного стандарту	Система ОПС
1	DP01:6579-5468-1605-4587	Бордюр парковий (поребрик) бетонний вібропресований	ДСТУ Б EN 1340:2016	4
2	DP01:5996-7986-4045-7525	Борт дорожній (бордюр) бетонний вібропресований	ДСТУ Б EN 1340:2016	4
3	DP01:3800-7198-3664-4857	Бетонний бордюр	ДСТУ Б EN 1340:2016	4
4	DP01:5718-2654-7320-5915	Бітумна емульсія	ДСТУ EN 13808:2020 (EN 13808:2013, IDT)	2+
5	DP01:9545-8220-3564-2260	Бітум дорожній	ДСТУ EN 12591:2017 (EN 12591:2009, IDT)	2+
6	DP01:4174-7405-2515-5463	Брущатка бетонна	ДСТУ Б EN 1338:2016	4
7	DP01:4174-5419-4163-8967	Плити бетонні тротуарні «Brukland»	ДСТУ Б EN 1339:2016	4
8	DP01:4869-5925-0813-9116	Бітумомінеральна суміш	ДСТУ EN 13108-1:2019 (EN 13108-1:2006, IDT)	2+
9	DP01:4863-7669-2187-2542	Бітумомінеральна суміш	ДСТУ EN 13108-1:2019 (EN 13108-1:2006, IDT)	2+
10	DP01:4850-1308-8724-7578	Бітумомінеральна суміш	ДСТУ EN 13108-1:2019 (EN 13108-1:2006, IDT)	2+
11	DP01:4842-4343-0585-2926	Бітумомінеральна суміш	ДСТУ EN 13108-1:2019 (EN 13108-1:2006, IDT)	2+
12	DP01:4835-8583-8376-6849	Бітумомінеральна суміш	ДСТУ EN 13108-1:2019 (EN 13108-1:2006, IDT)	2+
13	DP01:4828-8836-4209-1285	Бітумомінеральна суміш	ДСТУ EN 13108-1:2019 (EN 13108-1:2006, IDT)	2+
14	DP01:4761-2712-0995-3104	Бітумомінеральна суміш	ДСТУ EN 13108-1:2019 (EN 13108-1:2006, IDT)	2+
15	DP01:4748-4973-6484-6406	Бітумомінеральна суміш	ДСТУ EN 13108-1:2019 (EN 13108-1:2006, IDT)	2+
16	DP01:4736-8505-9633-2725	Бітумомінеральна суміш	ДСТУ EN 13108-1:2019 (EN 13108-1:2006, IDT)	2+
17	DP01:3553-7767-8975-1089	Бітумомінеральна суміш	ДСТУ EN 13108-1:2019 (EN 13108-1:2006, IDT)	2+

Аналіз Декларацій показників, внесених до бази даних, дозволяє ідентифікувати дві фундаментальні проблеми імплементації: імітування процедур оцінки відповідності та категоризаційний хаос. Перша і найбільш критична проблема пов'язана з базовим матеріалом для влаштування шарів дорожнього одягу — бітумомінеральними сумішами згідно з ДСТУ EN 13108-1:2019 [7]. Згідно з вимогами Мандата М/124 [6], ця продукція безальтернативно підлягає оцінці за системою 2+. Аналіз реєстру показує, що виробники формально вказують Систему 2+ у своїх деклараціях. Проте в абсолютно всіх документах відсутня інформація про залучення призначеного органу.

У межах Системи 2+ виробник дійсно самостійно проводить випробування типу продукції, але ключовою юридичною вимогою є первинне інспектування виробничого підприємства та контролю виробництва на підприємстві (КВП), а також подальший безперервний нагляд, оцінка та аналіз КВП з боку незалежного призначеного органу. Відсутність сертифіката КВП перетворює задекларовану Систему 2+ на де-факто Систему 4 (самодекларування). З юридичної точки зору, використання таких декларацій для об'єктів інфраструктури з високими вимогами до безпеки (ОВ 4) є нелегітимним, оскільки не підтверджено стабільність виробничого процесу.

Друга проблема лежить у площині нерозуміння європейської системи сімейств продукції, що призводить до реєстрування нерелевантних матеріалів у категорії «Дорожня будівельна продукція». У реєстрі наявні бетонні бордюри згідно з ДСТУ Б EN 1340:2016 [10], бруківка згідно з ДСТУ Б EN 1338:2016 [11] та тротуарні плити згідно з ДСТУ Б EN 1339:2016 [12], заявлені як дорожня будівельна продукція. Виробники використовують побутову логіку, ігноруючи європейську структуру технічного регулювання. Відповідно до рішень Єврокомісії, ці матеріали є елементами благоустрою або збірним бетоном і регулюються іншими мандатами, для яких правомірно застосовується система 4. Їхня присутність у масиві Мандата М/124 [6] є грубою категоризаційною помилкою.

Отже, практика показує, що без жорсткого ринкового нагляду інструмент Декларації показників перетворюється на формальність. Виробники заповнюють документи, керуючись не алгоритмами гармонізованих стандартів та мандатів, а прагненням обійти фінансові витрати на сертифікацію або недостатнім рівнем технічної грамотності.

Висновки

Впровадження Закону № 850-IX формує нове правове поле, де центральним документом, що підтверджує суттєві експлуатаційні характеристики будівельної продукції, стає Декларація показників. Встановлено, що вибір системи оцінки та перевірки стабільності показників (ОПСП) регламентовано не стандартами, а спеціальними правовими актами Європейської Комісії — мандатами (зокрема Мандатом М/124 для дорожньої будівельної продукції). При цьому визначальним чинником суворості контролю є сфера використання продукції за призначенням.

Трансформування суттєвих експлуатаційних характеристик у фізико-технічні властивості згідно з національними стандартами є складною ієрархічною структурою — переходом від юридичної мови до мови лабораторії. Цей процес еволюціонує від лінійної залежності, характерної для бітумів, до складної системної залежності для бітумомінеральних сумішей, де одну суттєву характеристику забезпечують цілим комплексом лабораторних властивостей.

Емпіричний аналіз сімнадцяти зареєстрованих Декларацій показників у Єдиній державній електронній системі у сфері будівництва [13] виявив критичну проблему імітування процедур оцінки відповідності. Виробники бітумомінеральних сумішей формально зазначають систему 2+, проте не залучають призначений орган для первинного інспектування та безперервного нагляду за контролем виробництва на підприємстві (КВП). Відсутність дійсного сертифіката КВП де-факто зводить систему 2+ до нелегітимного самодекларування (системи 4), що є неприпустимим для об'єктів інфраструктури з високими вимогами до безпеки.

Виявлено проблему «категоризаційного хаосу», зумовлену використанням виробниками побутової логіки замість європейської структури сімейств продукції. До масиву Мандата М/124

масово і помилково вносять елементи благоустрою та збірного бетону (бетонні бордюри, бруківку, тротуарні плити), які насправді регулюються іншими мандатами (зокрема М/119) із правомірним застосуванням системи 4.

Доведено, що за відсутності жорсткого державного ринкового нагляду інструмент Декларації показників перетворюється на формальність. Замість дотримання алгоритмів гармонізованих європейських стандартів, ринкова практика наразі керується недостатнім рівнем технічної грамотності учасників або їхнім прагненням уникнути фінансових витрат на законну сертифікацію.

Список літератури

1. Про надання будівельної продукції на ринку: Закон України від 02.09.2020 № 850-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/850-20#Text> (дата звернення: 23.02.2026).
2. Про будівельні норми: Закон України від 05.11.2009 № 1704-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1704-17#Text> (дата звернення: 23.02.2026).
3. Деякі питання надання будівельної продукції на ринку (Форма декларації показників будівельної продукції): Постанова Кабінету Міністрів України від 23.12.2021 № 1458. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1458-2021-п#Text> (дата звернення: 23.02.2026).
4. Про затвердження систем оцінки та перевірки стабільності показників будівельної продукції: Постанова Кабінету Міністрів України від 09.06.2021 № 596. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/en/596-2021-%D0%BF#Text> (дата звернення: 23.02.2026).
5. Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC. *Official Journal of the European Union*. 2011. L 88. P. 5–43.
6. M/124 Mandate to CEN/CENELEC concerning the execution of standardisation work for harmonised standards on road construction products. European Commission, Enterprise and Industry Directorate-General. Brussels, 1998.
7. ДСТУ EN 13108-1:2019 (EN 13108-1:2006, IDT) Бітумомінеральні суміші. Технічні вимоги до матеріалів. Частина 1. Асфальтобетон [Чинний від 2020.01.01].
8. ДСТУ EN 12591:2017 (EN 12591:2009, IDT) Бітум та бітумні в'язучі. Технічні вимоги до дорожніх бітумів [Чинний від 2017.10.01].
9. ДСТУ EN 13285:2021 (EN 13285:2018, IDT) Суміші незв'язні. Технічні умови [Чинний від 2021.08.01].
10. ДСТУ Б EN 1340:2016 Бордюри бетонні. Вимоги і методи випробувань [Чинний від 2017.01.01].
11. ДСТУ Б EN 1338:2016 Брущатка бетонна. Вимоги і методи випробувань. [Чинний від 2017.01.01].
12. ДСТУ Б EN 1339:2016 Плити бетонні для пішохідних доріжок і тротуарів. Вимоги і методи випробувань [Чинний від 2017.01.01].
13. Реєстр будівельної діяльності: Декларації показників будівельної продукції // Єдина державна електронна система у сфері будівництва (ЄДЕССБ). URL: <https://e-construction.gov.ua> (дата звернення: 23.02.2026).

References

1. Verkhovna Rada of Ukraine. (2020). Pro nadannia budivelnoi produktsii na rynku [On providing construction products on the market] (Law No. 850-IX, September 2). Retrieved February 23, 2026, from URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/850-20#Text> [in Ukrainian].
2. Verkhovna Rada of Ukraine. (2009). Pro budivelni normy [On building codes] (Law No. 1704-VI, November 5). Retrieved February 23, 2026, from URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1704-17#Text> [in Ukrainian].
3. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2021). Deiaki pytannia nadannia budivelnoi produktsii na rynku (Forma deklaratsii pokaznyviv budivelnoi produktsii) [Some issues of providing construction products on the market (Form of declaration of performance of construction products)]

(Resolution No. 1458, December 23). Retrieved February 23, 2026, from URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1458-2021-п#Text> [in Ukrainian].

4. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2021). Pro zatverdzhennia system otsinky ta perevirky stabilnosti pokaznykiv budivelnoi produktsii [On approval of the systems of assessment and verification of constancy of performance of construction products] (Resolution No. 596, June 9). Retrieved February 23, 2026, from URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/en/596-2021-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].

5. European Parliament and Council. (2011). Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC. Official Journal of the European Union, L 88, 5–43 [in English].

6. European Commission. (1998). M/124 Mandate to CEN/CENELEC concerning the execution of standardisation work for harmonised standards on road construction products. Brussels: Enterprise and Industry Directorate-General [in English].

7. DSTU EN 13108-1:2019 (EN 13108-1:2006, IDT) Bitumomineralni sumishi. Tekhnichni vymohy do materialiv. Chastyna 1. Asfaltobeton [Bituminous mixtures. Material specifications. Part 1. Asphalt Concrete] [in English].

8. DSTU EN 12591:2017 (EN 12591:2009, IDT) Bitum ta bitumni viazhuchi. Tekhnichni vymohy do dorozhnikh bitumiv [Bitumen and bituminous binders. Specifications for paving grade bitumens] [in English].

9. DSTU EN 13285:2021 (EN 13285:2018, IDT) Sumishi nezviazni. Tekhnichni umovy [Unbound mixtures. Specifications] [in Ukrainian].

10. DSTU B EN 1340:2016 Bordiury betonni. Vymohy i metody vyprobuvan [Concrete kerb units. Requirements and test methods] [in Ukrainian].

11. DSTU B EN 1338:2016 Brushchatka betonna. Vymohy i metody vyprobuvan [Concrete paving blocks. Requirements and test methods] [in Ukrainian].

12. DSTU B EN 1339:2016 Plyty betonni dlia pishokhidnykh dorizhok i trotuariv. Vymohy i metody vyprobuvan [Concrete paving flags. Requirements and test methods] [in Ukrainian].

13. Unified State Electronic System in the Construction Sector (e-Construction). (2026). Reiestr budivelnoi diialnosti: Deklaratsii pokaznykiv budivelnoi produktsii [Register of construction activity: Declarations of performance of construction products]. Retrieved February 23, 2026, from URL: <https://e-construction.gov.ua> [in Ukrainian].

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

CHALLENGES IN DECLARING THE PERFORMANCE OF ROAD CONSTRUCTION PRODUCTS UNDER THE IMPLEMENTATION OF REGULATION (EU) NO 305/2011

Abstract

Introduction. The reform of the technical regulation system in Ukraine's road construction industry and the transition to the European model of declaring performance — in accordance with Regulation (EU) No 305/2011 and Law No. 850-IX — require market participants to fundamentally rethink their approaches to generating supporting documentation and the allocation of responsibility.

Problem Statement. The practical application of new norms has revealed a series of systemic conflicts at the intersection of national legislation, European standards, and European Commission mandates. A significant gap has been identified between regulatory theory and market practice regarding the implementation of Declarations of Performance (DoP).

Objective. To analyze the legal and technical discrepancies in declaring the performance of road construction products and to investigate their impact on the validity and legal force of such declarations.

Methods. Systems analysis was employed to structure the Assessment and Verification of Constancy of Performance (AVCP) systems. Hierarchical analysis was used to study the transformation of essential characteristics into physical and technical properties, alongside an empirical analysis of open data from the Unified State Electronic System in the Construction Sector.

Results. The study demonstrates the pivotal role of Mandate M/124 in selecting AVCP systems and establishes a transition from linear to systemic dependence of characteristics for bituminous mixtures. Analysis of the Declaration of Performance registry revealed widespread imitation of conformity assessment procedures: specifically, the declaration of bituminous mixtures under System 2+ without the involvement of a notified body and in the absence of a factory production control certificate. Furthermore, «categorization chaos» was identified — the erroneous registration of precast concrete elements (kerbs, paving blocks) as road construction products.

Conclusions. The lack of objective involvement of notified bodies de facto transforms the declared System 2+ into a self-declaration system (System 4), which is legally illegitimate for infrastructure projects with high safety requirements. Without rigorous state market surveillance, the Declaration of Performance instrument risks becoming a mere formality.

Keywords: road construction products, Declaration of Performance (DoP), Regulation (EU) No 305/2011, Law No. 850-IX, AVCP systems, Mandate M/124, bituminous mixtures.

УДК 625.7/8

Ілляш С. І., канд. техн. наук, <http://orcid.org/0000-0002-3001-8012>Зеленовський В. А., д-р філос. з будівництва та цивільної інженерії, <https://orcid.org/0000-0001-5834-5456>Рибальченко С. А., <https://orcid.org/0000-0002-4628-9546>

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

УДОСКОНАЛЕННЯ ТА РОЗВИТОК ПРОЄКТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ДОРОЖНЬОГО СЕРВІСУ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

Анотація

Вступ. У статті розглянуті питання щодо удосконалення та розвитку проєктування об'єктів дорожнього сервісу — спеціально облаштованих місць, на яких здійснюється обслуговування учасників дорожнього руху та які розміщуються на землях дорожнього господарства або потребують їх використання для заїзду та виїзду на автомобільні дороги загального користування (далі — автомобільні дороги). Серед них особливу увагу наділено об'єктам дорожнього сервісу, які складають їх значну частину та є власністю державних організацій — відпочинкові майданчики та зупинки маршрутного транспорту. Удосконалення проєктування цих об'єктів були розроблені на підставі вітчизняного і світового досвіду та аналізу чинних вітчизняних і європейських нормативно-правових актів, будівельних норм, нормативних документів, технічної літератури за напрямком об'єкта стандартизації.

Проблематика. Потреба в удосконаленні та розвитку проєктування об'єктів дорожнього сервісу, з урахуванням сучасних вимог їх експлуатування, визначенням відповідних геометричних параметрів, характеристик і споживчих властивостей об'єктів.

Мета статті. Інформування фахівців дорожнього господарства про розроблення нових нормативних документів у сфері проєктування об'єктів дорожнього сервісу та обґрунтування потреби в їх подальшому удосконаленні.

Матеріали і методи. У статті використано напрацювання ДП «НІРІ» за напрямком досліджень, чинні вітчизняні нормативно-правові акти, будівельні норми та національні стандарти, закордонні нормативно-правові акти та нормативні документи і технічна література щодо проєктування об'єктів дорожнього сервісу. Під час розроблення нормативних документів урахувано також вітчизняний і європейський досвід їх проєктування та експлуатування.

Результат. З метою впровадження сучасних розроблень щодо проєктування об'єктів дорожнього сервісу розроблено ДСТУ 9325:2025 «Настанова з проєктування відпочинкових майданчиків на автомобільних дорогах загального користування» та ДСТУ 9326:2025 «Настанова з проєктування зупинок маршрутного транспорту на автомобільних дорогах загального користування», вимоги яких ураховують сучасні підходи до організування безпеки та комфортності дорожнього руху і забезпеченню інклюзивності, а також актуалізують дорожню термінологію.

Висновки. Запропоновані в нових національних стандартах загальні настанови з проєктування об'єктів дорожнього сервісу встановлюють нові науково обґрунтовані вимоги до параметрів, характеристик і споживчих властивостей об'єктів, що сприятиме підвищенню безпеки та комфортності дорожнього руху і забезпеченню інклюзивності.

Ключові слова: автомобільна дорога, відпочинковий майданчик, дорожній покриття, зона відпочинку, зупинки маршрутного транспорту, майданчик для стоянки транспортних засобів, маломобільні групи населення, об'єкт дорожнього сервісу.

Вступ

Національна транспортна стратегія України (далі — Стратегія), схвалена постановою Кабінету Міністрів України від 27.12.2024 № 1550, зазначає, що сучасний стан галузі транспорту не повною мірою відповідає вимогам ефективної реалізації євроінтеграційного курсу України та інтеграції національної транспортної мережі до транс'європейських Trans-European Transport Network (TEN-T). Стратегічними цілями Стратегії зокрема визначено розвиток ефективної транспортної системи, інтегрованої до транс'європейської транспортної мережі, відповідно до політики та стандартів ЄС і забезпечення якісних пасажирських перевезень та безперешкодної мобільності, що потребує наявності розвитої системи дорожнього сервісу.

Стратегія зазначає, що з огляду на закріпленій у Конституції України курс на європейську та євроатлантичну інтеграцію та на переорієнтацію транспортних потоків до ЄС, яка розпочалась ще до повномасштабного вторгнення Російської Федерації на територію України та суттєво прискорила з його початком, національна транспортна система об'єктивно потребує якнайшвидшої нормативної та технічної інтеграції до транспортної системи ЄС.

Завдання Стратегії зокрема спрямовані на:

- розвиток та технічне обслуговування автомобільних маршрутів, включених до індикативних карт транс'європейської транспортної мережі;
- запровадження сучасних стандартів та підходів на усіх етапах життєвого циклу автомобільних доріг;
- забезпечення функціональної прийнятності мережі автомобільних доріг загального користування шляхом їх відновлення та розвитку з урахуванням інтеграції української мережі автомобільних доріг до європейської.

Потрібно зазначити, що пріоритети та завдання Стратегії в частині розвитку, будівництва, реконструкції, ремонту, облаштування та модернізації пунктів пропуску через державний кордон, їх утримання та експлуатування деталізуються в Стратегії розвитку та розбудови прикордонної інфраструктури з країнами Європейського Союзу та Республікою Молдова до 2030 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24.12.2024 № 1337-р, якою передбачається розвиток і розбудова сервісних зон, а саме території перед пунктом пропуску для автомобільного сполучення, на якій особам, що здійснюють рух через державний кордон, надаються послуги з харчування, медичної допомоги, торгівлі, страхування, проживання, технічного обслуговування та заправлення паливом автомобільного транспорту, паркування тощо. На Львівщині, на кордоні з Польщею, вже будують майданчики для стоянки вантажівок. Зараз на пунктах перетину державного кордону вантажні автомобілі по кілька днів стоять вздовж дороги на кордон і виникає потреба у відпочинкових майданчиках, що мають відповідний сервіс, як це є на території європейських країн.

Очікуваними результатами досягнення стратегічних цілей окремо визначено:

- удосконалення підходів до проєктування, будівництва та утримання автомобільних доріг з урахуванням кращих світових практик та європейських стандартів;
- забезпечення надання населенню високоякісних, безпечних та доступних транспортних послуг, у тому числі з туристичною чи рекреаційною метою, незалежно від місця проживання відповідно до європейських стандартів якості послуг пасажирського транспорту;
- збільшення до 2030 року частки об'єктів транспортної інфраструктури, дорожнього сервісу, облаштованих з урахуванням потреб осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення (далі — МГН), до 60 відсотків.

Для виконання зазначених цілей одним з перших завдань є удосконалення проєктування, зокрема об'єктів дорожнього сервісу.

Окремо потрібно зазначити, що відпочинкові майданчики потрібні для виконання постанови Кабінету Міністрів України від 27.06.2007 № 879 «Про заходи щодо збереження автомобільних доріг загального користування» (зі змінами), якою передбачено впровадження заходів зі збереження несучої здатності конструкції дорожнього одягу від впливу динамічних навантажень в умовах підвищеної температури повітря.

Ця стаття має оглядовий характер і містить пропозиції щодо вдосконалення проектування зупинок маршрутного транспорту, відпочинкових майданчиків та інших місць для стоянки автомобільного транспорту та відпочинку учасників дорожнього руху.

Виклад основного матеріалу

Базовими документами, що на даний час встановлюють ці вимоги є відповідно ГБН В.2.3-37641918-549:2018 «Автомобільні дороги. Майданчики для стоянки транспортних засобів і відпочинку учасників дорожнього руху. Загальні вимоги проектування» та ГБН В.2.3-37641918-550:2018 «Автомобільні дороги. Зупинки маршрутного транспорту. Загальні вимоги проектування» та ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво».

Наказом Національного органу стандартизації ДП «УкрНДНЦ» від 15.05.2025 № 76 прийняті вперше з наданням чинності з 01.10.2025 ДСТУ 9325:2025 та ДСТУ 9326:2025, які будуть встановлювати загальні вимоги до проектування відпочинкових майданчиків і зупинок маршрутного транспорту є відповідно. Ці нормативні документи враховують вимоги ДБН В.2.3-4:2015 до цих об'єктів сервісу.

У ДСТУ 9325:2025 подано визначення термінів «відпочинок і «перерва» з урахуванням «Положення про робочий час і час відпочинку водіїв колісних транспортних засобів» (далі — Положення), затвердженого наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 07.06.2010 № 340, яке враховує РЕГЛАМЕНТ ЄВРОПЕЙСЬКОГО ПАРЛАМЕНТУ І РАДИ (ЄС) № 561/2006 від 15.03.2006 про гармонізацію певного соціального законодавства стосовно дорожнього транспорту, внесення змін до регламентів Ради (ЄЕС) № 3821/85 та (ЄС) № 2135/98, і скасування Регламенту Ради (ЄЕС) № 3820/85.

Зазначено, що відпочинкові майданчики влаштовують для відпочинку учасників дорожнього руху, зокрема для перерви на відпочинок водіїв, які здійснюють перевезення пасажирів або/та вантажів згідно з розділом IV Положення, яке надає роз'яснення щодо строків перерв (45 хв після 4 год 30 хв роботи, або 15 хв та 30 хв) (**рис. 1**).



Рисунок 1

Залежно від розташування відпочинкових майданчиків їх встановлено класифікацію за типами:

- міжміські, які розташовані за межами міської смуги;
- при об'єкті, які розташовані в межах населених пунктів, а також на відстані до 1 км або поряд з природними або соціально-культурними об'єктами, що задовольняють естетичним

потребам автотуристів та інших учасників дорожнього руху (природними ландшафтами, пам'ятками архітектури або історії, культовими об'єктами тощо), а також іншими об'єктами, де постійно зупиняються учасники дорожнього руху для перерви та відпочинку (транспортно-пересадочними вузлами, місцями перетину державного кордону тощо).

Установлено вимоги до їх складових, а саме до:

- майданчиків для стоянки транспортних засобів (далі — ТЗ);
- з'їздів / в'їздів з/на автомобільної(у) дороги(у) до/з відпочинкового майданчика;
- зон відпочинку для учасників руху;
- пішохідних доріжок та елементів їх облаштування;
- споруд для відведення поверхневих стічних вод;
- споруд інженерного захисту (у разі потреби);
- очисних споруд і випарних басейнів (у разі потреби);
- технічних засобів організування дорожнього руху (далі — ТЗОДР);
- інженерного та архітектурного облаштування і елементів благоустрою відповідно до

завдання на проєктування.

Установлено вимоги щодо призначення та розміщення відпочинкових майданчиків.

Складовою нововведень у вітчизняних будівельних нормах і нормативних документах є показники щодо розміщення відпочинкових майданчиків, залежно від інтенсивності руху, які рекомендовано приймати згідно з **табл. 1**.

Таблиця 1

Показники щодо розміщення відпочинкових майданчиків

Інтенсивність руху в транспортних одиницях, авт/добу	Відстань між відпочинковими майданчиками не менше ніж, км	Кількість місць для паркування	Розміщення відносно осі автомобільної дороги
Понад 35 000	20	Понад 30	двостороннє
» 25 000 до 35 000 включ.	25	» 25 до 30 включ.	двостороннє
» 15 000 » 25 000 »	30	» 20 » 25 »	двостороннє
» 10 000 » 15 000 »	40	» 15 » 20 »	двостороннє
» 5 000 » 10 000 »	50	» 8 » 15 »	двостороннє
» 2 000 » 5 000 »	55	» 7 » 13 »	одностороннє
Не більше ніж 2 000	60	7	одностороннє

Майданчики відпочинку рекомендовано влаштовувати не ближче ніж 1 км від населених пунктів. У разі розміщення майданчиків у межах населеного пункту або на відстані ближче ніж 1 км від нього дозволено приймати кількість місць для паркування з коефіцієнтом 0,6.

Під час вибору місця розташування відпочинкового майданчика потрібно враховувати:

- наявність об'єктів маршрутного орієнтування, туристичних маршрутів, пунктів масового відвідування та обслуговування (пунктів громадського харчування, мотелів, кемпінгів, закладів торгівлі, заправних станцій тощо);
- відстані видимості у плані, поздовжньому профілі та бічну видимість відповідно до ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги. Частина І. Проєктування. Частина ІІ. Будівництво»;
- мінімальні відстані до інженерних споруд і мереж;
- наявність водоохоронних зон рік та інших поверхневих водоймищ;
- наявний радіаційний фон тощо.

Конфігурацію та розміри майданчиків для стоянки ТЗ і з'їздів / в'їздів до них визначають з урахуванням розташування певної кількості РТЗ за їх видами і габаритами, мінімального радіуса повороту РТЗ та його динамічного габариту D_g для здійснення маневрів відповідно до

ГБН В.2.3-37641918-555:2016 «Автомобільні дороги. Транспортні розв'язки в одному рівні. Проектування».

Уперше встановлено геометричні розміри та розподіл майданчиків відпочинку за планувальними рішеннями (розміщення майданчика для стоянки ТЗ відносно автомобільної дороги). Майданчики за планувальними рішеннями з розміщення поділяють на:

- кишенькового типу — що примикають до дороги з улаштуванням прямого островця;
- тупикового типу — в яких суміщений з'їзд / в'їзд;
- наскрізного типу — в яких влаштовано з'їзд / в'їзд з одностороннім рухом на майданчику

з улаштуванням прямого островця.

З'їзд / в'їзд влаштовують шириною:

- з одностороннім рухом — 5,5 м;
- з двостороннім рухом — 6,5 м.

Зони стоянок для автобусів, вантажного та легкового транспорту повинні бути розмежовані та забезпечувати для кожного типу ТЗ окремий в'їзд на відповідний майданчик для стоянки. У разі складання плану майданчиків для стоянки ТЗ понад 25 автопотягів рекомендовано призначати окремі зони для автопотягів і вантажних автомобілів. Кількість місць для паркування вантажних ТЗ повинна складати від 20 % до 50 % від загальної.

З'їзд / в'їзд влаштовують шириною:

- з одностороннім рухом — 5,5 м;
- з двостороннім рухом — 6,5 м.

Ширину проїзду на майданчику для стоянки ТЗ залежно від їх типів, приймають відповідно до **табл. 2**.

Таблиця 2

Ширина проїзду залежно від типів ТЗ

Типи ТЗ	Ширина проїзду, м
Всі типи ТЗ для проїзду з двостороннім рухом	6,50
Проїзди з одностороннім рухом	
Вантажні та легкові автомобілі, автобуси, легкові автомобілі з причепами (кемпері) разом	6,50
Тільки легкові автомобілі	4,50
Тільки легкові автомобілі з одночасним наскрізним проїздом автобусів та/або легкових автомобілів з причепами (кемперів)	5,50

Мінімальні розміри одного місця для паркування з урахуванням мінімально допустимих зазорів безпеки потрібно приймати не менше ніж для:

- легкових ТЗ — 2,5 м × 5,50 м;
- вантажних ТЗ — 3,5 м × 18,0 м;
- автобусів — 3,5 м × 14,0 м;
- легкових ТЗ з причепами (кемперів) — 3,5 м × 14,0 м;
- мотоциклів — 1,2 м × 2,5 м.

Якщо місце для паркування використовують для різних видів ТЗ, його розміри повинні відповідати найбільшому ТЗ. Місця для паркування позначають дорожньою розміткою 1.34 згідно з ДСТУ 2587:2021 «Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні умови».

У зоні для стоянки легкових автомобілів призначають місця для паркування ТЗ, якими керують особи з інвалідністю, в обсязі не менше ніж 10 % місць для стоянки (але не менше двох місць). Місця для паркування повинні мати розміри не менше ніж 3,5 м × 8,0 м і позначені дорожньою розміткою 1.35 згідно з ДСТУ 2587:2021.

Розташування місць для паркування ТЗ, якими керують особи з інвалідністю, повинні забезпечувати доступ до задньої частини ТЗ, щоб використовувати пандус або підйомний пристрій відповідно до рисунка 6 ДБН В.2.2-40:2018 «Інклюзивність будинків і споруд. Основні положення».

З місця для паркування потрібно передбачити безперешкодний доступ до тротуару або пішохідної доріжки для МГН.

У водіїв ТЗ під час руху поступово в міру втоми збільшується час реакції, зменшується уважність, зростає кількість помилок і збільшується час на виконання необхідних операцій при керуванні. Інститут гігієни та фізіології праці в Цюріху для водіїв-професіоналів рекомендує робити зупинки на 5 хвилин через кожну годину руху, а після 2-ї та 4-ї години руху зупинка має бути не менше ніж 30 хв з легкою закускою. Для комфортного відпочинку учасників дорожнього руху зони відпочинку передбачено облаштування відпочинкових майданчиків спорудами для відпочинку, громадськими вбиральнями, локальними очисними спорудами, пішохідними доріжками, інженерними комунікаціями, елементами архітектурного облаштування та благоустрою.

Споруди відпочинку (павільйони, альтанки, перголи тощо) зі столами та лавками з урахуванням, що їх розмір повинен задовольняти мінімальні розміри функціональної зони для осіб на колісних кріслах. На вході до споруди, яку використовують відвідувачі на колісних кріслах, дозволено влаштування ганку за умови влаштування пандуса відповідно до ДБН В.2.2-40.

Геометричні параметри пішохідних доріжок, пандусів і споруд відпочину також повинні відповідати вимогам ДБН В.2.2-40, а їх покриття вимогам ДБН Б.2.2-5:2011 «Планування та забудова міст, селищ і функціональних територій. Благоустрій територій».

У зонах відпочинку дозволено мати дитячі ігрові майданчики згідно з ДБН Б.2.2-5, які вже влаштовані на окремих об'єктах відпочинку на автомобільних дорогах, зокрема рекреаційних пунктах ДП «Ліси України» (рис. 2).



https://drive.google.com/file/d/1F_eKrxuddJRToaVPFqf5yoPYcH14zXiT/view

Рисунок 2

ДСТУ 9326:2025 класифікує зупинки маршрутного транспорту (далі — зупинки) за розташуванням як кінцеві та проміжні.

Проміжні зупинки, за використанням, розподіляють на:

- уособлені, які призначені для окремого маршруту;
- сумісні, призначені для двох і більше маршрутів одного напрямку;
- пересадочні, на яких відбувається зміна напрямку руху окремих пасажирів.

Складовими елементами зупинок є:

- зупинковий майданчик;
- посадковий майданчик;
- автопавільйон або навіс (далі — автопавільйон) з лавкою / лавками;
- пішохідні доріжки з елементами їх облаштування;
- громадська вбиральня (відповідно до завдання на проєктування);
- споруди інженерного захисту (у разі потреби);
- ТЗОДР;
- інженерне та архітектурне облаштування та елементи благоустрою відповідно до завдання на проєктування.

Місткість та відповідні параметри посадкових майданчиків (рис. 3) призначають за прогнозом на десятирічний перспективний пасажирообіг з урахуванням можливостей їх подальшого розвитку. Довжину зупинкового / посадкового майданчиків призначають:

- на уособлених зупинках — за довжиною найдовшого МТЗ плюс 2 м, але не менше ніж 12 м;
- на пересадочних і сумісних зупинках — не менше ніж 20 м.



<https://www.istockphoto.com/uk/search/2/image-film?page=51&phrase=автобусна%20зупинка>

Рисунок 3

Установлено геометричні параметри перехідно-швидкісних смуг, клинів відгону, зупинкового майданчика, а також посадкового майданчика та пішохідних доріжок з урахуванням вимог ДБН В.2.2-40 і ДБН Б.2.2-5:2011.

Установлено вимоги щодо призначення та розміщення зупинок. У додатку А наведено схеми-приклади їх розміщення.

Визначені вимоги щодо складових елементів зупинок:

- дорожнього одягу;
- бордюрів;
- павільйону;
- інженерного облаштування;
- організування дорожнього руху;
- прилеглої території.

Геометричні параметри та освітлення громадських вбиралень або мобільних туалетів на об'єктах дорожнього сервісу повинні відповідати вимогам цих національних стандартів і ДБН В.2.2-40, а їх покриття — вимогам ДБН Б.2.2-5:2011. Мобільні туалети влаштовують згідно з

ДБН Б.2.2-5. Одна з мобільних туалетних кабін має бути доступна для осіб з інвалідністю, які пересуваються в колісних кріслах, та ідентифікована піктограмою Міжнародного символу доступності.

У нормативних документах викладено вимоги щодо охорони довкілля.

Встановлено вимоги до місць влаштування бюветів, шахтних колодязів і каптажів джерел та фізико-хімічних показників природної води.

Наведені вимоги до локальних очисних споруд для збирання рідких побутових відходів у складі септика та фільтрувального колодязя.

Ураховані умови збереження і використання родючого ґрунту з метою рекультивації порушених земель, улаштування системи поверхневого водовідведення, вибору місця розміщення очисних споруд, місця стоянки машин та механізмів під час будівництва з дорожнім покриттям згідно з ДБН В.2.3-4, заправлення їх паливно-мастильними матеріалами, технічного оглядання та обслуговування і відповідні захисні засоби для запобігання потраплянню токсичних викидів на прилеглу територію.

Висновки

Розроблені нормативні документи враховують значне збільшення обсягів пасажирських і вантажних перевезень та удосконалюють вимоги до об'єктів стандартизації, зокрема стосовно інклюзивності та збереження довкілля.

ДСТУ 9325:2025 ураховує Стратегію розвитку туризму та курортів на період до 2026 року, затверджену розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16.03.2017 № 168-р, у якій туризм визнано однією з основних галузей економіки.

Потрібно зазначити, що відпочинкові майданчики призначені для короткотермінового відпочинку / перерви учасників дорожнього руху і не призначені для щоденного відпочинку водіїв за визначенням [1]. За європейськими вимогами належний щоденний (міжзмінний) відпочинок водія вантажного автомобіля / автобуса не може здійснюватися водієм у салоні вантажного автомобіля / автобуса і для цього існують об'єкти дорожнього сервісу — комплекси відпочинку або готелі з різними рівнями обслуговування. Для цього вступив у дію Делегований Регламент Комісії (ЄС) 2022/1012 від 07.04.2022 що доповнює Регламент (ЄС) № 561/2006 Європейського Парламенту та Ради щодо стандартів, які регламентують рівень обслуговування та надійності безпечних і захищених паркувальних зон, а також процедури їх сертифікації [3].

Європейська Комісія у співпраці з різними організаціями (в тому числі IRU, DEKRA та ESPORG) розробила стандарти для безпечних зон паркування вантажівок – Safe and Secure Truck Park Areas (SSTPA). В Європі запроваджено сертифікацію паркувальних зон для вантажівок Dekra з чотирма рівнями безпеки: бронзовим, срібним, золотим і платиновим. Сертифікат видається Dekra, єдиною акредитованою організацією в Європі, уповноваженою надавати це визнання на підставі стандартів безпеки та обслуговування ЄС для паркування вантажних автомобілів. Сертифікат Dekra Platinum гарантує найвищий рівень безпеки та захищеності паркінгу. Перша паркувальна зона з таким сертифікатом з'явилася у липні 2024 року в Румунії біля кордону з Угорщиною.

В ЄС доступно 300 000 паркувальних місць для вантажних автомобілів із суттєвою нестачею 100 000 місць для задоволення загального попиту. При цьому тільки 7000 існуючих паркувальних місць, або менше 3%, знаходяться в сертифікованих зонах. У 2023 році, згідно зі звітом Асоціації захисту транспортованих активів в регіоні Європи, Близького Сходу та Африки (ТАРА ЕМЕА), кількість зареєстрованих крадіжок вантажів перевищила 50 000, що становить понад 140 крадіжок щодня. За даними ТАРА ЕМЕА у 2025 році щодня з вантажівок крадуть на 1,2 мільйони євро товарів. Побудова надійної мережі безпечних і захищених майданчиків для паркування вантажівок в Україні, зокрема з сертифікацією Dekra, сприятиме розвитку автотранспортної галузі, одночасно покращуючи умови праці водіїв і підвищуючи безпеку на дорогах. Для цього потрібно розробити відповідні нормативно-правові акти та нормативні документи щодо вимог до транспортних складових комплексів відпочинку, готелів, підприємств харчування та торгівлі тощо, а саме: розміщення паркувальних місць, організування водовідведення та дорожнього руху на території

об'єкта дорожнього сервісу (влаштування розмітки, дорожніх знаків, дорожніх огорож і напрямних пристроїв, шлагбаумів, висувних автоматичних і напівавтоматичних блокувальників (боллардів), засобів заспокоєння руху, зокрема делініаторів у вигляді малих архітектурних форм тощо), влаштування пунктів зарядки для електромобілів, трифазних розеток для холодильних установок, стінових і кутових гумових демпферів, інформаційних елементів, цілодобової охорони з відеоспостереженням, тепловізорами, контролем доступу з реєстрацією номерних знаків (APNR) і розпізнаванням обличч тощо (рис. 4).



Рисунок 4 — Inntaler Autohof Raubling

Також, потрібно внести зміни у ДСТУ 2587:2021 «Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні умови» щодо застосування розмітки 1.34, яким передбачено її застосування на майданчиках для паркування ТЗ. Визначення терміну «відведені майданчики для паркування» надано в Правилах паркування транспортних засобів, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 03.12.2009 № 1342, але майданчики для стоянки ТЗ у складі відпочинкових майданчиків не підпадають під це визначення. Пункт 10.2.34 ДСТУ 2587:2021 потрібно доповнити застосуванням розмітки 1.34 на майданчиках для стоянки ТЗ.

Список літератури

1. Про затвердження Положення про робочий час і час відпочинку водіїв колісних транспортних засобів : наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 07.06.2010 № 340 : в ред. від 27.01.2025. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0811-10#Text> (дата звернення: 03.02.2026).
2. Регламент (ЄС) № 561/2006 Європейського Парламенту і Ради від 15 березня 2006 року про гармонізацію певного соціального законодавства стосовно дорожнього транспорту та про внесення змін до Регламентів Ради (ЄЕС) № 3821/85 та (ЄС) № 2135/98, а також про скасування Регламенту Ради (ЄЕС) № 3820/85 : в ред. від 20.08.2020. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_761#Text (дата звернення: 28.01.2026).
3. Делегований регламент Комісії (ЄС) 2022/1012 від 07.04.2022, що доповнює Регламент (ЄС) № 561/2006 Європейського Парламенту та Ради щодо стандартів, які регламентують рівень обслуговування та надійності безпечних і захищених паркувальних зон, а також процедури їх сертифікації : робочий переклад ДП «ДержавтотрансНДІпроект». Не є офіційним документом. URL: https://insat.org.ua/files/nav/law/3/del.reg2022_1012.pdf (дата звернення: 03.02.2026).
4. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015. 48 с. (Інформація та документація).
5. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. Київ, 2018. 68 с. (Інформація та документація).

6. ДБН В.2.3-15:2007 Споруди транспорту. Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів : зі Змінами № 1, № 2, № 3. Київ, 2007. 53 с. (Інформація та документація).
7. ГБН В.2.3-37641918-549:2018 Автомобільні дороги. Майданчики для стоянки транспортних засобів і відпочинку учасників дорожнього руху. Загальні вимоги проектування. Київ : Мінрегіон України, 2018. URL: https://mtu.gov.ua/files/Dok_NORMATUVKA/ГБН_549.pdf (дата звернення: 03.03.2025).
8. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування і забудова територій. Київ, 2019. (Інформація та документація).
9. Про затвердження Єдиних правил ремонту і утримання автомобільних доріг, вулиць, залізничних переїздів, правил користування ними та охорони : постанова Кабінету Міністрів України від 30.03.1994 № 198 : в ред. від 12.04.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/198-94-%D0%BF> (дата звернення: 13.02.2026).

References

1. Pro zatverdzhennia Polozhennia pro robochyi chas i chas vidpochynku vodiiv kolisnykh transportnykh zasobiv: nakaz Ministerstva transportu ta zviazku Ukrainy vid 07.06.2010 № 340: v red. vid 27.01.2025 [On approval of the Regulation on working time and rest time of drivers of wheeled vehicles: Order of the Ministry of Transport and Communications of Ukraine dated June 07, 2010 No. 340: as amended on January 27, 2025]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0811-10#Text> (accessed February 03, 2026) [in Ukrainian].
2. Rehlament (YeS) № 561/2006 Yevropeiskoho Parlamentu i Rady vid 15 bereznia 2006 roku pro harmonizatsiiu pevnogo sotsialnoho zakonodavstva stosovno dorozhnoho transportu ta pro vnesennia zmin do Rehlamentiv Rady (YeES) № 3821/85 ta (YeS) № 2135/98, a takozh pro skasuvannia Rehlamentu Rady (YeES) № 3820/85: v red. vid 20.08.2020 [Regulation (EC) No 561/2006 of the European Parliament and of the Council of 15 March 2006 on the harmonisation of certain social legislation relating to road transport and amending Council Regulations (EEC) No 3821/85 and (EC) No 2135/98 and repealing Council Regulation (EEC) No 3820/85: as amended on August 20, 2020]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_761#Text (accessed January 28, 2026) [in Ukrainian].
3. Delehovanyi rehlament Komisii (YeS) 2022/1012 vid 07.04.2022, shcho dopovniue Rehlament (YeS) № 561/2006 Yevropeiskoho Parlamentu ta Rady shchodo standartiv, yaki rehlamentuiut rivnia obsluhovuvannia ta nadiinosti bezpechnykh i zakhyschennykh parkovalnykh zon, a takozh protsedury yikh sertyfikatsii: robochyi pereklad DP «DerzhavtotransNDIproekt». Ne ye ofitsiinym dokumentom [Commission Delegated Regulation (EU) 2022/1012 of 7 April 2022 supplementing Regulation (EU) No. 561/2006 of the European Parliament and of the Council as regards the standards for the level of service and security of safe and secure parking areas and the certification procedures: working translation by SE «DerzhavtotransNDIproekt». Not an official document]. URL: https://insat.org.ua/files/nav/law/3/del.reg2022_1012.pdf (accessed February 03, 2026) [in Ukrainian].
4. ДБН В.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo [State Building Norms V.2.3-4:2015. Automobile roads. Part I. Design. Part II. Construction]. Kyiv, 2015. 48 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
5. ДБН В.2.3-5:2018 Vulytsi ta dorohy naselenykh punktiv [State Building Norms V.2.3-5:2018. Streets and roads of populated areas]. Kyiv, 2018. 68 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
6. ДБН В.2.3-15:2007 Sporudy transportu. Avtostianky i harazhi dlia lehkoykh avtomobiliv: zi Zminamy № 1, № 2, № 3 [State Building Norms V.2.3-15:2007. Transport structures. Parking lots and garages for passenger cars: with Amendments No. 1, No. 2, No. 3]. Kyiv, 2007. 53 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
7. HBN V.2.3-37641918-549:2018 Avtomobilni dorohy. Maidanchyky dlia stianky transportnykh zasobiv i vidpochynku uchasnykiv dorozhnoho rukhu. Zahalni vymohy proektuvannia [Branch Building Norms V.2.3-37641918-549:2018. Automobile roads. Areas for parking vehicles and rest of road users. General design requirements]. Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2018. URL: https://mtu.gov.ua/files/Dok_NORMATUVKA/ГБН_549.pdf (accessed March 03, 2025) [in Ukrainian].

8. DBN B.2.2-12:2019 Planuvannia i zabudova terytorii [State Building Norms B.2.2-12:2019. Planning and development of territories]. Kyiv, 2019. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

9. Pro zatverdzhennia Yedynykh pravyl remontu i utrymannia avtomobilnykh dorih, vulyts, zaliznychnykh pereizdiv, pravyl korystuvannia nymy ta okhorony: postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30.03.1994 № 198: v red. vid 12.04.2023 [On approval of the Uniform rules for repair and maintenance of highways, streets, railway crossings, rules for their use and protection: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated March 30, 1994 No. 198: as amended on April 12, 2023]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/198-94-%D0%BF> (accessed February 13, 2026) [in Ukrainian].

Sergey Ilyash, Ph.D., <http://orcid.org/0000-0002-3001-8012>

Volodymyr Zelenovsky, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0001-5834-5456>

Sergii Rybalchenko, <https://orcid.org/0000-0002-4628-9546>

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

IMPROVEMENT AND DEVELOPMENT OF THE DESIGN OF ROAD SERVICE FACILITIES ON PUBLIC ROADS

Abstract

Introduction. The article discusses issues related to the improvement and development of the design of road service facilities — specially equipped places where road users are served and which are located on road administration land or require its use for entry and exit to public roads (hereinafter referred to as motorways). Among them, special attention is paid to road service facilities that constitute a significant part of them and are owned by state organisations — rest areas and public transport stops. Improvements to the design of these facilities were developed based on domestic and international experience and analysis of current domestic and European regulations, building codes, regulatory documents, and technical literature related to the subject of standardisation.

Problem statement. The need to improve and develop the design of road service facilities, taking into account modern requirements for their operation, determining the appropriate geometric parameters, characteristics and consumer properties of facilities.

Objective. Informing road management specialists about the development of new regulatory documents in the field of road service facility design and justifying the need for their further improvement.

Materials and methods. The article uses the findings of the State Enterprise "NIRI" in the field of research, current domestic regulatory and legal acts, building codes and national standards, foreign regulatory and legal acts and regulatory documents, and technical literature on the design of road service facilities. During the development of regulatory documents, domestic and European experience in their design and operation was also taken into account.

Results. In order to implement modern developments in the design of road service facilities, DSTU 9325:2025 "Guidelines for the design of rest areas on public roads" and DSTU 9326:2025 "Guidelines for the design of public transport stops on public roads" have been developed, the requirements of which take into account modern approaches to organising road safety and comfort and ensuring inclusiveness, as well as updating road terminology.

Conclusions. The general guidelines for the design of road service facilities proposed in the new national standards establish new scientifically based requirements for the parameters, characteristics and consumer properties of facilities, which will contribute to improving road safety and comfort and ensuring inclusiveness.

Keywords: motorway, rest area, recreation area, public transport stops, vehicle parking area, people with reduced mobility, road service facility, road surface.

УДК 625.7

Бондаренко Л. П.¹, канд. техн. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-8239-065X>
Неізвестний С. В.², <https://orcid.org/0000-0002-8888-313X>

¹Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна

²Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна

МЕТОДИКА ОБҐРУНТУВАННЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація

Вступ. Інтенсивний розвиток автомобільного транспорту супроводжується зростанням навантаження на мережу автомобільних доріг, що зумовлює поступове погіршення умов руху, зниження середніх швидкостей руху та зростання затримок. За таких умов актуальним є завдання своєчасного визначення моменту втрати ефективності функціонування ділянок автомобільних доріг та обґрунтування доцільності їх реконструкції.

Проблематика. Більшість наявних підходів до оцінювання пропускної здатності автомобільних доріг ґрунтуються на порівнянні фактичної інтенсивності руху з нормативними значеннями та не враховують значним чином вплив перехресть, примикань і структури транспортного потоку. Це призводить до обмеженої точності при визначенні реального рівня ефективності функціонування дорожніх ділянок.

Мета. Метою дослідження є розроблення методики визначення потреби в реконструкції ділянки автомобільної дороги на основі аналізу вільних інтервалів руху та прогнозування зміни інтенсивності руху з часом.

Матеріали й методи. Запропонована методика базується на комплексному поєднанні результатів натурних спостережень, аналітичних розрахунків кількості вільних інтервалів руху, визначенні максимально допустимої інтенсивності руху та прогнозуванні транспортного попиту із застосуванням логістичної моделі. Для оцінювання ефективності функціонування використано критерій граничної кількості вільних часових інтервалів руху.

Результати. Запропоновано підхід до визначення граничної інтенсивності руху, при досягненні якої умови руху на ділянці автомобільної дороги перестають бути ефективними. Методика дозволяє встановити період ефективного функціонування ділянки та прогнозований момент, з якого реконструкція стає доцільною.

Висновки. Результати дослідження можуть бути використані для планування реконструкції автомобільних доріг, удосконалення організації дорожнього руху та обґрунтування інженерних рішень на етапі довгострокового розвитку дорожньої мережі.

Ключові слова: автомобільна дорога, вільні інтервали, ефективність функціонування, інтенсивність руху, пропускна здатність, реконструкція.

Вступ

Зростання рівня автомобілізації населення та нерівномірний розвиток дорожньої інфраструктури зумовлюють необхідність удосконалення методів оцінювання ефективності функціонування автомобільних доріг загального користування [1]. За останні десятиріччя темпи приросту інтенсивності руху транспортних потоків на багатьох ділянках дорожньої мережі суттєво перевищують темпи розвитку та модернізації її елементів, що призводить до передчасного вичерпання пропускної здатності та погіршення умов руху.

Традиційні нормативні підходи до визначення пропускної здатності автомобільних доріг і транспортних вузлів, як правило, ґрунтуються на спрощених припущеннях щодо рівномірності

транспортного потоку та не завжди адекватно відображають реальні умови руху [2–4]. Особливо це стосується ділянок автомобільних доріг із перехрещеннями та примиканнями в одному рівні, де формування транспортних потоків має стохастичний характер, а значну роль відіграють часові інтервали між транспортними засобами, групоутворення та маневрові процеси [5].

У таких умовах використання лише нормативних значень пропускної здатності може призводити до помилкових висновків щодо реального рівня завантаження дороги та строків доцільності її реконструкції [6]. Це обумовлює актуальність розроблення методик, які враховують реальні часові параметри руху транспортних засобів, структуру транспортного потоку та вплив суміжних елементів дорожньої мережі на умови руху.

Аналіз наукових досліджень і практики експлуатації автомобільних доріг свідчить, що питання визначення моменту втрати ефективності функціонування ділянки автомобільної дороги залишається недостатньо формалізованим [7, 8]. У більшості випадків рішення щодо реконструкції приймаються постфактум — після виникнення сталих транспортних заторів, значного зниження середніх швидкостей руху або зростання рівня дорожньо-транспортних пригод. Такий підхід не дозволяє забезпечити раціональне використання фінансових ресурсів і своєчасне планування інфраструктурних заходів.

У зв'язку із цим зростає потреба у впровадженні методик прогнозного характеру, які дозволяють заздалегідь оцінювати зміну умов руху та визначати момент досягнення граничних експлуатаційних параметрів автомобільної дороги. Особливу увагу при цьому доцільно приділяти оцінюванню максимально допустимої інтенсивності руху з урахуванням можливості безпечного та безперешкодного виконання маневрів на перехрещеннях і примиканнях [5].

Метою даної роботи є розроблення методики обґрунтування необхідності реконструкції автомобільних доріг на основі визначення максимально допустимої інтенсивності руху за умов забезпечення безперешкодного виконання маневрів транспортних засобів. Запропонований підхід орієнтований на встановлення періоду ефективного функціонування ділянки автомобільної дороги та прогнозування моменту втрати її експлуатаційної ефективності, що створює підґрунтя для прийняття обґрунтованих техніко-економічних рішень щодо реконструкції або модернізації дорожньої інфраструктури.

Виклад основного матеріалу

Запропонована методика обґрунтування реконструкції автомобільних доріг передбачає поетапне та комплексне оцінювання умов руху на конкретній ділянці дороги з урахуванням її категорії, геометричних параметрів, структури транспортного потоку, а також наявності суміжних елементів дорожньої мережі, зокрема перехрещень, примикань в одному рівні, з'їздів та під'їздів до об'єктів господарського та соціального призначення [9]. Такий підхід дозволяє отримати більш детальну і точну характеристику функціонування дорожньої ділянки в реальних умовах експлуатації, ніж традиційні нормативні методи, які здебільшого спираються на усереднені показники пропускної здатності і не враховують специфіку локальних маневрових процесів та стохастичну природу транспортних потоків.

Ключовим елементом запропонованої методики є використання кількості вільних інтервалів руху як інтегрального показника ефективності функціонування дороги [5]. Вільні інтервали руху визначаються як проміжки часу між транспортними засобами на головній дорозі, достатні для безпечного виконання маневрів на перехрещеннях та примиканнях, зокрема для виконання поворотів, перестроювань, об'їздів та з'їздів із дороги. Використання цього показника дозволяє врахувати стохастичний характер транспортних потоків, нерівномірність розподілу транспортних засобів у часі та просторові обмеження, що виникають унаслідок геометрії дорожньої мережі та різної пропускної здатності суміжних ділянок.

Вільні інтервали руху визначаються на основі детального аналізу інтенсивності транспортного потоку, його складу за видами транспортних засобів, а також режиму руху, включаючи середні швидкості, інтервали між транспортними засобами та їх взаємодію на вузлових елементах дорожньої мережі. Кількість таких інтервалів безпосередньо характеризує здатність

ділянки дороги забезпечувати безпечно та безперешкодне виконання маневрів. Зменшення кількості вільних інтервалів свідчить про погіршення умов руху, підвищення щільності транспортного потоку, зростання затримок, збільшення ймовірності виникнення конфліктних ситуацій і аварій, а також сигналізує про наближення ділянки до граничного режиму експлуатації. Це особливо актуально для магістральних та регіональних доріг, на яких одночасно функціонують транспортні потоки різних категорій і швидкісних режимів.

Максимальну інтенсивність руху визначають як межу завантаженості дороги, за якої кількість вільних інтервалів є мінімально необхідною для забезпечення безпеки дорожнього руху та безперешкодного виконання маневрів [5]:

$$n_v(N_{max}) \approx n_{потр}, \quad (1)$$

де $n_v(N_{max})$ — кількість вільних інтервалів руху, яка відповідає максимальній інтенсивності руху N_{max} , авт./год;

$n_{потр}$ — потрібна кількість вільних інтервалів руху для забезпечення безпеки дорожнього руху та безперешкодного виконання маневрів, авт./год.

Цей показник фактично характеризує реальну граничну пропускну здатність ділянки дороги з урахуванням локальних обмежень, що зумовлені перехрещеннями, примиканнями та особливостями геометрії дорожньої мережі. Оцінювання максимальних значень інтенсивності руху проводиться для кожної ділянки між суміжними вузлами дорожньої мережі, що дозволяє враховувати локальні обмеження і отримати більш реалістичну картину ефективності функціонування дороги порівняно з нормативними усередненими значеннями.

Для визначення моменту втрати ефективності функціонування ділянки автомобільної дороги застосовується логістична модель прогнозування інтенсивності руху [10, 11]. Логістична модель дозволяє врахувати обмеження пропускну здатності, поступове насичення транспортного потоку та зниження темпів зростання транспортного попиту з часом. На відміну від лінійних чи експоненціальних моделей, логістична залежність найбільш адекватно відображає реальні процеси формування транспортного потоку, оскільки враховує як швидке зростання на початковому етапі, так і природне обмеження максимально можливого рівня інтенсивності, що визначається геометричними параметрами ділянки, безпековими нормами та характером взаємодії транспортних потоків на вузлах:

$$t_k = \frac{1}{c} \ln\left(\frac{bN_{max}}{(N_{факт}(1+K) - N_{max})}\right), \quad (2)$$

де N_{max} — інтенсивність руху, яка відповідає періоду часу t за якого буде досягнута максимальна інтенсивність руху, авт./год;

$N_{факт}$ — початкова інтенсивність руху, тобто фактична інтенсивність руху у момент часу $t = 0$, авт./год;

K — лінія насичення (приймається від 4 до 6);

b, c — коефіцієнти, (відповідно 200 – 250 та 0,35 – 0,25).

Момент досягнення прогнозованою інтенсивністю руху максимально допустимого значення вільних інтервалів інтерпретується як завершення періоду ефективного функціонування ділянки автомобільної дороги [12]. Після цього подальше збільшення транспортного потоку не супроводжується підвищенням пропускну здатності, а призводить до зниження середніх швидкостей, погіршення умов безпеки руху, зменшення кількості вільних інтервалів для маневрів і збільшення ймовірності виникнення заторів та аварій. Це означає, що подальші інвестиції в утримання дороги без проведення реконструкції не забезпечуватимуть належного рівня ефективності функціонування, і саме тому запропонована методика дозволяє прогнозувати оптимальний час для проведення реконструктивних робіт.

Методика забезпечує комплексну оцінку ефективності функціонування автомобільних доріг не лише з точки зору пропускну здатності, а й з урахуванням безпеки дорожнього руху, комфорту, економічної доцільності перевезень і надійності транспортної системи в цілому. Вона дозволяє

перейти від постфактумного прийняття рішень до прогнозного планування реконструкції, що дає змогу запобігти виникненню сталих заторів, знизити аварійність та оптимізувати використання інвестицій у дорожнє господарство. Усі етапи методики, починаючи від збору даних та аналізу транспортного потоку до прийняття рішення щодо необхідності реконструкції, представлені на головній блок-схемі (рис. 1).

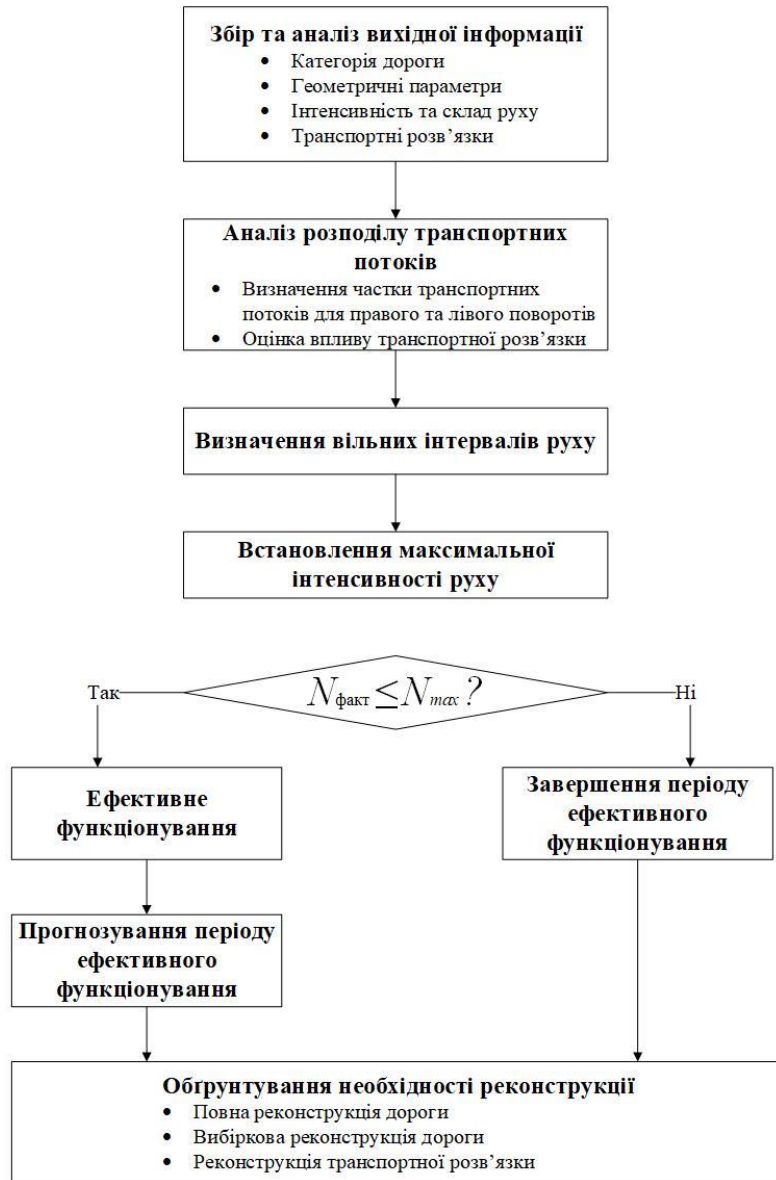


Рисунок 1 — Блок-схема обґрунтування реконструкції ділянки автомобільної дороги

Крім того, запропонована методика має широкий науково-прикладний потенціал. Вона може бути використана як основа для розроблення програмних засобів моделювання руху транспортних потоків, для аналізу ефективності різних варіантів планування дорожньої мережі, а також для формування стратегій управління транспортним потоком у реальному часі. Використання кількості вільних інтервалів руху як інтегрального показника дозволяє стандартизувати підхід до оцінювання ефективності функціонування різних ділянок доріг та забезпечує порівнянність результатів між різними регіонами та категоріями доріг.

Методика також враховує структуру транспортного потоку, що включає різні категорії транспортних засобів: легкові автомобілі, вантажні автомобілі, автобуси та спеціальну техніку [13]. Такий підхід дозволяє оцінювати вплив важких транспортних засобів на загальні умови руху, зокрема на скорочення вільних інтервалів та збільшення часу виконання маневрів, що особливо важливо для транспортних коридорів із високою часткою вантажних перевезень.

Врахування локальних вузлових елементів мережі (перехрещень, примикань, роз'їздів) дозволяє не тільки визначити загальну пропускну здатність, а й ідентифікувати найбільш критичні ділянки дороги, де в першу чергу слід проводити реконструкцію або оптимізувати організацію руху [14]. Це сприяє ефективнішому розподілу фінансових та технічних ресурсів, підвищенню безпеки та комфорту дорожнього руху, а також зменшенню соціально-економічних збитків від транспортних заторів і аварій.

Таким чином, запропонована методика поєднує теоретичну основу та практичну значущість, що робить її актуальною для сучасної транспортної системи з урахуванням зростання автомобілізації, нерівномірного розвитку дорожньої інфраструктури та необхідності оптимізації управління транспортними потоками на всіх рівнях планування та експлуатації автомобільних доріг. Вона дозволяє формалізувати процес визначення моменту доцільності реконструкції, підвищити ефективність планування дорожніх робіт, забезпечити безпеку руху на ключових ділянках дорожньої мережі та зменшити негативний вплив транспортних заторів на економіку та соціальне середовище.

Запровадження запропонованої методики також сприяє інтеграції сучасних інформаційних технологій у дорожнє господарство, зокрема застосування систем автоматизованого збору даних щодо транспортних потоків, геоінформаційних систем (GIS) та інструментів моделювання руху, що дозволяє отримувати актуальні дані для прийняття управлінських рішень і прогнозування ефективності експлуатації автомобільних доріг. Це створює основу для системного підходу до розвитку транспортної інфраструктури, де реконструкційні та експлуатаційні заходи плануються на основі реальних, кількісно обґрунтованих показників ефективності функціонування дорожніх ділянок.

Висновки

Запропонована методика дозволяє здійснювати прогнозне оцінювання ефективності функціонування ділянок автомобільних доріг та визначати доцільність їх реконструкції на основі комплексного аналізу вільних інтервалів руху [5]. Вона передбачає врахування не тільки інтенсивності транспортного потоку та його структури, але й геометричних параметрів ділянки, характеру суміжних елементів дорожньої мережі, таких як перехрестя та примикання, а також особливостей поведінки водіїв на даному типі дороги. Такий підхід дозволяє отримати кількісні та якісні показники, які більш точно відображають реальні умови руху, ніж традиційні нормативні методики, засновані на середніх розрахункових значеннях пропускну здатності.

Методика може бути використана на різних етапах планування та розвитку дорожньої інфраструктури, зокрема під час розроблення програм розвитку дорожньої мережі на регіональному та національному рівнях. Вона також може стати важливим інструментом для проектування реконструктивних заходів, оскільки дозволяє заздалегідь визначити ті ділянки, де існує ризик перевищення граничної пропускну здатності, виникнення заторів або підвищення аварійності. Крім того, методика може бути інтегрована у систему удосконалення організації дорожнього руху, дозволяючи оптимізувати режим роботи світлофорних об'єктів, регулювати в'їзди на магістралі та підвищувати загальну безпеку руху.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з адаптацією методики до умов багатосмугового руху, де взаємодія транспортних потоків на різних смугах ускладнює визначення вільних інтервалів та прогнозування граничної пропускну здатності. Додатково, актуальним є розширення методики для регульованих перехресть, де сигналізація та автоматизоване керування рухом змінюють характер взаємодії транспортних потоків, що потребує включення параметрів часу

циклу світлофора, чергування фаз та впливу черг очікування на вільні інтервали руху. Також перспективним напрямом є інтеграція методики з цифровими моделями дорожнього руху, включаючи використання систем реального часу, даних з GPS, телеметрії транспортних засобів та моделей штучного інтелекту для більш точного прогнозування моментів втрати ефективності функціонування дороги [15, 16].

Таким чином, запропонована методика є не лише інструментом оцінки поточного стану дорожніх ділянок, але й потужним засобом для стратегічного планування розвитку транспортної інфраструктури, що дозволяє враховувати реальні параметри руху та адаптуватися до майбутніх змін у транспортному попиті. Її застосування забезпечує науково обґрунтований підхід до визначення пріоритетності реконструктивних заходів, підвищує ефективність використання ресурсів для розвитку дорожньої мережі та сприяє підвищенню рівня безпеки дорожнього руху.

Список літератури

1. Alexander Eser. Vehicle Ownership Statistics URL: https://zipdo.co/vehicle-ownership-statistics/?utm_source=chatgpt.com#sources.
2. Денисенко О. Новий підхід до визначення пропускної здатності нерегульованих перехресть. Системи управління, навігації та зв'язку. 2020. Т. 1, № 59. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.1.045>.
3. Наглюк, І. С., Макаричев, А. В., Горбачьов, П. Ф., & Горбачьова, О. А. (2018). Визначення пропускної здатності смуги руху на автомобільних дорогах і міських вулицях. Автомобільний транспорт. 2018. № 42. С. 89–97. DOI: <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2018.42.0.89>.
4. Marco Guerrieri, Raffaele Mauro, Andrea Pompigna and Natalia Isaenko. Road Design Criteria and Capacity Estimation Based on Autonomous Vehicles Performances. First Results from the European C-Roads Platform and A22 Motorway. *Transport and Telecommunication Journal*. Vol. 22 (2021): Issue 2 (April 2021). P. 230–243. DOI: <https://doi.org/10.2478/ttj-2021-0018>.
5. Неизвестный С. В., Пальчик А. М. Simulation of vehicle movement at unregulated intersections of public roads. *Modern Science – Moderní věda*. 2025. Issue 1. DOI: <https://doi.org/10.62204/2336-498X-2025-1-17>.
6. Неизвестный С. В., Пальчик А. М. Аналіз методів, які використовують при обґрунтуванні реконструкції автомобільних доріг. *Дороги і мости*. 2020. Вип. 21. С. 70–76. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.070>.
7. Liu, R., Shin, S.-Y. A Review of Traffic Flow Prediction Methods in Intelligent Transportation System Construction. *Applied Sciences*. 2025. 15(7). 3866. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15073866>.
8. Черненко, А. О., Халіпова, Н. В., Леснікова, І. Ю. Щодо моделювання транспортних потоків для аналізу завантаженості доріг в містах. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2016. (12). С. 90–98. <https://doi.org/10.15802/tstt2016/85890>.
9. Неизвестный С. В., Пальчик А. М., Неизвестна Н. В., Додух К. М. Розроблення заходів з покращення дорожніх умов на ділянках автомобільних доріг на основі аналізу умов руху. *Дороги і мости*. 2021. Вип. 24. С.159–168. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.24.159>.
10. Григорова Т. М., Дашенко А. Ф. Методи та практика прогнозування розрахункових характеристик автомобільних доріг. *Праці Одеського політехнічного університету*. 2007. 1(27). С. 51–56.
11. Єріна А. М. Статистичне моделювання та прогнозування: навч. посібник. Київ.: КНЕУ, 2001. 170 с.
12. Неизвестный С. В. Визначення періоду ефективного функціонування автомобільної дороги. *Дороги і мости*. 2023. Вип. 27. С. 245–252. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.245>.
13. Неизвестный С. В., Пальчик А. М. Методика експериментального дослідження розподілу інтервалів руху в транспортному потоці. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2023. Вип. 113. Ч. 2. С. 61–70. DOI: <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2023-113.2-061-069>.

14. Shepelev V., Glushkov A., Slobodin I., Balfaqih M. Studying the Relationship between the Traffic Flow Structure, the Traffic Capacity of Intersections, and Vehicle-Related Emissions. *Mathematics*. 2023. 11(16): 3591. DOI: <https://doi.org/10.3390/math11163591>.
15. Lv Y., Duan, Y., Kang, W., Li, Z., & Wang, F.-Y. Traffic Flow Prediction With Big Data: A Deep Learning Approach. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2015. 16(2), 865–873. DOI: <https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2345663>.
16. Zheng, Y., Liu, F., Hsieh, H.-P. U-Air: When Urban Air Quality Inference Meets Big Data. *Proceedings of the 19th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. 2013. 1436–1444. DOI: <https://doi.org/10.1145/2487575.2487682>.

References

1. Eser, A. Vehicle Ownership Statistics. Available at: URL: https://zipdo.co/vehicle-ownership-statistics/?utm_source=chatgpt.com#sources [in English].
2. Denysenko, O. (2020). Novyi pidkhid do vyznachennia propusknoi zdatsnosti nerekhulovanykh perekhrest [A new approach to determining the capacity of unsignalized intersections]. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku*, 1(59). DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.1.045> [in Ukrainian].
3. Nahliuk, I. S., Makarychev, A. V., Horbachov, P. F., & Horbachova, O. A. (2018). Vyznachennia propusknoi zdatsnosti smuhy rukhu na avtomobilnykh dorohakh i miskykh vulytsiakh [Determination of traffic lane capacity on highways and urban streets]. *Avtomobilnyi transport*, 42, 89–97. DOI: <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2018.42.0.89> [in Ukrainian].
4. Guerrieri, M., Mauro, R., Pompigna, A., & Isaenko, N. (2021). Road design criteria and capacity estimation based on autonomous vehicles performances: First results from the European C-Roads platform and A22 motorway. *Transport and Telecommunication Journal*, 22(2), 230–243. DOI: <https://doi.org/10.2478/tjt-2021-0018> [in English].
5. Neizvestnyi, S. V., & Palchyk, A. M. (2025). Simulation of vehicle movement at unregulated intersections of public roads. *Modern Science – Moderní věda*, 1. DOI: <https://doi.org/10.62204/2336-498X-2025-1-17> [in English].
6. Neizvestnyi, S. V., & Palchyk, A. M. (2020). Analiz metodiv, yaki vykorystovuiutsia pry obgruntuvanni rekonstruktsii avtomobilnykh dorih [Analysis of methods used to justify road reconstruction]. *Dorohy i mosty*, 21, P. 70–76. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.070> [in Ukrainian].
7. Liu, R., & Shin, S.-Y. (2025). A review of traffic flow prediction methods in intelligent transportation system construction. *Applied Sciences*, 15(7), 3866. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15073866> [in English].
8. Chernenko, A. O., Khalipova, N. V., & Lesnikova, I. Yu. (2016). Shchodo modeliuvannia transportnykh potokiv dlia analizu zavantazhenosti dorih v mistakh [On traffic flow modeling for urban road congestion analysis]. *Transportni systemy ta tekhnolohii perevezhen*, 12, 90–98. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2016/85890> [in Ukrainian].
9. Neizvestnyi, S. V., Palchyk, A. M., Neizvestna, N. V., & Dodukh, K. M. (2021). Rozroblennia zakhodiv z pokrashchennia dorozhnykh umov na dilianках avtomobilnykh dorih na osnovi analizu umov rukhu [Development of measures to improve road conditions based on traffic analysis]. *Dorohy i mosty*, 24, 159–168. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.24.159> [in Ukrainian].
10. Hryhorova, T. M., & Dashchenko, A. F. (2007). Metody ta praktyka prohnozuvannia rozrakhunkovykh kharakterystyk avtomobilnykh dorih [Methods and practice of forecasting road performance indicators]. *Proceedings of Odessa Polytechnic University*, 1(27), 51–56 [in Ukrainian].
11. Yerina, A. M. (2001). *Statystychne modeliuvannia ta prohnozuvannia* [Statistical modeling and forecasting]. Kyiv: KNEU. 170 p. [in Ukrainian].
12. Neizvestnyi, S. V. (2023). Vyznachennia periodu efektyvnoho funktsionuvannia avtomobilnoi dorohy [Determination of the effective operation period of a road]. *Dorohy i mosty*, 27, 245–252. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.245> [in Ukrainian].

13. Neizvestnyi, S. V., & Palchyk, A. M. (2023). Metodyka eksperymentalnoho doslidzhennia rozpodilu intervaliv rukhu v transportnomu pototsi [Methodology for experimental study of headway distribution in traffic flow]. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*, 113(2), 61–70. DOI: <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2023-113.2-061-069> [in Ukrainian].
14. Shepelev, V., Glushkov, A., Slobodin, I., & Balfaqih, M. (2023). Studying the relationship between the traffic flow structure, the traffic capacity of intersections, and vehicle-related emissions. *Mathematics*, 11(16), 3591. DOI: <https://doi.org/10.3390/math11163591> [in English].
15. Lv, Y., Duan, Y., Kang, W., Li, Z., & Wang, F. Y. (2015). Traffic flow prediction with big data: A deep learning approach. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(2), 865–873. DOI: <https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2345663> [in English].
16. Zheng, Y., Liu, F., & Hsieh, H. P. (2013). U-Air: When urban air quality inference meets big data. In *Proceedings of the 19th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 1436–1444). DOI: <https://doi.org/10.1145/2487575.2487682> [in English].
-

Liudmyla Bondarenko¹, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-8239-065X>
Sergiy Neizvestniy², <https://orcid.org/0000-0002-8888-313X>

¹National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

²State Enterprise «National Institute for Infrastructure Development» (SE «NIID»), Kyiv, Ukraine

METHODOLOGY FOR JUSTIFYING THE RECONSTRUCTION OF AUTOMOBILE ROADS

Abstract

Introduction. The intensive development of road transport is accompanied by an increasing load on the existing road network, which leads to a gradual deterioration of traffic conditions, a reduction in average travel speeds, and an increase in delays. Under such conditions, the timely determination of the moment when road sections lose their operational efficiency and the justification of the feasibility of their reconstruction become particularly important.

Problem Statement. Most existing approaches to assessing the capacity of automobile roads are based on comparing actual traffic intensity with нормативні (standard) values and do not fully account for the influence of intersections, access points, and traffic flow structure. This results in limited accuracy when determining the real level of operational efficiency of road sections.

Purpose. The purpose of this study is to develop a methodology for determining the need for reconstruction of an automobile road section based on the analysis of free traffic headways and forecasting changes in traffic intensity over time.

Materials and Methods. The proposed methodology is based on a comprehensive combination of field observations, analytical calculations of the number of free traffic headways, determination of the maximum allowable traffic intensity, and forecasting transport demand using a logistic model. To assess operational efficiency, a criterion of the limiting number of free time headways in the traffic flow is applied.

Results. An approach is proposed for determining the limiting traffic intensity at which traffic conditions on an automobile road section cease to be efficient. The methodology makes it possible to establish the period of effective operation of a road section and to forecast the moment from which reconstruction becomes advisable.

Conclusion. The results of the study can be used for planning the reconstruction of automobile roads, improving traffic management, and substantiating engineering decisions at the stage of long-term development of the road network.

Keywords: automobile road, traffic intensity, free headways, capacity, operational efficiency, reconstruction.

УДК 625.7/8

Терещенко Т. А., канд. хім. наук, <https://orcid.org/0000-0001-7584-9031>*Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»),
м. Київ, Україна*

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДОГЛЯДУ ЗА БЕТОНОМ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИВУ ТА СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ ІЗОТРОПНОЇ МАКРОТЕКСТУРИ ПОВЕРХНІ

Анотація

Вступ. У вступі до статті розглянуто необхідність виконання догляду за бетоном дорожнього покриття і окреслено сучасні технології догляду за бетоном.

Проблематика. Тематика статті стосується критеріїв упровадження двостадійного або одностадійного догляду за бетоном дорожнього покриття і застосування комбінованих продуктів на основі речовин для догляду за бетоном для створення ізотропної макротекстури поверхні.

Мета. Метою статті є аналізування режимів і елементів догляду за бетоном, зокрема з застосуванням комбінованих продуктів з речовиною для догляду за бетоном, а також прийнятих у світовій практиці кількісних критеріїв визначення режимів догляду за бетоном дорожнього покриття.

Результати. Проаналізовано вплив догляду за бетоном, у його пластичному стані та на етапі набирання міцності, на структуру і властивості бетону і показано особливу практичну значущість догляду за бетоном для бетонування бетоноукладачами з ковзною опалубкою.

Розглянуто режими та елементи початкового догляду за бетоном, виділено найбільш суттєві для великих проєктів складники початкового догляду. Проаналізовано застосовувані кількісні критерії призначення початкового догляду за бетоном дорожнього покриття.

Також проаналізовано режими та елементи одностадійного догляду за бетоном, які можуть бути прийняті й для завершального догляду у разі двостадійної технології. Розглянуто характеристики речовин для догляду за бетоном, визначувані стандартними методами.

Стисло розглянуто застосування поверхневих сповільнювачів тузавлення у складі комбінованого продукту з речовиною для догляду за бетоном для створення ізотропної макротекстури поверхні бетонного покриття.

Висновки. Надано висновки щодо:

- практик призначення двостадійного догляду за бетоном дорожнього покриття;
- кількісних критеріїв для визначення режимів догляду за бетоном дорожнього покриття;
- практик догляду за бетоном дорожнього покриття з застосуванням речовини для догляду за бетоном;
- технологій із застосуванням комбінованих продуктів на основі речовини для догляду за бетоном для створення ізотропної макротекстури поверхні дорожнього покриття.

Ключові слова: автомобільна дорога, бетон, догляд за бетоном, дорожній покрив, етапи догляду за бетоном, поверхня бетону з розкритим заповнювачем, речовина для догляду за бетоном.

Вступ

Догляд за бетоном є заходом, що впроваджують для забезпечення вологого і температурного стану бетону в ранньому віці, за якого відбуваються реакції гідратації і пуцоланічні реакції¹ — внутрішні температура та вологість під час твердіння мають безпосередній вплив на властивості

¹ Реакції пуцоланів, а також сульфатів і карбонатів окремо у складі гідралічного в'язучого.

бетонів у ранньому та проєктному віці [1]. Належне виконання догляду за бетоном запобігає швидкій втраті води бетоном у пластичному стані й забезпечує повноту реакцій гідратації цементу. Важливим є застосування режимів та елементів догляду за бетоном якомога раніше після укладання та продовження догляду до досягнення глибини реакцій гідратації, що забезпечує потрібні властивості отверділого бетону.

Потенційно можуть бути створені умови, коли догляд за бетоном не потребуватиметься, проте для конструкцій дорожнього одягу, шари якого в разі бетонування *in situ* характеризуються великим значенням співвідношення площі відкритої поверхні та об'єму, а також умовами витримування на об'єкті, догляд за бетоном є обов'язковим [2].

Догляд за бетоном дорожнього покриття розпочинають безпосередньо після укладання, що потенційно дозволяє поєднувати елементи догляду за бетоном із засобами досягнення інших ефектів. Так, сучасні технології улаштування жорсткого дорожнього одягу передбачають застосування комбінованих продуктів на основі речовини для догляду за бетоном, які надають можливість створювати текстуру поверхні в пластичному стані бетону — технології є більш поширеними в Європі [3]. Застосування таких продуктів у процесі влаштування бетонного покриття, а також методи випробувань встановлено європейськими нормативними документами серій EN 13877 та CEN / TS 14754, з якими гармонізовано національні стандарти України шляхом виконання ідентичного перекладу.

Ураховуючи викладене, у пропонованій статті проаналізовано режими та елементи догляду за бетоном дорожнього покриття, а також засади впровадження різних етапів догляду і створення ізотропної макротекстури поверхні в пластичному стані бетону.

Догляд за бетоном: вплив на властивості та етапи догляду

Неналежне виконання або відсутність догляду за бетоном призводять до невідповідних фізико-механічних властивостей бетону й утворення дефектів і пошкоджень, які переважно проявляються через зниження міцності бетону, особливо в приповерхневому шарі, а також утворення тріщин різної етіології та механічні пошкодження поверхні [2]. Тріщини можуть утворюватися на різних етапах твердіння бетону; вплив відповідних негативних чинників різною мірою регулюється режимами догляду за бетоном. Найбільш поширеною проблемою є утворення тріщин унаслідок пластичної усадки (*plastic shrinkage cracking, PSC*), яке спостерігається до початку тужавлення гідралічного в'язучого. *PSC* призводить до утворення паралельних довгих тріщин, які згодом можуть розвиватися на значну глибину, або сітки мілких тріщин глибиною (15 – 30) мм. Тріщини *PSC* можуть бути непомітні на опорядженій поверхні та можуть не спричиняти проблем на ранніх етапах експлуатування конструкції, проте вони забезпечують доступ агресивного середовища в тіло бетону і зниження стійкості до циклічного заморожування / відтавання. Іншим чинником утворення тріщин є термічні напруження — хоча ці процеси більш притаманні бетону масивних споруд, у шарі бетону дорожнього одягу може виникати суттєвий градієнт температур у напрямку від поверхні вглиб шару. Третім вагомим чинником утворення тріщин є усадка бетону під час висихання, проте цей чинник є найменш залежним від режимів догляду за бетоном — першочергове значення має відносний уміст цементного тіста в складі бетону й основним запобіжним заходом є нарізання швів стискання в улаштованому шарі. Поряд з цим інтенсивна усадка бетону внаслідок висихання впродовж перших кількох діб може призвести до утворення тріщин у місцях, що не відповідають розрахунковій довжині плити; водночас термічні напруження та напруження в бетоні внаслідок усадки під час висихання можуть мати адитивний ефект і значно підсилювати потенціал утворення тріщин — відповідно роль догляду за бетоном для запобігання термічним впливам та усадці під час висихання є ваговою.

З урахуванням описаних проблем загальною задачею догляду за бетоном є створення умов для відтермінування виникнення напружень, допоки бетон не набуде міцності, достатньої для протидії напруженням.

Для впровадження режимів та елементів догляду за бетоном існують певні засади й кількісні критерії. Відношення маси води до маси цементу, за якого забезпечено повноту реакцій гідралічного в'язучого, становить орієнтовно 0,42 [4] — вода, що відділяється від бетонної суміші та утворює плівку витісненої води (цементного молока) на поверхні, умовно є надлишковою й не бере участі в реакціях гідралічного в'язучого. Утворення такої плівки запобігає швидкому висиханню бетону в ранньому віці, швидкому випаровуванню води з приповерхневого шару бетону. Оптимальним часом для початку догляду за свіжоукладеним бетоном є початок тужавлення гідралічного в'язучого, коли продукти гідратації у вигляді кристалогідратів перекривають частинки заповнювача; водночас це орієнтовно є час закінчення виділення цементного молока (витіснення води). Поряд з цим у разі, коли швидкість випаровування перевищує швидкість витіснення води (з утворенням поверхневої плівки), догляд за бетоном може бути впроваджений раніше — за таких умов існує висока ймовірність утворення *PSC*, а також внутрішнього зневоднювання бетону (*internal desiccation*), що руйнує структуру матеріалу; автори [2] стверджують, що внутрішнє зневоднювання спостерігається для бетонів зі значеннями $w/cm < 0,40$. Швидке випаровування води може бути охарактеризоване як критичне висихання бетону (*critical drying*) [5].

Таким чином процес догляду за свіжоукладеним бетоном дорожнього покриття має на меті уповільнення випаровування води і, у разі несприятливих умов бетонування та/або особливостей складу бетону, — недопущення критичного переходу від випаровування «умовно надлишкової» води до випаровування води, яка має забезпечувати реакції гідралічного в'язучого. До основних елементів догляду за бетоном за сучасними технологіями відносять зрошування водним туманом (*fogging*), застосування речовин для догляду за бетоном (*curing compound*); в окремих першоджерелах зазначено застосування сповільнювачів випаровування². З урахуванням граничних умов може бути впроваджено два етапи догляду за бетоном — початковий догляд (*initial curing*) та завершальний догляд (*final curing*). Якщо є ймовірним процес критичного висихання бетону, догляд за свіжоукладеним бетоном розпочинають з етапу початкового догляду, одразу після укладання бетону. Якщо критичне висихання бетону не очікується, догляд виконують через режими/елементи, ідентичні до режимів/елементів завершального догляду [5].

Зовнішніми чинниками швидкого випаровування води у свіжоукладеному бетоні на місці бетонування можуть бути температура повітря, відносна вологість і швидкість вітру (для отримання більш точних даних беруть на відстані до 0,5 м від поверхні шару бетону [2]); також має значення температура бетонної суміші, проте цей чинник певною мірою піддається регулюванню під час виготовлення. Залежність швидкості випаровування від зазначених чинників згідно з даними [6] наведено, у метричній системі одиниць, на **рис. 1**.

На **рис. 1** додатково наведено послідовність (приклад) визначення швидкості випаровування води, яке розпочинають з вибору значення температури повітря на місці бетонування і виконують відповідно до вихідних даних щодо фактичних значень відносної вологості повітря, температури бетонної суміші та швидкості вітру на місці виконання робіт.

Тривалість догляду за бетоном згідно з даними [2] установлюють як фіксований час за певних значень температур на об'єкті, або як таку, що забезпечує набирання бетоном міцності відповідно до певного відсотку від проєктного значення, проте кількісні дані не є застосовними для аналізування — інформація щодо вимог до класів міцності бетонів у розглянутих першоджерелах відсутня.

² Інформація стосовно технічних характеристик сповільнювачів випаровування (*evaporation retarder*, *evaporation reducer*) чи нормування властивостей таких речовин є обмеженою.

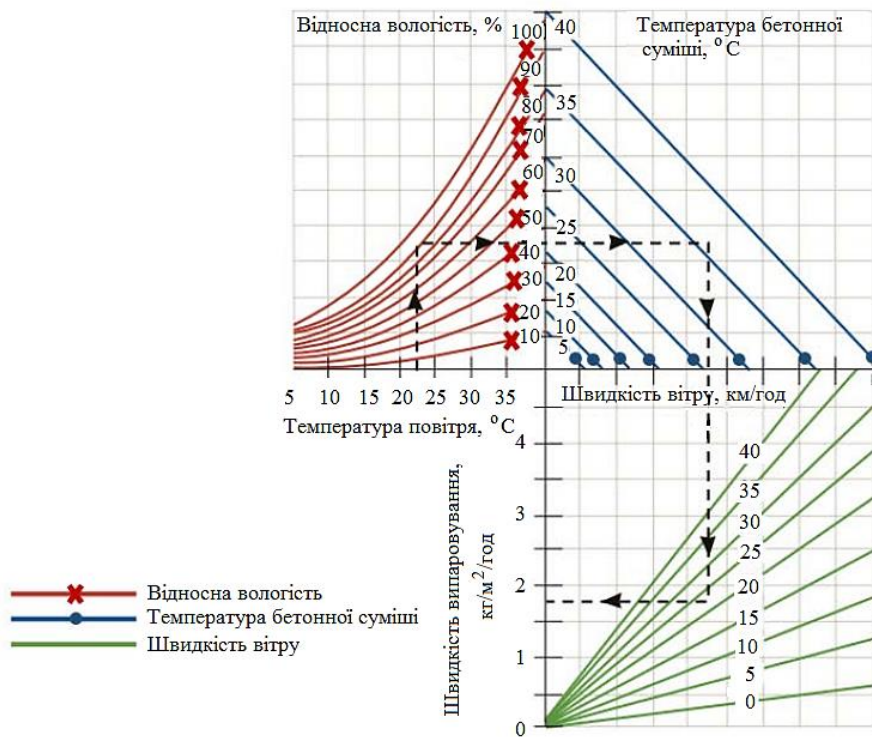


Рисунок 1 — Номограма для оцінювання швидкості випаровування згідно з даними [6]³

Режими та елементи початкового догляду за бетоном

Основною задачею початкового догляду за бетоном є уповільнення випаровування витісненої води та забезпечення тужавлення без утворення тріщин пластичної усадки — таким чином початковий догляд, на відміну від завершального, спрямований на забезпечення розвитку певних фізичних властивостей матеріалу.

Початковий догляд за бетоном розпочинають безпосередньо після укладання і виконують до початку завершального догляду, який, оптимально, прирівнюють до початку тужавлення. Тривалість початкового догляду становить декілька годин; режими та елементи завершального догляду на цьому етапі як правило не можуть бути застосовані у зв'язку з нерозвиненістю структури бетону [2, 4]. Найбільш поширеними передумовами призначення початкового догляду є високі температура повітря та швидкість вітру під час бетонування. Режими та елементи початкового догляду за бетоном повинні охоплювати процедури регулювання температури бетонної суміші, зрошування поверхні шару водним туманом, також застосування сповільнювачів випаровування.

Кількісною оцінкою для призначення початкового догляду згідно з [2, 5, 6] є ймовірність виникнення критичних умов випаровування згідно з номограмою **на рис. 1** — критичною точкою вважають швидкість випаровування $0,98 \text{ кг/м}^2/\text{год}$ [6]. Іншим важливим чинником призначення етапу початкового догляду є особливості складу бетону. Як зазначають автори [5], бетони зі значенням w/cm менше ніж 0,45 характеризуються низькою швидкістю витіснення води; іншим чинником такого негативного впливу є тонина помелу гідралічного в'язучого, що особливо проявляється за значень питомої поверхні за Блейном понад $400 \text{ м}^2/\text{кг}$. Бетони для бетонування

³ Вихідну номограму було розроблено у системі одиниць «дюйм – фунт» Американським Інститутом Бетону (ACI) [4].

бетоноукладачами з ковзною опалубкою характеризуються низькими значеннями w/cm , для них швидкість випаровування як правило перевищує швидкість витіснення води; початок утворення плівки витісненої води на поверхні шару (виділення цементного молока) може спостерігатися орієнтовно через 20 хв після укладання, проте може й не спостерігатися, що може призводити до неможливості або до неякісного опоряджування поверхні шару. Автори [2] зазначають, що для бетонів для бетонування бетоноукладачами з ковзною опалубкою, залежно від швидкості витіснення води, небезпечною може бути швидкість випаровування починаючи від значення $0,3 \text{ кг/м}^2/\text{год}$.

Згідно з [2] найбільш вагомими елементами початкового догляду є регулювання температури бетонної суміші шляхом регулювання температури складників — у даному першоджерелі наведено алгоритм відповідних розрахунків згідно з рекомендаціями *ACI (American Concrete Institute)*, а також застосування сповільнювачів випаровування. Для проектів зі значним обсягом робіт найбільше практичне значення має регулювання температури бетонної суміші.

Потрібно додати, що певні загальні вимоги національного стандарту України [7] є більш «критичними», ніж зазначені авторами [5, 6]: наприклад, максимальне значення питомої поверхні цементів становить $420 \text{ м}^2/\text{кг}$, мінімальне значення водоцементного відношення для бетонів дорожнього покриття — $0,38$, що потребує особливої уваги під час добирання складу бетонів відповідно до технологій виконання робіт.

У першоджерелі [1] зазначено, що початковий догляд як спосіб запобігання утворенню *PSC* рекомендовано призначати за швидкості випаровування в орієнтовному інтервалі $(0,5 - 1,0) \text{ кг/м}^2/\text{год}$, переважно із застосуванням сповільнювачів випаровування, проте коли очікувана швидкість випаровування становить $1,00 \text{ кг/м}^2/\text{год}$ та більше, рекомендованим є зрошування водним туманом. Початковий догляд доцільно виконувати через зрошування водним туманом також за низької відносної вологості повітря — як ефективний захід її підвищення безпосередньо над поверхнею шару. Конструкція та характеристики обладнання для зрошування водним туманом, зокрема форсунок, принципово відрізняються від іншого обладнання для розподілення води та розчинів у тім, що унеможливають утворення надлишку води на поверхні шару бетону [6].

У випадках, коли умови бетонування з урахуванням номограми на **рис. 1** призводитимуть до швидкості випаровування понад $1,0 \text{ кг/м}^2/\text{год}$ та коли заходи з запобігання утворенню тріщин пластичної усадки не можуть вважатися ефективними, роботи зупиняють до настання більш сприятливих умов бетонування [1].

Режими та елементи одностадійного догляду за бетоном

Основною задачею одностадійного (завершального — у випадку виконання другим етапом) догляду за бетоном є пригнічення випаровування води з поверхні бетону так, щоб забезпечити процес гідратації гідралічного в'язучого впродовж семи діб або більше і набирання бетоном міцності⁴. Відповідно до сучасних технологій догляд виконують нанесенням речовин для догляду за бетоном на відкриті поверхні шару. Найбільш застосовними та стандартизованими відповідно до методів випробувань різних систем стандартизації є речовини для догляду за бетоном, які переважно мають плівкотвірні властивості; застосування таких речовин у проектах зі значними обсягами робіт визнано більш доцільним, ніж виконання вологого догляду (*wet curing, moist curing, ponding*).

Речовини для догляду за бетоном можуть постачатися у вигляді водної емульсії органічних речовин, а також можуть бути пігментовані, з наданням утвореній плівці білого кольору, для

⁴ Автори [6] характеризують елементи та режими завершального догляду за бетоном як «звичайний» догляд за бетоном (*conventional curing*) у випадку, коли етап початкового догляду не призначають.

запобігання нагріванню поверхні за впливу сонячних променів. Застосування плівкоутворюючих речовин з білим пігментом або таких, що утворюють напівпрозору плівку (містять нестійкий пігмент світлого кольору) водночас дозволяє контролювати якість нанесення речовини, якість утвореної плівки. Поряд з цим автори [6] зазначають більш високу ефективність речовин для догляду за бетоном у вигляді розчинів.

Догляд із застосуванням речовини для догляду за бетоном розпочинають одразу після опоряджування (текстурування) поверхні шару та переважно призначають так, щоб початок догляду співпадав із завершенням виділення цементного молока, якщо таке спостерігається, що (орієнтовно може бути оцінено візуально, за втратою поверхнього шару глянсу). У більшості аналізованих першоджерел зазначено, що плівкоутворюючі речовини для догляду за бетоном потрібно наносити на вологу поверхню шару. Поряд з цим нанесення речовини для догляду за бетоном до завершення витіснення води може призвести до розчинення плівки або до скупчення води під утвореною плівкою, відповідно – до її пошкодження або відшарування.

Найбільш практично вагомою характеристикою речовин для догляду за бетоном є водоутримувальна здатність, яку визначають відповідно до методів випробувань, стандартизованих у регіональній (стандарти EN) та міжнародній (стандарти ASTM) системах стандартизації. Відповідно до результатів випробувань у системі стандартів ASTM ефективними визнають продукти, що обмежують втрати води максимальним значенням $0,55 \text{ кг/м}^2$, проте для бетонування за високих температур це значення може бути зменшено до $0,39 \text{ кг/м}^2$ [2]. Згідно зі стандартами системи ASTM визначають також час висихання плівки речовини для догляду за бетоном (згідно з [2] рекомендовано не більше ніж 4 год за швидкості випаровування $0,43 \text{ кг/м}^2/\text{год}$), уміст летких речовин та в'язкість – особливо для випадків нанесення на текстузовану поверхню шару.

У разі застосування бетоноукладачів із ковзною опалубкою речовину для догляду за бетоном наносять на горизонтальну та бічні поверхні. У разі застосування бетоноукладачів з рейкоформами її наносять на горизонтальну поверхню, та за видалення рейкоформ у ранньому віці – на бічні поверхні. Потрібно забезпечувати суцільне рівномірне покриття поверхні шару бетону, оскільки навіть незначні дефекти утвореної плівки призводять до суттєвого підвищення втрат води. Речовин для догляду за бетоном наносять із застосуванням розподільвача з рамою, спорядженою форсунками, що перекриває всю ширину смуги бетонування. Згідно з [6], залежно від умов може потребуватися дворазове нанесення в напрямках «під прямим кутом». Тиск у форсунках рекомендовано підтримувати в межах $(0,2 - 0,7) \text{ МПа}$ або згідно з рекомендаціями виробника речовини для догляду за бетоном. Автори [4] підкреслюють, що норми витрат речовини для догляду за бетоном можуть потребувати уточнення з урахуванням текстури поверхні — зі створенням борозенок та насічок ефективна площа поверхні шару суттєво збільшується; як приклад наводять результати досліджень, де збільшення площі текстурованої поверхні відносно нетекстурованої становить від 25 % до 50 %.

У разі виконання догляду за бетоном зі зволоженням потрібні умови зволоження підтримують упродовж семи діб або до нанесення речовини для догляду за бетоном. У разі застосування зволоженого матеріалу (волога тканина) регламентують обмеження щодо різниці температур бетону і захисного матеріалу не більше ніж на 10°C у разі більш холодного захисного матеріалу. Також потрібно встановлювати обмеження щодо рідких речовин для запобігання їхньому скупченню на поверхні шару бетону [2].

Завершальний догляд може бути виконаний через застосування рулонних полімерних матеріалів, зокрема як додатковий (до застосування речовин для догляду за бетоном) захід для захисту від опадів. Для захисту від охолодження та зберігання тепла екзотермічних процесів гідратації виконують догляд за бетоном із застосуванням теплоізоляційних матів — згідно з [1] теплоізоляційні мати також розглядають як додатковий (до застосування речовин для догляду за бетоном) захід. Для запобігання термічному шоку й утворенню тріщин у бетоні перед видаленням

теплоізоляційних матів потрібно ураховувати різницю температур між захищеним бетоном і температурою повітря ззовні.

Створення ізотропної макротекстури поверхні бетону в пластичному стані із застосуванням сучасних технологій догляду

Макротекстуру поверхні шару бетонного покриття може бути створено за пластичного стану бетону або для затверділого бетону — через шліфування поверхні абразивними елементами з алмазним напиленням.

Технології текстурювання поверхні бетону в пластичному стані можна розділити на такі, що дозволяють створювати анізотропну або ізотропну макротекстуру [3]. Оброблення поверхні металевими навісними щітками, насікання поверхні (*brooming, tining*) або оброблення з допомогою мішківини, прикріпленої до фінішера (*drag texture*) призводять до створення анізотропної текстури — ці технології є поширеними, наприклад, у США.

Технологія, поширена у Європі (згідно з [3, 8, 9] є широко застосовуваною в дорожньому будівництві в Німеччині, Бельгії, Польщі), а також у Британії [10], дозволяє створювати ізотропну макротекстуру поверхні бетонного покриття шляхом застосування поверхневих сповільнювачів тужавлення (*surface retarder*), зокрема у складі комбінованого продукту з речовиною для догляду за бетоном. Технологію ґрунтовано на видаленні поверхневого шару незатверділого цементного тіста з метою розкриття заповнювача на поверхні бетону (*exposed aggregate concrete surface, EACS* — англomовний термін, наведений у термінологічному розділі стандарту [11], проте в англomовній літературі та документації для опису ідентичного технічного змісту може бути застосовано термін *stripped concrete*). Упорядковане розташування на поверхні розкритих зерен заповнювача поряд з розвинutoю макротекстурою поверхні забезпечує належний опір поверхні покриття зсуву колеса ТЗ [12] і водночас знижує рівень шуму під час контакту колеса з поверхнею.

Технологію *EAC* ефективно застосовують у процесі влаштування жорсткого дорожнього одягу з безперервно армованим бетонним покритвом (*CRCP, continuously reinforced concrete pavement*) та шовним бетонним покритвом (*JPCP, jointed plain concrete pavement*). У першоджерелі [10] описано реалізацію технології *EAC* через застосування комбінованого продукту на основі поверхневого сповільнювача тужавлення і речовини для догляду за бетоном — поверхнєве цементне тісто видаляли обробленням щіткою орієнтовно через 24 год після нанесення комбінованого продукту, після чого наносили речовину для догляду за бетоном окремо; автори стверджують, що описану технологію *EAC* було успішно застосовано в Британії на автомобільних дорогах різних категорій. У першоджерелі [13], де технологію *EAC* (*der Waschbeton* нім.) вказано як усталену в дорожньому будівництві, зазначено, що технологічний ефект застосування комбінованого продукту на основі поверхневого сповільнювача тужавлення і речовини для догляду за бетоном є аналогічним до такого від застосування поверхневого сповільнювача тужавлення із додатковим захистом поверхні плівкою — другу технологію описано в більш ранніх першоджерелах [9].

Застосування в дорожньому будівництві комбінованих продуктів на основі поверхневого сповільнювача тужавлення і речовини для догляду за бетоном для технологій *EAC* регламентовано через положення нормативних документів системи EN щодо методів випробувань — так, згідно з [11] комбінований продукт поверхневого сповільнювача тужавлення та речовини для догляду за свіжоукладеним бетоном потрібно нормувати згідно з [14] чи застосовувати правила, прийняті в місці використання.

У технічних умовах щодо дорожнього бетону [15] (Німеччина) зазначено вимоги стосовно випробувань бетонних плит-зразків із застосуванням сповільнювача тужавлення для створення *EACS* окремо — випробування виконують через вимірювання текстури на обробленій поверхні плити-зразка, виготовленої з визначених матеріалів, за визначеною технологією, на площі не менше ніж 900 см².

Описану технологію створення ізотропної макротекстури може бути охарактеризовано як таку, що на рівні мегатекстури поверхні покритву може призводити до посилення ефектів динамічного впливу під час руху ТЗ, проте не можна виключати, що вирішальне значення на прояв ефектів динамічного впливу мають інші чинники, які не охоплено представленою в статті тематикою.

Висновки

Розглянуті технології догляду за бетоном дорожнього покритву передбачають виділення, за потреби, двох етапів догляду, де основною задачею початкового догляду є захист бетону від розвитку деформацій у пластичному стані, завершального догляду — захист бетону від розвитку напружень на етапі набирання міцності.

В окремих технологіях упроваджено кількісне оцінювання чинників впливу на етапі початкового догляду. Найбільш поширеним та доступним елементом початкового догляду є регулювання температури бетонної суміші шляхом регулювання температури складників під час виготовлення суміші. У разі оцінювання режимів та елементів початкового догляду як низькоефективних, роботи виконують з настанням більш сприятливих умов бетонування.

За належних умов, догляд за бетоном можна виконувати в один етап. Сучасні технології догляду за бетоном передбачають застосування речовин для догляду за бетоном, які, переважно, мають плівкотвірні властивості і вимоги до яких і методи випробувань стандартизовані в різних системах стандартизації.

Технології із застосуванням речовин для догляду за бетоном дозволяють ефективно підтримувати процеси утворення структури і розвитку потрібних властивостей бетону, а також застосовувати багатофункціональні продукти, які водночас підтримують технології створення ізотропної макротекстури поверхні шару дорожнього покритву — поверхні бетону з розкриттям заповнювача.

Список літератури

1. Taylor, P., Van Dam, T., Sutter, L., and Fick, G. Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: A State-of-the-Practice Manual – second edition. National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University — Institute for Transportation. 2019. 338 p. URL: https://www.intrans.iastate.edu/wp-content/uploads/2019/05/IMCP_manual.pdf (дата останнього звернення 12.06.2024).
2. Toy S. Pool. Guide for curing of Portland Cement concrete pavements. Volume I. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Report No. FHWA-RD-02-099. 2005. 52 p. URL: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/35604/dot_35604_DS1.pdf (дата останнього звернення 29.07.2025).
3. Zhen Leng, Zepeng Fan, Pengfei Liu, Jonas Kollmann, J., Markus Oeser, M., Dawei Wang, Xi Jiang. Texturing and evaluation of concrete pavement surface: A state-of-the-art review. *Journal of Road Engineering*, No. 3 (2023), P. 252–265. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2097049823000379> (дата останнього звернення 29.07.2025).
4. Toy S. Pool. Guide for curing of Portland Cement concrete pavements. Volume II. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Report No. FHWA-HRT-05-038. 2006. 173 p. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/pccp/05038/index.cfm> (дата останнього звернення 01.07.2025).
5. Taylor, P., and Ozyildirim, C. Curing Practice for Slipformed Concrete Pavements. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Concrete Pavement Technology Program Tech Brief FHWA-IF-06-003. 2005. 6 p. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pccp/pubs/06003/06003.pdf> (дата останнього звернення 29.05.2024).

6. Van Dam, T. Curing Concrete Paving Mixtures. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Tech Brief FHWA-HIF-18-015. 2018. 6 p. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif18015.pdf> (дата останнього звернення 25.06.2024).
7. ДСТУ 8858:2019 Суміші цементобетонні дорожні та цементобетон дорожній. Технічні умови. Київ, 2020. 19 с. (Інформація та документація).
8. Glinicki, A.M., and Glinicki, M.A. Quality Assurance Methods Applied For Exposed-Aggregate Concrete Pavement Construction. Proceedings of the 12th ICCP (978-0-578-33418-9). December 31, 2021. P. 82–89. DOI: <https://doi.org/10.33593/mczou3b4>. URL: <http://www.ippt.pan.pl/repository/open/o7388.pdf> (дата останнього звернення 06.08.2025).
9. High Performance Concrete Pavement. Project Summary. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Office of Infrastructure, Office of Pavement Technology. Publication No. FHWA-IF-06-031. 2006. 204 p. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/hpcp/hpcp.pdf> (дата останнього звернення 11.08.2025).
10. A guide to concrete road pavements. The British Cementitious Paving Association (BRITPAVE), BP/64. 2018. 16 P. URL: <https://www.eupave.eu/wp-content/uploads/BP64-Guide-to-Concrete-Road-Pavements-BRITPAVE.pdf> (дата останнього звернення 28.07.2025).
11. ДСТУ EN 13877-1:2025 (EN 13877-1:2023, IDT) Бетонні покриття. Частина 1. Матеріали. Київ, 2025. 8 с. (Інформація та документація).
12. Терещенко Т. А. Характеристики поверхні покриття дорожнього одягу. Стандартні методи вимірювання // *Автошляховик України*. 2023, № 4. С. 29–37. DOI: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2023-4-276-29-37>.
13. Eifert, H. Der Bau von Betonfahrbahndecken auf Straßen. Zement-Merkblatt Straßenbau. S2. 6.2007. Verein Deutscher Zementwerke, Düsseldorf, 2007. 8 p. URL: <https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/basiswissen/zement-merkblaetter/S2.pdf> (дата останнього звернення 06.08.2025).
14. ДСТУ CEN/TS 14754-1:2022 (CEN/TS 14754-1:2007, IDT) Речовини для догляду за свіжоукладеним бетоном. Методи випробувань. Частина 1. Визначення ефективності водотримування звичайних речовин для догляду за свіжоукладеним бетоном. Київ, 2025. 6 с. (Інформація та документація).
15. Technical delivery terms for materials and material mixtures for base courses with hydraulic binders and concrete pavements. English Version of TL Beton-StB 07 «Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton». Edition 2007, Translation 2012. 53 p. URL: https://www.fgsv-verlag.de/pub/media/pdf/891_E_PDF.v.pdf (дата останнього звернення 06.08.2025).

References

1. Taylor, P., Van Dam, T., Sutter, L., and Fick, G. Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: A State-of-the-Practice Manual – second edition. National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University – Institute for Transportation. 2019. 338 p. URL: https://www.intrans.iastate.edu/wp-content/uploads/2019/05/IMCP_manual.pdf (Last accessed 12.06.2024) [in English].
2. Toy S. Pool. Guide for curing of Portland Cement concrete pavements. Volume I. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Report No. FHWA-RD-02-099. 2005. 52 p. URL: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/35604/dot_35604_DS1.pdf (Last accessed 29.07.2025) [in English].
3. Zhen Leng, Zepeng Fan, Pengfei Liu, Jonas Kollmann, J., Markus Oeser, M., Dawei Wang, Xi Jiang. Texturing and evaluation of concrete pavement surface: A state-of-the-art review. *Journal of Road Engineering*, No. 3 (2023), P. 252–265. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2097049823000379> (Last accessed 29.07.2025) [in English].

4. Toy S. Pool. Guide for curing of Portland Cement concrete pavements. Volume II. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Report No. FHWA-HRT-05-038. 2006. 173 p. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/pccp/05038/index.cfm> (Last accessed 01.07.2025) [in English].
5. Taylor, P., and Ozyildirim, C. Curing Practice for Slipformed Concrete Pavements. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Concrete Pavement Technology Program Tech Brief FHWA-IF-06-003. 2005. 6 p. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pccp/pubs/06003/06003.pdf> (Last accessed 29.05.2024) [in English].
6. Van Dam, T. Curing Concrete Paving Mixtures. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Tech Brief FHWA-HIF-18-015. 2018. 6 p. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif18015.pdf> (Last accessed 25.06.2024) [in English].
7. DSTU 8858:2019 Sumishi tsementobetonni dorozhni ta tsementobeton dorozhnii. Tekhnichni umovy (National Ukrainian Standard DSTU EN 13863-1:2024 8858:2019 Concrete mix and road concrete. Technical specification). Kyiv, 2020. 19 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
8. Glinicki, A. M., and Glinicki, M. A. Quality Assurance Methods Applied For Exposed-Aggregate Concrete Pavement Construction. Proceedings of the 12th ICCP (978-0-578-33418-9). December 31, 2021. P. 82–89. DOI: <https://doi.org/10.33593/mczou3b4>. URL: <http://www.ippt.pan.pl/repository/open/o7388.pdf> (Last accessed 06.08.2025) [in English].
9. High Performance Concrete Pavement. Project Summary. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Office of Infrastructure, Office of Pavement Technology. Publication No. FHWA-IF-06-031. 2006. 204 p. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/hpcp/hpcp.pdf> (Last accessed 11.08.2025) [in English].
10. A guide to concrete road pavements. The British Cementitious Paving Association (BRITPAVE), BP/64. 2018. 16 P. URL: <https://www.eupave.eu/wp-content/uploads/BP64-Guide-to-Concrete-Road-Pavements-BRITPAVE.pdf> (Last accessed 28.07.2025) [in English].
11. DSTU EN 13877-1:2025 (EN 13877-1:2023, IDT) Betonni pokryvy. Chastyna 1. Materialy. (DSTU EN 13877-1:2025 Concrete covers. Part 1. Materials) Kyiv, 2025. 8 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
12. Tereshchenko, T. Road pavements surface characteristics standard measuring methods // A Scientific and Industrial Journal the *Avtoshliakhovyk Ukrayiny*. 2023, No. 4. P. 29–37. DOI: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2023-4-276-29-37> [in Ukrainian].
13. Eifert, H. Der Bau von Betonfahrbahndecken auf Straßen. Zement-Merkblatt Straßenbau. S2. 6.2007. Verein Deutscher Zementwerke, Düsseldorf, 2007. 8 p. URL: <https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/basiswissen/zement-merkblaetter/S2.pdf> (Last accessed 06.08.2025) [in English].
14. DSTU CEN/TS 14754-1:2022 (CEN/TS 14754-1:2007, IDT) Rechovyny dlia dohliadu za svizhoukladenym betonom. Metody vyprobuvan. Chastyna 1. Vyznachennia efektyvnosti vodoutrymuvannia zvychainykh rechovyn dlia dohliadu za svizhoukladenym betonom (National Ukrainian Standard DSTU CEN/TS 14754-1:2022 (CEN/TS 14754-1:2007, IDT) Curing compounds — Test methods — Part 1: Determination of water retention efficiency of common curing compounds). Kyiv, 2025. 6 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
15. Technical delivery terms for materials and material mixtures for base courses with hydraulic binders and concrete pavements. English Version of TL Beton-StB 07 «Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton». Edition 2007, Translation 2012. 53 p. URL: https://www.fgsv-verlag.de/pub/media/pdf/891_E_PDF.v.pdf (Last accessed 06.08.2025) [in English].

Tatyana Tereshchenko, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0001-7584-9031>

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

**TECHNOLOGICAL ASPECTS OF CURING CONCRETE
FOR ROAD PAVEMENT AND MODERN APPROACHES FOR CREATING
THE ISOTROPIC SURFACE MACROTEXTURE**

Introduction. The introduction to the paper discusses the need for curing of the road pavement concrete and outlines contemporary technologies for curing processes.

Problem statement. The topic of the paper concerns the criteria for implementing two-stage or single-stage curing of the concrete of a road pavement and the use of combined products based on curing compounds to create the isotropic surface texture.

Purpose. The purpose of the paper is to analyze the regimes and elements of curing of the road pavement concrete, in particular these using combined products with a curing compound, as well as the quantitative criteria approved in the world-wide practice for the curing regime selection.

Results. The influence of curing, in the plastic state of concrete and at the stage of gaining strength, on the structure and properties of concrete is analyzed and the special practical significance of curing of slipformed concrete pavements is shown.

The modes and elements of initial curing are considered and the most significant components of initial curing for large projects are highlighted. The quantitative criteria used for the purpose of initial curing of the road pavement concrete are analyzed.

The modes and elements of single-stage curing, which can be approved for final curing in the case of two-stage technology, are also analyzed. The characteristics of curing compounds, determined by standard methods, are considered.

The use of surface retarders as a combined product with a curing compound to create an isotropic macrotexture on the surface of a concrete pavement is briefly discussed.

Conclusions. Conclusions were stated regarding:

- practices for prescribing two-stage curing of the road pavement concrete;
- quantitative criteria for determining regimes for curing of the road pavement concrete;
- practices for curing of the road pavement concrete using curing compounds;
- technologies using combined products based on curing compounds to create an isotropic macrotexture of the road pavement surface.

Keywords: concrete pavement, curing, curing compound, exposed aggregate concrete surface, road pavement, stages of curing.

УДК 624.21:625.745.1

Безуглий А. О., канд. екон. наук, доцент, <http://orcid.org/0000-0003-3883-7968>**Каськів В. І.**, канд. техн. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>**Завгородній С. С.**, <https://orcid.org/0000-0003-1928-4544>**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

СТАН ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД УКРАЇНИ НА ДОРОГАХ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ ДЕРЖАВНОГО ЗНАЧЕННЯ НА ПІДКОНТРОЛЬНИХ ТЕРИТОРІЯХ ЗА 2025 РІК

Анотація

Вступ. Мости належать до об'єктів критичної інфраструктури та мають визначальне значення для економічного розвитку, а також для забезпечення безпеки окремих регіонів і держави загалом. В умовах воєнного стану їхня роль істотно зросла, оскільки вони є важливими елементами оборонної інфраструктури, маршрутами гуманітарної евакуації та складовими експортно-логістичних коридорів. З метою підвищення ефективності управлінських рішень у сфері мостового господарства на рівні Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України впроваджується програмний комплекс «Аналітична експертна система управління мостами» (ПК АЕСУМ).

Проблематика. В умовах запровадження воєнного стану в Україні забезпечення стабільного та надійного функціонування мостового господарства набуло особливої суспільної ваги, оскільки безперервне транспортне сполучення є необхідною умовою життєзабезпечення населення та належного функціонування держави. Водночас актуальним є питання вдосконалення стратегії експлуатації транспортних споруд із застосуванням науково-аналітичного інструментарію програмного комплексу «Аналітична експертна система управління мостами».

Мета. Формування та реалізація ефективної стратегії експлуатації мостів на автомобільних дорогах з метою раціонального планування фінансових ресурсів, необхідних для їх утримання та ремонту. Забезпечення відкритого доступу до актуальної статистичної інформації про мости, що міститься в ПК АЕСУМ, сприятиме її використанню в наукових і науково-практичних дослідженнях, а виявлення аналітичних закономірностей дозволить удосконалити функціональні можливості АЕСУМ у частині формування експлуатаційних стратегій транспортних споруд.

Матеріали і методи. Аналітичний, статистичний, системний аналіз.

Результати. У роботі наведено аналітичні та статистичні дані щодо транспортних споруд на автомобільних дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях України станом на кінець 2025 року. Виявлені певні тенденції та акцентовано увагу на технічному стані транспортних споруд.

Висновки. На теперішній час технічний стан значної кількості автодорожніх мостів України є незадовільним, що створює загрозу для безпеки населення, ускладнює надійне та комфортне перевезення пасажирів і вантажів, зокрема військового та гуманітарного призначення, знижує рівень обороноздатності держави та обмежує доступність соціальних, культурних, освітніх і медичних послуг для користувачів автомобільних доріг. У зв'язку з цим існує нагальна потреба у вдосконаленні та впровадженні стратегії експлуатації транспортних споруд із використанням

науково-аналітичного апарату ПК АЕСУМ, що забезпечить оптимальне визначення пріоритетів і своєчасне виконання відновлювальних робіт при раціональному використанні фінансових ресурсів.

Ключові слова: автомобільна дорога, вантажопідйомність, міст, обстеження, паспортизація, програмний комплекс «Аналітична експертна система управління мостами» (ПК АЕСУМ), стратегія експлуатації транспортних споруд, технічний стан, транспортна споруда.

Вступ

Мости відіграють важливу роль у функціонуванні інфраструктури країни. Всього на дорогах загального користування в Україні нараховується 16 166 споруд загальною протяжністю 392 543,20 п.м.

На дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях Агентством відновлення експлуатується 5 377 мостів та шляхопроводів протяжністю 176 428,93 п.м. Саме про стан цих споруд та про сучасні виклики, підтримку, розвиток, управління розповідається в цій статті.

У [1] наведена інформація стан мостового господарства у 2023 році. Проте мостове господарство є динамічною системою, що постійно зазнає змін, зокрема щодо кількості мостів, форм власності, організацій, які виконують експлуатаційне утримання, а також, що є особливо важливим, їхнього технічного стану. Додаткову динаміку, елементи невизначеності та нові вимоги до діяльності організацій, відповідальних за забезпечення надійного функціонування мостового господарства, зумовлюють умови збройної агресії російської федерації проти України.

У зв'язку з цим у даній статті подано оновлені аналітичні дані щодо поточного стану транспортних споруд на автомобільних дорогах загального користування державного значення, розташованих на підконтрольних Україні територіях. Дослідження ґрунтується на актуальній інформації програмного комплексу «Аналітична експертна система управління мостами» (ПК АЕСУМ), який на сьогодні є загальноновизнаним інструментом у галузі мостобудування України та важливою складовою розвитку транспортної інфраструктури держави.

Основна частина

Для ефективного управління експлуатацією транспортних споруд першочергового значення набуває наявність повної та перевіреної інформації щодо їх кількісних характеристик. Зокрема, важливим є територіальний розподіл мостів за адміністративними областями. У **табл. 1** подано узагальнені дані про кількість мостів у розрізі областей, а також їх сумарну протяжність, що є не менш інформативним показником. За кількістю мостів провідні позиції займають Львівська, Івано-Франківська та Закарпатська області, однак за показником загальної протяжності транспортних споруд лідерство переходить до Дніпропетровської, Харківської, Львівської та Івано-Франківської областей. На нашу думку, зазначені показники доцільно враховувати під час формування обсягів фінансування на утримання та експлуатацію транспортних споруд.

Таблиця 1

Загальні дані щодо наявності транспортних споруд на автомобільних дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях України

Ч.ч.	Області	Загальна кількість транспортних споруд	
		шт.	п.м.
1	Автономна республіка Крим		
2	Вінницька область	215	6 304,05
3	Волинська область	178	4 784,94
4	Дніпропетровська область	373	14 949,79

Кінець таблиці 1

Ч.ч.	Області	Загальна кількість транспортних споруд	
		шт.	п.м.
5	Донецька область	25	1 750,66
6	Житомирська область	180	5 961,99
7	Закарпатська область	433	10 543,46
8	Запорізька область	53	2 581,80
9	Івано-Франківська область	456	12 335,55
10	Київська область	227	11 112,49
11	Кіровоградська область	175	6 648,17
12	Луганська область		
13	Львівська область	527	12 617,10
14	Миколаївська область	100	5 074,12
15	Одеська область	387	9 010,08
16	Полтавська область	157	7 692,59
17	Рівненська область	305	8 977,37
18	Сумська область	210	7 105,03
19	Тернопільська область	254	5 070,27
20	Харківська область	243	13 489,81
21	Херсонська область	16	796,13
22	Хмельницька область	226	5 199,83
23	Черкаська область	181	6 648,72
24	Чернівецька область	202	6 303,77
25	Чернігівська область	254	11 471,21
26	місто Севастополь		
РАЗОМ		5 377	176 428,93

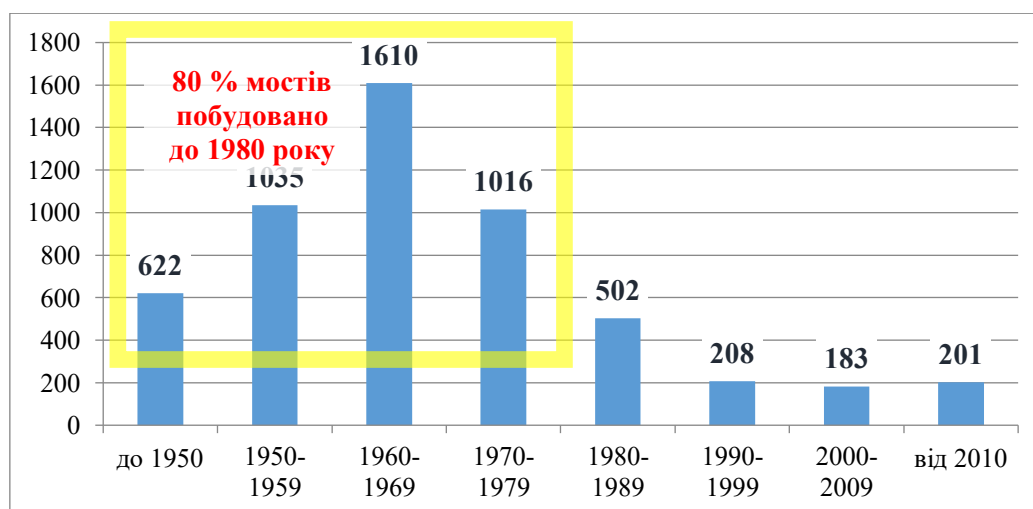


Рисунок 1 — Розподіл транспортних споруд на автомобільних дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях України за роками будівництва

Сучасна мережа автомобільних доріг загального користування України була сформована переважно до 80-х років XX століття. Найбільш активний період будівництва транспортних споруд припадає на 1960–1970-ті роки. У результаті близько 80 % мостів було зведено до 1980 року (**рис. 1**), а середній вік мостів на автомобільних дорогах загального користування України становить 59 років.

Згідно з [2], проектний строк служби залізобетонних мостів залежно від конструктивних рішень і за умови належної експлуатації складає від 70 до 100 років. Хоча вік споруди не є визначальним критерієм під час призначення ремонтних заходів, наведені показники є інформативними та свідчать щодо необхідності активізації процесів відновлення наявних і будівництва нових транспортних споруд. При цьому слід враховувати, що транспортні споруди зі значним строком експлуатації потребують посиленої уваги під час проведення обстежень та оцінювання їхнього фактичного технічного стану. Близько 10 % транспортних споруд мають вік понад 80 років, що відповідно до вимог [3] зумовлює необхідність проведення їх щорічних обстежень.

Мости за довжиною споруди, довжиною окремих прогонових будов та особливостями їхніх конструкцій, згідно з [2] поділяють на традиційні і позакласні.

Традиційні мости поділяють за довжиною на:

- малі — не більше ніж 25 м;
- середні — понад 25 м до 100 м включно;
- великі — понад 100 м або з прогонами понад 60 м.

До позакласних відносять мости, проектування яких пов'язано з невизначеностями у розрахункових схемах або навантаженнях, зокрема:

- мости з розвідними прогонами, мости з їздою у різних рівнях;
- мости підвісних, комбінованих, аркових систем або з нетрадиційними схемами, які підкорені архітектурним рішенням;
- балкові мости з прогонами понад 100 м;
- суміщені під рух автомобільного транспорту, поїздів залізниці або метрополітену;
- мости, в яких існує вірогідність появи коливань типу вихрового збудження.

Оскільки середні, великі та особливо позакласні мости в процесі експлуатації характеризуються підвищеними ризиками втрати несної здатності, а наслідки їх можливого виходу з ладу спричиняють значні збитки для функціонування дорожньої мережі в цілому, питання їхнього утримання потребує підвищеної уваги та відповідного фінансового забезпечення. Саме із цієї причини в роботі виконано детальний аналіз розподілу споруд за довжиною.

Згідно з наявною інформацією абсолютну більшість мостів складають малі мости — їх відсоток сягає 67 % (**табл. 2, рис. 2**).

На **рис. 2** представлено відсотковий розподіл мостів за довжиною в межах кожної області. Найбільша кількість великих мостів є в Харківській, Івано-Франківській, та Київській областях. Позакласних мостів в Україні обмаль, їх обліковується всього 14.

Таблиця 2

Розподіл транспортних споруд на автомобільних дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях України за довжиною

Ч.ч.	Область	Кількість транспортних споруд, шт.				Максимальна довжина моста, м
		Всього	Загальна довжина споруди, м			
			до 25	25-100	більше ніж 100	
1	Автономна республіка Крим					
2	Вінницька область	215	144	59	12	253,2
3	Волинська область	178	128	41	9	196,0

Ч.ч.	Область	Кількість транспортних споруд, шт.				Максимальн а довжина моста, м
		Всього	Загальна довжина споруди, м			
			до 25	25-100	більше ніж 100	
4	Дніпропетровська область	373	192	155	26	298,5
5	Донецька область	25	8	14	3	331,0
6	Житомирська область	180	103	70	7	228,6
7	Закарпатська область	433	336	78	19	323,9
8	Запорізька область	53	30	17	6	340,1
9	Івано-Франківська область	456	343	83	30	469,8
10	Київська область	227	121	80	26	685,5
11	Кіровоградська область	175	99	62	14	499,6
12	Луганська область					
13	Львівська область	527	393	117	17	328,0
14	Миколаївська область	100	57	34	9	750,7
15	Одеська область	387	292	88	7	531,4
16	Полтавська область	157	80	59	18	401,3
17	Рівненська область	305	240	47	18	365,0
18	Сумська область	210	135	59	16	253,1
19	Тернопільська область	254	186	66	2	129,4
20	Харківська область	243	113	96	34	694,8
21	Херсонська область	16	6	8	2	280,0
22	Хмельницька область	226	164	59	3	379,5
23	Черкаська область	181	121	48	12	1 162,4
24	Чернівецька область	202	143	46	13	353,2
25	Чернігівська область	254	170	71	13	877,7
26	місто Севастополь					
	РАЗОМ	5 377	3 604	1 457	316	
			67 %	27 %	6 %	

Класифікація транспортних споруд за матеріалом передбачає їхній поділ залежно від матеріалу, з якого виконано прогонову будову (табл. 3). Відповідно до цієї класифікації транспортні споруди поділяють на залізобетонні, металеві, сталезалізобетонні, кам'яні та дерев'яні. У ПК АЕСУМ у випадках, коли міст складається з прогонових будов, виконаних із різних матеріалів, матеріал споруди в цілому визначають за матеріалом прогонової будови з найбільшим прогоном. Переважну більшість мостів, близько 94 %, становлять залізобетонні конструкції. Водночас доцільно приділяти підвищену увагу металевим і сталезалізобетонним мостам, оскільки для них характерний ризик деградації конструкцій унаслідок розвитку корозійних процесів у металевих елементах. Такі транспортні споруди потребують першочергового обстеження, визначення фактичного технічного стану, розроблення заходів з усунення виявлених дефектів та виконання необхідних ремонтно-відновлювальних робіт.

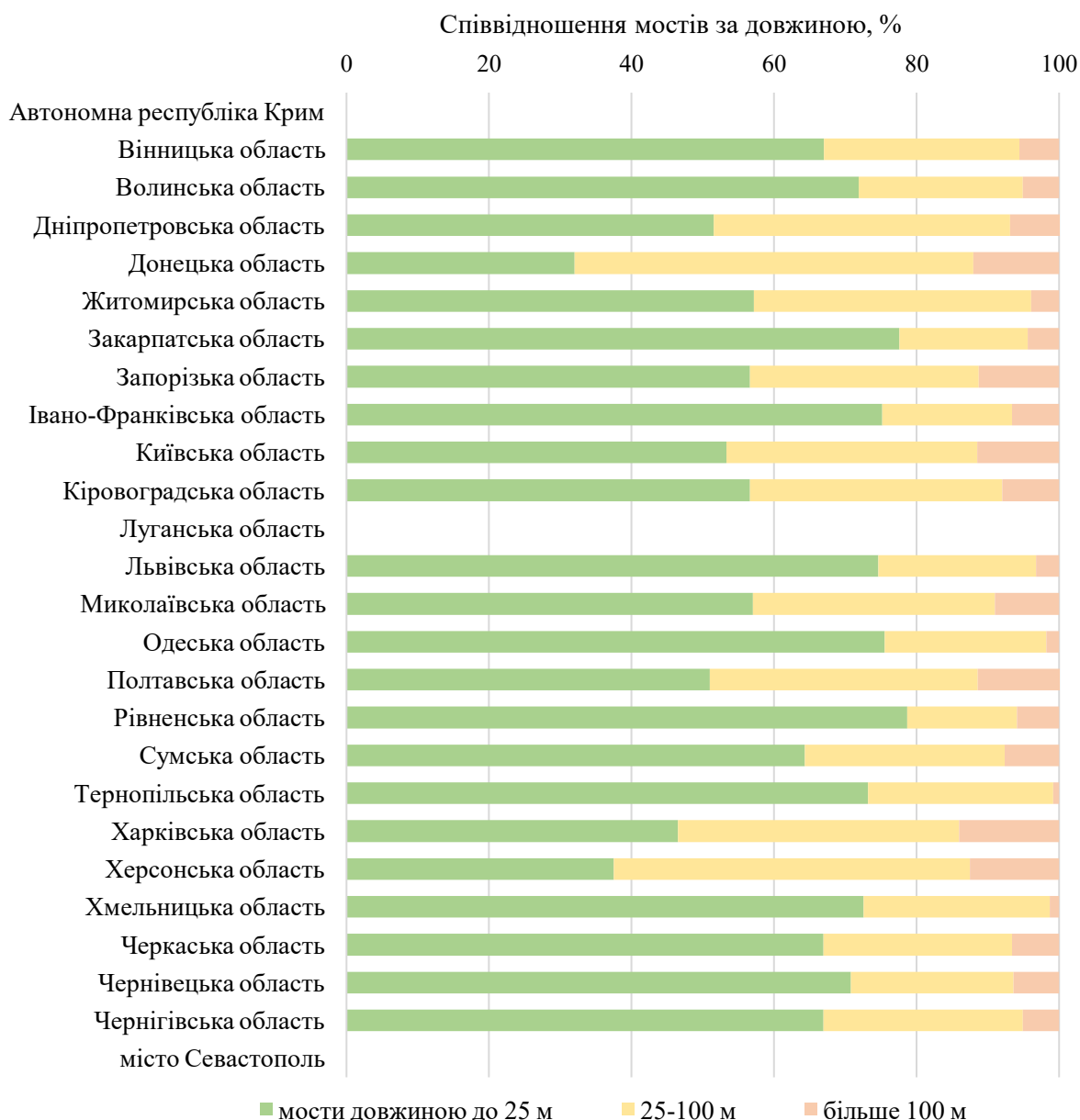


Рисунок 2 — Графік розподілу транспортних споруд на автомобільних дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях України за довжиною

Таблиця 3

Ранжування транспортних споруд на автомобільних дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях України за віком та матеріалом

Матеріал	Вік транспортних споруд, роки					Всього, шт.	%
	1-20	21-40	41-60	61-80	більше ніж 80		
Залізобетонні	258	472	1 837	1 989	476	5 032	93,58
Сталезалізобетонні	16	8	15	121	21	181	3,37

Кінець таблиці 3

Матеріал	Вік транспортних споруд, роки					Всього, шт.	%
	1-20	21-40	41-60	61-80	більше ніж 80		
Металеві	3	9	12	60	15	99	1,84
Кам'яні	0	0	4	37	23	64	1,19
Дерев'яні	0	0	0	1	0	1	0,02
Всього	277	489	1 868	2 208	535	5 377	
%	5,15	9,10	34,74	41,06	9,95		100

Характеристика транспортних споруд за видами наведена в **табл. 4**. Більшість (4 827 шт.) це саме мости, окремо ведеться більш детальний облік шляхопроводів — через автомобільну дорогу та залізницю. На автомобільних дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях України експлуатуються 550 шляхопроводів, з них 275 шляхопроводи через залізничні колії.

Таблиця 4

Ранжування транспортних споруд на автомобільних дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях України за видами

Вид споруди	Всього		у т.ч. залізобетонні	
	шт.	п.м.	шт.	п.м.
Міст	4 827	142 575	4 496	120 365
Шляхопровід	550	33 854	536	33 112
Разом	5 377	176 429	5 032	153 477

Розподіл транспортних споруд за адміністративним значенням наведено в **табл. 5**. Адміністративно-територіальний поділ є динамічною системою, для якої характерні зміни індексів і найменувань автомобільних доріг, а також кількості транспортних споруд. З метою збереження результатів раніше виконаних робіт і реалізації основної місії програмного комплексу АЕСУМ, що полягає у впорядкуванні та формуванні уніфікованих підходів до управління мостовим господарством, поточний етап розвитку ПК АЕСУМ доцільно розглядати як етап сталого розвитку. Такий розвиток, зокрема, передбачає поширення дії системи на транспортні споруди, розташовані на автомобільних дорогах місцевого значення.

Таблиця 5

Розподіл транспортних споруд на автомобільних дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях України за адміністративним значенням

Адміністративне значення	Кількість		Протяжність	
	шт.	%	п.м.	%
Державні	5 377	100	176 428,93	100
Міжнародні	1 147	21,33	58 808,28	33,33
Національні	890	16,55	28 964,06	16,42

Адміністративне значення	Кількість		Протяжність	
	шт.	%	п.м.	%
Регіональні	1 098	20,42	33 722,38	19,11
Територіальні	2 242	41,70	54 934,21	31,14

Станом на сьогодні відомості, отримані в результаті обстеження та паспортизації мостів, внесені щодо 81,7 % транспортних споруд, розташованих на автомобільних дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях (**рис. 3**). Водночас слід зазначити, що для частини споруд строк дії паспортів та звітів за результатами обстежень уже завершився. У зв'язку з цим подальший аналіз у межах даної статті виконано переважно для 4 393 транспортних споруд, для яких наявні актуальні та детальні дані щодо основних конструктивних елементів і визначений їхній технічний стан. Саме ці показники використано як основу для подальшого аналітичного опрацювання.



Рисунок 3 — Графік наявності інформації щодо внесення транспортних споруд на автомобільних дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях України в ПК АЕСУМ

Найвищий рівень наповненості (понад 95 – 100 %) характерний для значної частини центральних, південних та східних областей, що свідчить про системний підхід до виконання робіт з обстеження та паспортизації мостів. Водночас, у низці західних та південних регіонів зафіксовано середній і низький рівень наповнення (менше 70 %), що вказує на необхідність активізації робіт з актуалізації даних (**рис. 4**).

Недостатній рівень фінансування утримання автомобільних доріг загального користування державного значення істотно впливає на темпи проведення обстежень, однак саме обстеження та паспортизація мостів є першочерговим завданням, оскільки забезпечують формування достовірної інформаційної бази для ефективного управління експлуатаційним станом транспортних споруд та запобігання їх аварійному руйнуванню.

Показник наповненості ПК АЕСУМ є ключовим критерієм для визначення переліку мостів, які потребують першочергового обстеження або паспортизації. Крім того, наявність повних і актуальних даних у системі дозволяє виконувати подальший аналітичний аналіз, зокрема порівняльну оцінку експлуатаційного стану мостів та ідентифікацію проблемних типових проєктів.

Під час формування та аналізування даних у ПК АЕСУМ необхідно враховувати, що паралельні мости, прогонові будови яких не об'єднані спільною плитою проїзної частини або іншими конструктивними елементами поперечного об'єднання, незалежно від наявності спільних координат початку і кінця моста та спільних фундаментів опор, розглядаються як окремі об'єкти. Аналогічно, паралельні труби, не об'єднані спільним фундаментом або оголовком, вважаються окремими об'єктами відповідно до вимог ДБН В.2.3-6 [3].



Рисунок 4 — Картографічне відображення рівня заповнення ПК АЕСУМ за результатами обстеження транспортних споруд в регіонах України

За підсумками обстеження транспортних споруд фіксуються виявлені дефекти для кожної групи конструктивних елементів із зазначенням їх характеристик, масштабів поширення та фотоматеріалів. На підставі зібраних даних здійснюють оцінку впливу дефектів на технічний стан окремих елементів і встановлюють експлуатаційний стан відповідної групи, який визначають за найгіршим показником стану елемента в межах цієї групи. Проведення розрахунків вантажопідйомності споруди дає змогу уточнити експлуатаційний стан груп елементів. Після цього в автоматизованому режимі визначається інтегральний рейтинг транспортної споруди загалом відповідно до математичного апарату, наведеного в [3]. Слід підкреслити, що рейтинг є одним із ключових критеріїв для пріоритетного впорядкування мостів за необхідністю виконання ремонтних робіт. Саме на основі рейтингової оцінки встановлюють технічний стан транспортної споруди. Відповідно до [3] автодорожні мости класифікують за п'ятьма експлуатаційними станами: стан 1 — справний, стан 2 — обмежено справний, стан 3 — працездатний, стан 4 — обмежено працездатний, стан 5 — непрацездатний, для кожного з яких передбачено регламентований комплекс експлуатаційних заходів (табл. 6).

Таблиця 6

Технічний стан обстежених транспортних споруд на автомобільних дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях України

Стан		Кількість транспортних споруд	
		шт.	%
стан 1	справний	144	3,27
стан 2	обмежено справний	428	9,75
стан 3	працездатний	2 079	47,33
стан 4	обмежено працездатний	1 258	28,63
стан 5	непрацездатний	484	11,02
Разом		4 393	100

Аналіз розподілу мостів за технічними станами свідчить, що понад 30 % транспортних споруд перебувають у четвертому та п'ятому, тобто найбільш незадовільних, станах. Водночас найбільшу частку становлять мости, що віднесені до третього експлуатаційного стану працездатного (47,33 %). Особливої першочергової уваги потребують 484 мости, які класифіковано як такі, що перебувають у п'ятому — непрацездатному — стані. Для транспортних споруд, віднесених до четвертого (обмежено працездатного) стану, частка яких становить 28,63 %, необхідним є проведення додаткових обстежень, зокрема для об'єктів із простроченим терміном дії паспортів. Це обумовлено високою ймовірністю того, що частина зазначених споруд фактично вже перейшла до п'ятого експлуатаційного стану, що, у свою чергу, створює ризик виникнення аварійних ситуацій.

У графічному вигляді тенденція зростання кількості транспортних споруд у непрацездатному стані представлена на **рис. 5**, навіть з урахуванням відновлення значної кількості мостів упродовж останніх років

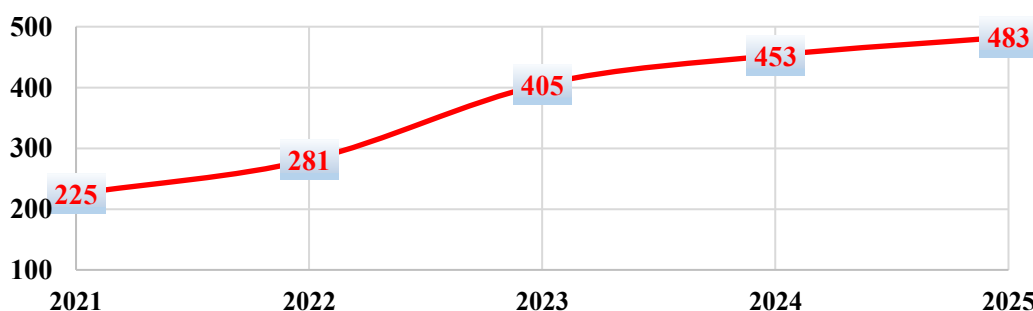


Рисунок 5 — Графік зміни транспортних споруд на автомобільних дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях України, які знаходяться у 5 стані

Дослідження технічного стану транспортних споруд у розрізі адміністративного значення автомобільних доріг (**табл. 7**) створює підґрунтя для обґрунтованого прийняття управлінських рішень щодо визначення пріоритетності заходів з їхнього відновлення. Передусім ремонту або заміни потребують транспортні споруди, що перебувають у п'ятому — непрацездатному — стані на автомобільних дорогах міжнародного значення. Особливу загрозу становить експлуатація мостів у п'ятому стані на дорогах I та II категорій [5], що пов'язано з високою інтенсивністю руху та значними навантаженнями від великовагового транспорту. У цьому контексті першочерговим завданням є відновлення великих і середніх транспортних споруд, які перебувають у непрацездатному технічному стані.

Таблиця 7

Розподіл транспортних споруд за станом в розрізі адміністративного значення доріг на автомобільних дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях України

Адміністративне значення	Кількість транспортних споруд, шт.					
	Всього	у тому числі за станами				
		1	2	3	4	5
Міжнародні	1 068	84	192	438	250	104
Національні	809	17	79	436	218	59
Регіональні	1 019	23	74	529	271	122
Територіальні	1 497	20	83	676	519	199
Разом	4 393	144	428	2 079	1 258	484

Розподіл транспортних споруд за експлуатаційними станами в розрізі областей подано в табл. 8 та на рис. 6. Значна частка мостів, віднесених до п'ятого — непридатного — стану, зосереджена в областях, на території яких відбувалися бойові дії (Харківська, Київська, Чернігівська, Миколаївська області). Водночас підвищені показники кількості мостів у п'ятому стані спостерігаються також у регіонах із високим рівнем обстеження транспортних споруд упродовж останніх років, зокрема у Дніпропетровській та Львівській областях.

Таблиця 8

Розподіл транспортних споруд за станом по областях на автомобільних дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях України

Ч.ч.	Область	Кількість транспортних споруд, шт.					
		Всього	у т.ч. за станами				
			1	2	3	4	5
1	Автономна республіка Крим						
2	Вінницька область	215	3	16	145	35	16
3	Волинська область	178	2	9	141	23	3
4	Дніпропетровська область	373	2	19	125	168	59
5	Донецька область	25	6	3	7	2	7
6	Житомирська область	163	4	24	98	27	10
7	Закарпатська область	262		9	89	119	45
8	Запорізька область	47	1	12	7	23	4
9	Івано-Франківська область	401	5	44	277	63	12
10	Київська область	219	19	44	84	37	35
11	Кіровоградська область	107	3	9	27	53	15
12	Луганська область						
13	Львівська область	327	16	39	101	137	34
14	Миколаївська область	100	10	1	43	20	26
15	Одеська область	204	12	6	69	76	41
16	Полтавська область	139	15	28	54	34	8
17	Рівненська область	165	14	24	71	29	27
18	Сумська область	210	5	26	137	22	20
19	Тернопільська область	177	4	18	63	79	13

Ч.ч.	Область	Кількість транспортних споруд, шт.					
		Всього	у т.ч. за станами				
			1	2	3	4	5
20	Харківська область	243	2	24	112	61	44
21	Херсонська область	16			7	1	8
22	Хмельницька область	226	1	17	106	88	14
23	Черкаська область	180	11	24	89	50	6
24	Чернівецька область	165	3	17	96	44	5
25	Чернігівська область	251	6	15	131	67	32
26	місто Севастополь						
	РАЗОМ	4 393	144	428	2 079	1 258	484



Рисунок 6 — Графік розподілу транспортних споруд за станом по областях на автомобільних дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях України

На теперішній час внаслідок збройної агресії російської федерації проти України на автомобільних дорогах загального користування державного значення в межах підконтрольних територій зруйновано 157 транспортних споруд, 44 з них вже відремонтовано, 37 споруд відновленню не підлягає, для 98 з яких організовано тимчасові об'їзди.

Результати аналізу транспортних споруд на зазначених автомобільних дорогах щодо їх відповідності нормативним вимогам за показниками вантажопідйомності та габаритів наведено в **табл. 9**. За підсумками проведеного аналізу встановлено, що значна частка мостів – 71,88 % – не відповідає вимогам нормативних документів.

Оцінювання відповідності транспортних споруд виконували з урахуванням нормативних значень вантажопідйомності, наведених у [2] та [6]. Зазначені нормативи використовують як базові критерії під час визначення експлуатаційної придатності мостів і шляхопроводів на автомобільних дорогах загального користування.

У загальній системі експлуатації автомобільних доріг утримання мостів і шляхопроводів у працездатному стані є одним із пріоритетних завдань. Визначальну роль під час планування першочерговості проведення ремонтних і відновлювальних робіт відіграє достовірна діагностика технічного стану мостів. Згідно з вимогами [4] технічний стан мосту оцінюють залежно від здатності його конструктивних елементів забезпечувати умови граничних станів під час дії нормативних навантажень.

На практиці така здатність найбільш наочно та зручно оцінюється через показник вантажопідйомності мосту. Саме від фактичної вантажопідйомності визначають режим експлуатації споруди, зокрема необхідність запровадження обмежень руху за загальною масою транспортних засобів або навантаження на вісь із встановленням відповідних дорожніх знаків. Вантажопідйомність є однією з основних експлуатаційних характеристик мосту, а помилки при її визначенні можуть мати суттєві економічні наслідки для транспортних перевезень і створювати передумови до виникнення аварійних ситуацій.

Таблиця 9

Розподіл транспортних споруд за станом в розрізі категорії доріг на автомобільних дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях України, які не відповідають чинним нормам

Адміністративне значення доріг	Всього транспортних споруд	Не відповідають чинним нормам	у тому числі		
			За габаритом	За вантажопідйомністю	Одночасно
	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.
Разом	5 377	3 865	590	1 959	1 316
міжнародні	1 147	781	259	122	400
національні	890	746	132	302	312
регіональні	1 098	880	60	592	228
територіальні	2 242	1 458	139	943	376

Обстеження транспортних споруд є одним із ключових чинників забезпечення безпечної їх експлуатації на автомобільних дорогах. Проведення таких заходів сприяє підтриманню безперервності транспортного сполучення, зниженню ймовірності виникнення аварійних ситуацій та подовженню строку служби споруд. Слід наголосити на необхідності виконання обстежень транспортних споруд з періодичністю, встановленою чинними нормами [3], а за потреби — і з менш тривалими інтервалами, оскільки своєчасне обстеження дає змогу заздалегідь виявляти та усувати потенційні дефекти. Упродовж останніх п'яти років фахівці ДП «НІРІ» відіграють провідну роль у виконанні робіт з обстеження, паспортизації та випробування транспортних споруд, а кількісні показники й територіальний розподіл цих обстежень за даними ПК АЕСУМ наведено на **рис. 7**.

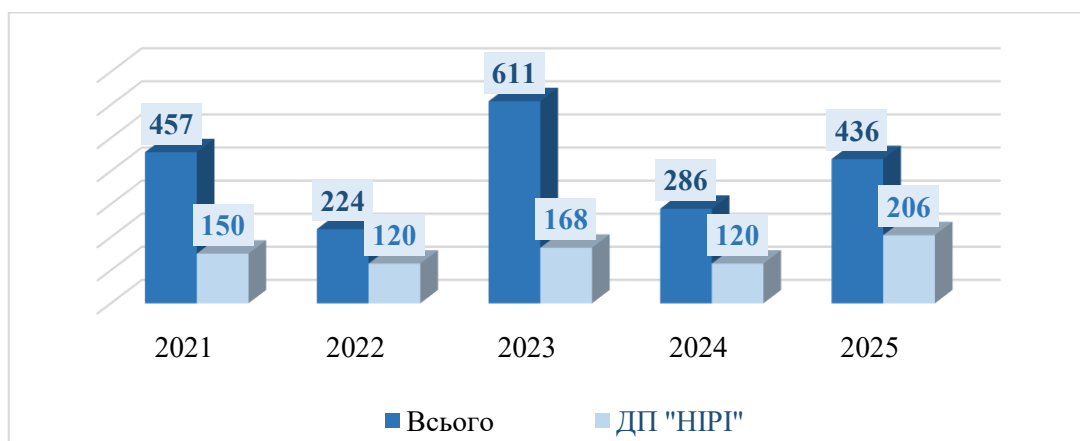


Рисунок 7 — Графік розподілу обстежень транспортних споруд за 5 років на автомобільних дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях України

Транспортні споруди, як і інші інженерні об'єкти, потребують періодичного виконання ремонтних робіт. Потреба в ремонті зумовлена впливом комплексу чинників, насамперед фізичним зношенням конструктивних елементів. Своєчасне виконання ремонтних заходів є необхідною умовою забезпечення надійної та довготривалої експлуатації транспортних споруд.

Ремонт — комплекс будівельних робіт, що має за мету відновлення проєктних показників транспортної споруди, тобто підтримання несної здатності та геометричних параметрів у межах, близьких до початкових. Як показує аналізування інформації з **рис. 8**, такі обсяги ремонтних робіт є недостатніми для забезпечення надійної і безаварійної роботи транспортних споруд.

Станом на 01.01.2026 кількість мостів на дорогах державного значення України, що потребують термінового першочергового ремонту складає 1 250 шт.

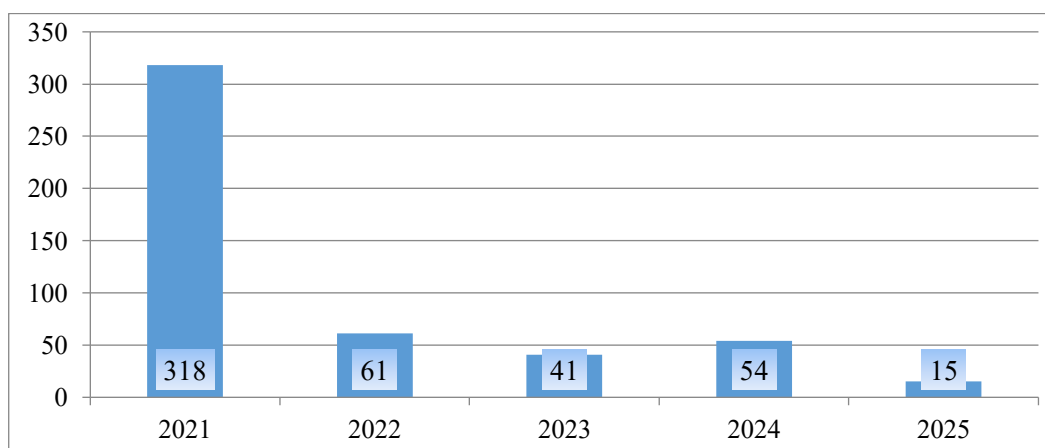


Рисунок 9 — Графік розподілу ремонтів транспортних споруд за 5 років на автомобільних дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях України

Висновки

Ефективний розвиток та утримання транспортної інфраструктури є запорукою стратегічного розвитку держави. Мости є об'єктами критичної інфраструктури і, відповідно, її важливою складовою.

Сьогодні, під час ведення бойових дій, як ніколи набирає значення питання моніторингу та підтримки стану як транспортної інфраструктури країни в цілому, так і зокрема — транспортних

споруд. Прийняття управлінських рішень щодо експлуатування транспортних споруд на дорогах загального користування ґрунтується на інформації з ПК АЕСУМ, тому необхідно постійно актуалізувати інформацію, яка надходить за результатами проведених обстежень згідно з вимогами чинних норм.

Технічний стан значної кількості транспортних споруд України є незадовільним, що провокує значні соціальні і матеріальні збитки та потребує збільшення асигнувань на їхнє відновлення. Розподіл за станами серед обстежених мостів на дорогах загального користування державного значення вказує на те, що 39,65 % з них перебувають у 4 та 5 найгірших станах.

Коротка технічна інформація внесена по всіх мостах на дорогах загального користування (як на державних, так і на місцевих), а саме по 16 166 транспортним спорудам. Вибірка обстежених та внесених в ПК АЕСУМ транспортних споруд на дорогах державного значення складає 81,7 %, що дозволяє з достатньою достовірністю робити узагальнення. Накопичення інформації про транспортні споруди дозволить в наступному річному огляді зробити порівняльний аналіз змін стану мостового господарства та виділити чинники, які на нього впливають.

Список літератури

1. Каськів В. І., Панібратець Л. Г., Степанов С. М., Грінів В. С., Чайковська Л. І. Стан мостового господарства України на дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях за 2023 рік. *Дороги і мости*. 2024. Вип. 29. С. 280–292.
2. ДБН В.2.3-22:2025 Мости і труби. Основні вимоги проектування. Київ, 2025. 43 с. (Інформація та документація).
3. ДБН В.2.3-6:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування. Київ, 2009. 48 с. (Інформація та документація).
4. ДСТУ 9181:2022 Настанова з оцінювання та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ, 2022. 32 с. (Інформація та документація).
5. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Зі змінами. Київ, 2015. 94 с. (Інформація та документація).
6. МР В.2.3-37641918-921:2021 Методичні рекомендації з визначення вантажопідйомності автодорожніх мостів. Київ, 2021. 48 с. (Інформація та документація).

References

1. Volodymyr Kaskiv, Liudmyla Panibratets, Serhii Stepanov, Vladyslava Hriniv, Leonida Chaikovska. State of bridge facilities of ukraine on public roads of national importance in the controlled territories in 2023. *Dorogi i mosti* [Roads and bridges]. 2024. Issue 29. P. 280–292 [in Ukrainian].
2. DBN V.2.3-22:2025 Mosty i truby. Osnovni vymohy proektuvannia [State Building Norms (DBN V.2.3-22:2025) Bridges and pipes. Basic design requirements]. Kyiv, 2025. 43 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
3. 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].
4. DSTU 9181:2022 Nastanova z otsiniuvannia ta prohnozuvannia tekhnichnoho stanu avtodorozhnykh mostiv [State Standard of Ukraine (DSTU 9181:2022) Transport facilities. Road bridges directive for maintenance state assessing and predicting of highway bridges]. Kyiv, 2022. 32 p. (Information and documantation) [in Ukrainian].
5. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannya. Chastyna II. Budivnytstvo [State building codes of Ukraine (DBN V.2.3-4:2015) Highways. Part I. Design. Part II. Construction. Kyiv, 2015. 94 p. (Information and documantation) [in Ukrainian].
6. MR V.2.3-37641918-921:2021 Metodichni rekomendatsii z vyznachennia vantazhopididomnosti avtodorozhnykh mostiv. [Methodological recommendations (MR V.2.3-37641918-921:2021) Methodological recommendations for determining the load-bearing capacity of road bridges. Kyiv, 2021. 48 p. (Information and documantation) [in Ukrainian].

Artem Bezuglyi, Ph.D, Associate Professor, <http://orcid.org/0000-0003-3883-7968>

Volodymyr Kaskiv, Ph.D, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

Serhii Zavorodnii, <https://orcid.org/0000-0003-1928-4544>

Liudmyla Panibratets, <https://orcid.org/0000-0003-0683-9299>

Serhii Stepanov, <https://orcid.org/0000-0003-1220-4310>

Vladyslava Hriniv, <https://orcid.org/0009-0007-8107-9935>

Leonida Chaikovska, <https://orcid.org/0000-0002-3258-5141>

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

THE CONDITION OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE STRUCTURES IN UKRAINE ON PUBLIC ROADS OF NATIONAL IMPORTANCE IN GOVERNMENT-CONTROLLED TERRITORIES AS OF 2025

Abstract

Introduction. Bridges are critical infrastructure assets and play a decisive role in economic development as well as in ensuring the security of individual regions and the state as a whole. Under martial law, their role has increased significantly, as they constitute essential elements of defense infrastructure, routes for humanitarian evacuation, and components of export and logistics corridors. In order to improve the effectiveness of managerial decision-making in the field of bridge management at the level of the State Agency for Restoration and Infrastructure Development of Ukraine, the software system «Analytical Expert System for Bridge Management» (AESBM) is being implemented.

Problem Statement. Under martial law in Ukraine, ensuring the stable and reliable functioning of the bridge sector has acquired particular public significance, as uninterrupted transport connectivity is a prerequisite for sustaining the population and ensuring the proper functioning of the state. At the same time, improving the operational strategy for transport infrastructure structures through the application of the scientific and analytical tools of the «Analytical Expert System for Bridge Management» software system remains a pressing issue.

Purpose. To develop and implement an effective strategy for the operation of bridges on public roads in order to ensure rational planning of financial resources required for their maintenance and repair. Providing open access to up-to-date statistical information on bridges contained in AESBM will facilitate its use in scientific and applied research, while the identification of analytical patterns will allow enhancement of AESBM's functional capabilities in terms of developing operational strategies for transport infrastructure structures.

Materials and Methods. Analytical, statistical, and systems analysis.

Results. The paper presents analytical and statistical data on transport infrastructure structures located on public roads of national importance in government-controlled territories of Ukraine as of the end of 2025. Certain trends were identified, with particular emphasis placed on the technical condition of transport structures.

Conclusions. At present, the technical condition of a significant number of road bridges in Ukraine is unsatisfactory, which poses risks to public safety, hinders reliable and comfortable transportation of passengers and cargo — including military and humanitarian supplies — reduces the state's defense capability, and limits access to social, cultural, educational, and medical services for road users. In this regard, there is an urgent need to improve and implement an operational strategy for transport infrastructure structures using the scientific and analytical framework of AESBM, which will ensure optimal prioritization and timely execution of rehabilitation works while making rational use of financial resources.

Keywords: road, load-bearing capacity, bridge, inspection, inventory/asset registration, software system «Analytical Expert System for Bridge Management» (AESBM), transport infrastructure operation strategy, technical condition, transport infrastructure structure.

Каськів В. І., канд. техн. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

Сташук П. М., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0001-5221-7015>

Зеленський Б. М., д-р філос. з будівництва та цивільної інженерії, <https://orcid.org/0000-0002-9949-3209>

Завгородній С. С., <https://orcid.org/0000-0003-1928-4544>

Борисенко М. А., <https://orcid.org/0000-0001-9772-3536>

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

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВПЛИВУ ХЛОРИДІВ НА ЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

Анотація

Вступ. У статті розглянуто фундаментальну проблему забезпечення довговічності автодорожніх мостів в умовах агресивної дії хлоридів. Надійність експлуатації транспортних споруд значним чином залежить від стану залізобетонних конструкцій, які піддаються дії протижелезних матеріалів і циклічному зволоженню.

Проблематика. Хлоридна корозія арматури є одним із найнебезпечніших чинників деградації, що призводить до втрати несної здатності та передчасного виходу мостів з ладу. Наявна нормативна база України лише частково враховує ці процеси, що вимагає гармонізації з міжнародними стандартами.

Мета. Метою роботи є систематизація теоретичних знань про механізми масопереносу хлоридів, аналіз впливу мінеральних домішок та карбонізації на корозійну стійкість, а також огляд сучасних нормативних методів визначення вмісту хлоридів для вдосконалення національної системи моніторингу мостів.

Матеріали й методи. Використано методи аналітичного огляду наукової літератури та нормативних документів щодо дифузійних процесів, термодинамічного моделювання зв'язування хлоридів та імовірнісних методів оцінки ризиків.

Результати. Проаналізовано відмінності між вільною та зв'язаною формами хлоридів, розглянуто вплив карбонізації на вивільнення зв'язаних солей. Детально описано нормативні методики визначення водо- та кислоторозчинних хлоридів, їх переваги та обмеження. Обґрунтовано необхідність переходу від детермінованих порогових значень до імовірнісних моделей оцінки корозійного ризику.

Висновки. Доведено, що ефективне прогнозування довговічності транспортних споруд потребує диференційованого обліку вільних та зв'язаних хлоридів, особливо для бетонів із мінеральними добавками та в умовах карбонізації. Обґрунтовано доцільність імплементації методик ASTM C876 та AASHTO T 260 у вітчизняну практику моніторингу мостів. Запропонований підхід дозволяє ідентифікувати корозійні процеси на стадії ініціації, що є передумовою для впровадження систем управління активами на основі фактичного технічного стану.

Ключові слова: арматура, дифузія, залізобетон, карбонізація, корозія, міст, прогнозування довговічності, технічний стан, транспортна споруда, хлориди.

Вступ

Забезпечення надійності та довговічності транспортної інфраструктури є критичним завданням для економічної стабільності держави. Автодорожні мости та шляхопроводи, як ключові вузли транспортної мережі, працюють у надзвичайно складних умовах, де динамічні навантаження поєднуються з агресивним впливом навколишнього середовища. Серед усіх фізико-хімічних

факторів, що спричиняють деградацію залізобетону, вплив хлоридів посідає особливе місце через свою здатність викликати латентну, але стрімку корозію арматури [1].

Актуальність дослідження зумовлена широким використанням протижеледних матеріалів на основі хлоридів натрію та кальцію під час зимового утримання доріг. Розчини солей, що утворюються при таненні снігу, проникають крізь пошкодження дорожнього одягу, деформаційні шви та систему водовідведення, накопичуючись у бетоні несних конструкцій. Це створює електролітне середовище, яке є причиною розвитку електрохімічної корозії, що призводить до зменшення перерізу арматури, втрати зчеплення з бетоном та зниження несної здатності споруди в цілому.

У сучасних умовах переходу від системи ліквідації аварій до превентивного управління активами виникає гостра потреба у глибокому розумінні теоретичних засад хлоридної агресії. Чинна нормативна база України (зокрема, ДБН В.2.3-6:2009 [2], ДСТУ 9181:2022 [3]) встановлює загальні вимоги до обстежень, проте методики кількісної оцінки вмісту хлоридів та інтерпретації отриманих даних потребують деталізації та гармонізації з провідними світовими практиками.

Метою цієї роботи є систематизація теоретичних знань про механізми проникнення та впливу хлоридів на залізобетон, аналіз ролі складу бетону та умов середовища у процесах деградації, а також огляд міжнародних нормативних підходів до випробувань (ASTM, AASHTO, EN). Ці дані створюють основу для вдосконалення національних стандартів та розроблення ефективних стратегій діагностики мостів.

Основна частина

Теоретичні засади масопереносу та взаємодії хлоридів у цементних системах

Механізми проникнення хлоридів у бетон

Процес проникнення іонів хлору в структуру бетону не є однорідним і залежить від вологості матеріалу, структури пор та умов навколишнього середовища. У науковій літературі виділяють декілька основних механізмів проникнення, які часто діють одночасно або послідовно залежно від експлуатаційних умов конструкції.

Дифузія є основним механізмом проникнення у водонасиченому бетоні, наприклад, у підводних частинах опор або в конструкціях, що перебувають в умовах постійної високої вологості. Рушійною силою цього процесу є градієнт концентрації: іони рухаються від зони з вищою концентрацією (поверхня бетону) до зони з нижчою концентрацією (глибинні шари). Цей процес традиційно описується другим законом Фіка для нестационарного потоку (**рис. 1**). Ефективний коефіцієнт дифузії, який використовують у розрахунках, є інтегральною характеристикою, що відображає опір матеріалу переміщенню іонів. Важливо зазначити, що цей коефіцієнт не є постійною величиною: у міру гідратації цементу структура пор ущільнюється, що призводить до сповільнення дифузії з часом. Цей ефект описується так званим «фактором старіння», який варіюється залежно від типу в'язучого [4].

Капілярна сорбція (всмоктування) відіграє критичну роль для залізобетонних елементів, які піддаються циклам зволоження та висихання. Коли сухий бетон контактує із сольовим розчином (наприклад, талою водою з протижеледними реагентами), рідина втягується в пори під дією сил поверхневого натягу. Цей процес відбувається на порядки швидше за дифузію і призводить до формування у поверхневому шарі (глибиною 10–20 мм) так званої «конвективної зони» [1]. У цій зоні концентрація хлоридів може різко зростати за короткий проміжок часу, створюючи зону високого насичення для подальшої дифузії вглиб конструкції.

Проникність під тиском є менш поширеним механізмом для мостових конструкцій, але може мати місце в глибоководних опорах, де гідростатичний тиск води є причиною примусового проникнення розчину в пори бетону.

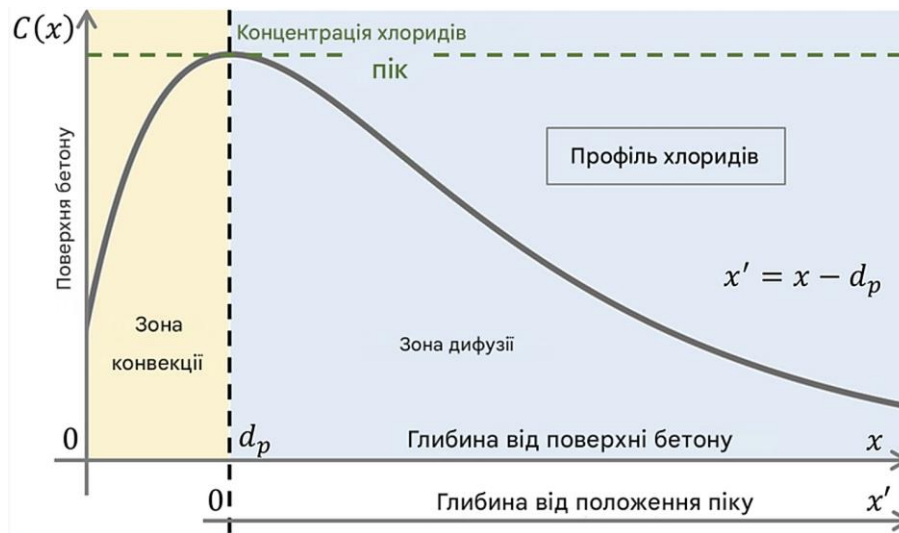


Рисунок 1 — Типовий профiль розподiлу iонiв хлориду за глибиною бетону [5]

Фiзико-хiмiчна взаємодiя та зв'язування хлоридiв

Хлориди, що потрапили в бетон, iснують у двох основних станах, розрiзнення яких є принциповим для оцiнки корозійних ризикiв [6].

Вiльні хлориди — це iони, розчиненi у поровiй рiдинi бетону. Саме вони є активними учасниками електрохiмiчного процесу корозiї, оскiльки можуть вiльно пересуватися до поверхнi арматури, руйнувати її пасивну плiвку та знижувати електричний опiр бетону. Бiльшiсть моделей прогнозування довговiчностi базується на оцiнцi концентрацiї саме вiльних хлоридiв.

Зв'язанi хлориди — це частина хлоридiв, яка iмобiлізується цементною матрицею. Зв'язування відбувається двома шляхами:

1. **Хiмiчне зв'язування:** Реакцiя хлоридiв з трикальцiєвим алюмiнатовим (C₃A) та його гiдратними фазами призводить до утворення комплексної сполуки — хлоралюмiнату кальцiю, вiдомого як сiль Фрiделя [6]. Ця реакцiя виводить частину агресивних iонiв з розчину, тимчасово знижуючи ризик корозiї. Цементи з високим вiстом алюмiнатiв (наприклад, ASTM Type I) мають вищу здатнiсть до хiмiчного зв'язування порiвняно з сульфатостiйкими цементами.

2. **Фiзична адсорбцiя:** Iони хлору можуть фiзично утримуватися на поверхнi гелю гiдросилкатiв кальцiю (C-S-H) завдяки електростатичним силам. Цей механiзм є менш мiцним, але також знижує концентрацiю вiльних хлоридiв у поровому розчинi.

Важливо розумiти, що процес зв'язування є оборотним. Змiна умов середовища, зокрема зниження рН (карбонiзацiя) або пiдвищення температури, може призвести до розкладання сiлi Фрiделя та десорбцiї iонiв, повертаючи їх у вiльний, агресивний стан [1, 6].

Синергiя карбонiзацiї та хлоридної агресiї

Карбонiзацiя бетону — реакцiя гiдроксиду кальцiю з атмосферним вуглекислим газом — традицiйно розглядається як окремий вид корозiї, що призводить до зниження лужностi бетону. Однак при одночаснiй дiї з хлоридами виникає небезпечний синергетичний ефект [1].

Фронт карбонiзацiї, просуваючись вiд поверхнi вглиб бетону, знижує рН середовища до значень, при яких хлоровмiснi сполуки (сiль Фрiделя) стають нестабiльними. Це викликає масове вивiльнення ранiше зв'язаних хлоридiв. Утворенi вiльнi хлориди додаються до тих, що надходять iз зовнiшнього середовища, i просуваються фронтом карбонiзацiї вглиб конструкцiї.

У результатi перед фронтом карбонiзацiї формується зона з аномально високою концентрацiєю вiльних хлоридiв. Це явище може призвести до того, що критична концентрацiя солей бiля поверхнi арматури буде досягнута значно ранiше, нiж передбачають розрахунки для «чистої» дифузiї. Крім

того, карбонізація змінює порову структуру бетону: для звичайних портландцементів вона може зменшувати пористість, але для бетонів з мінеральними добавками (шлак, зола) може спостерігатися зворотний ефект — огрубіння пор та підвищення проникності [4].

Модель корозії арматури (Tuutti) та поняття порогової концентрації

Процес деградації залізобетону внаслідок корозії арматури класично описується моделлю Tuutti [7], яка розділяє життєвий цикл конструкції на дві стадії:

1. **Стадія ініціації:** Період, протягом якого агресивні агенти (хлориди, CO_2) проникають через захисний шар бетону до поверхні арматури. На цьому етапі фізичні пошкодження конструкції відсутні, а сталь залишається захищеною пасивною оксидною плівкою. Стадія завершується моментом депасивації сталі [8].

2. **Стадія поширення (пропагації):** Починається після руйнування пасивної плівки, коли швидкість корозії стає значущою. Накопичення продуктів корозії (іржі), які мають більший об'єм, ніж вихідний метал, створює внутрішній тиск, що призводить до утворення тріщин, відшарування захисного шару та втрати несної здатності.

Графічне представлення моделі Tuutti (рис. 2) демонструє критичність переходу від стадії накопичення хлоридів до активного руйнування перерізу арматури. Момент депасивації сталі є точкою невороття, після якої експлуатаційні витрати на утримання споруди зростають експоненціально.

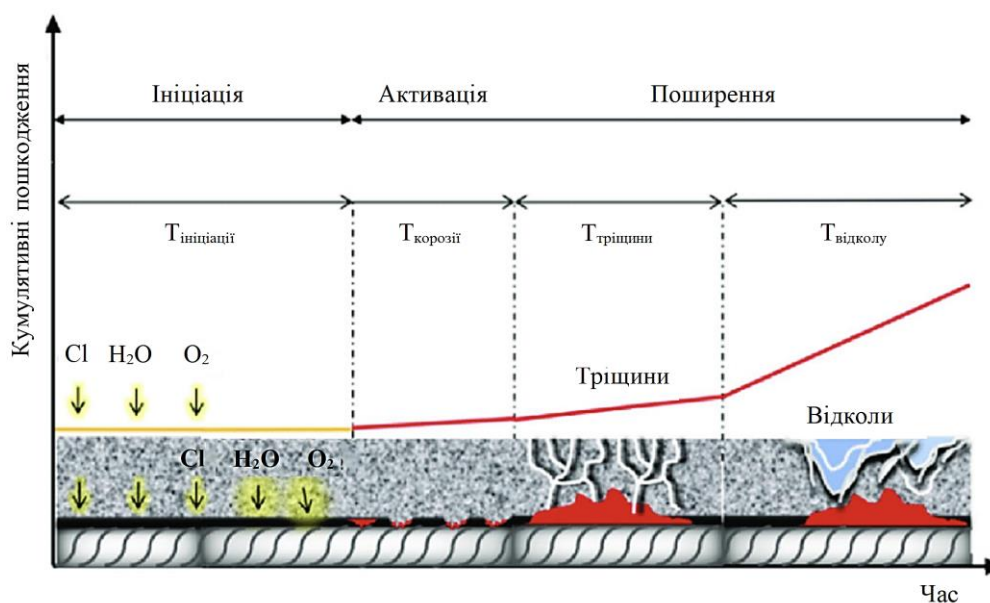


Рисунок 2 — Модель життєвого циклу залізобетонної конструкції за Туутті (Tuutti) [9]

Ключовим параметром переходу від першої до другої стадії є порогова концентрація хлоридів (Chloride Threshold Value — CTV). Раніше це значення вважалося константою (наприклад, 0,4 % від маси цементу). Сучасні дослідження (Angst, Elsener) доводять, що CTV є стохастичною величиною, яка залежить від багатьох чинників: типу цементу, вологості, потенціалу сталі та якості контактної зони «сталь-бетон» [8]. Зокрема, наявність раковин та пустот на контакті з арматурою значно знижує поріг ініціації корозії.

Вплив складу бетону на корозійну стійкість: роль SCM

Використання додаткових цементуючих матеріалів (Supplementary Cementitious Materials — SCM), таких як зола виносу, гранульований доменний шлак та мікрокремнезем, є сучасною тенденцією в технології бетону. Ці матеріали суттєво впливають на механізми хлоридної корозії.

Покращення дифузійних властивостей. У більшості досліджень показано тенденцію до зниження коефіцієнта дифузії хлоридів порівняно зі звичайним портландцементом [4, 10]. Це досягається завдяки пуцолановій реакції, яка ущільнює структуру пор, та фізичному перекриттю шляхів міграції іонів.

Зниження порогової концентрації. Водночас, дослідження Trejo та Tibbits [11], а також Jafari Azad та Isgor [6], виявили зворотний бік використання SCM. Заміщення частини клінкеру добавками призводить до зниження буферної ємності бетону (запасу гідроксиду кальцію). Це означає, що для зниження рН до критичного рівня потрібно менше агресивних агентів. Крім того, знижується здатність системи зв'язувати хлориди хімічним шляхом. У результаті, порогова концентрація хлоридів, необхідна для початку корозії, у бетонах із SCM може бути нижчою, ніж у чистих портландцементних системах.

Отже, використання SCM створює парадокс довговічності: зменшення проникності уповільнює надходження хлоридів, проте зниження буферної ємності бетону зменшує поріг депасивації. Реальний строк служби визначається балансом цих процесів, що обмежує застосування універсальних нормативних порогів.

Таким чином, оцінка довговічності бетонів з добавками вимагає балансування між уповільненим проникненням хлоридів (позитивний чинник) та зниженим порогом ініціації (негативний чинник). Це підкреслює необхідність використання розрахункових моделей, які враховують обидва параметри.

Аналіз нормативних методів визначення вмісту хлоридів та оцінювання стану

Для практичної діагностики мостів критично важливим є використання стандартизованих методів випробувань, які дозволяють отримувати відтворювані результати та порівнювати їх з нормативними критеріями.

Метод визначення водорозчинних хлоридів у бетоні згідно з ASTM C1218/C1218M

Стандарт ASTM C1218/C1218M-20 [12] встановлює методику визначення вмісту водорозчинних хлоридів у бетоні та цементному розчині, тобто тієї частини солей, яка може безпосередньо брати участь у процесі корозії арматури. Цей метод має прикладне значення як для контролю якості бетонів під час виготовлення, так і для оцінювання технічного стану експлуатованих конструкцій, зокрема мостів, плит та елементів проїзної частини. На відміну від кислоторозчинного аналізу, який визначає сумарну кількість зв'язаних і вільних хлоридів, даний стандарт фіксує лише активну частину, що безпосередньо впливає на електрохімічні процеси корозії. Отримані значення застосовують для порівняння з граничними концентраціями, наведеними у таких документах як ACI 318 [13], EN 206 [14] чи AASHTO LRFD [15], що регламентують допустимий вміст хлоридів у бетоні для різних умов експлуатації.

Для проведення випробування зразки бетону або цементного розчину відбирають у вигляді кернів або порошкових проб на різній глибині від поверхні конструкції. Найчастіше застосовують коронки з алмазним напиленням або роторні дрилі з пилозбірниками, які дозволяють отримати профіль розподілу хлоридів за товщею бетону. Після висушування та подрібнення матеріал просіюють через сито з розміром комірки 850 мкм і ретельно перемішують до однорідності. З підготовленої навіски масою близько 10 г відбирають пробу, яку поміщають у скляний стакан, додають 50 мл дистильованої води та доводять до кипіння. Після охолодження суспензію настоюють протягом 24 годин, що забезпечує повне розчинення вільних іонів хлориду. Далі розчин фільтрують, підкислюють азотною кислотою і додають декілька крапель перекису водню для нейтралізації сірководню, який може спотворити результати.

Визначення концентрації хлоридів здійснюють титруванням розчином нітрату срібла за методом Мора з використанням хроматного індикатора або потенціометричним способом, що дозволяє точно зафіксувати момент досягнення точки еквівалентності. Результат виражають у відсотках за масою бетону або у відсотках від маси цементу, а за потреби перераховують у

кілограми хлоридів на кубічний метр бетону. Метод забезпечує високу точність і відтворюваність: відхилення результатів у межах однієї лабораторії не перевищує 0,001 – 0,002 % Cl, а між лабораторіями — близько 0,004 %. У практиці інженерних обстежень значення, отримані за ASTM C1218, зазвичай у 1,5 – 2,0 рази нижчі за результати кислоторозчинних аналізів, що пояснюється визначенням лише водорозчинної, тобто агресивної, фракції солей.

Застосування цього методу особливо важливе для транспортних споруд, де відбувається накопичення протиожеледних солей у поверхневих шарах бетону. Він дозволяє кількісно оцінити ступінь засолення, побудувати профіль проникнення хлоридів та спрогнозувати термін до досягнення критичного рівня в зоні арматури.

Метод електричної індикації здатності бетону протидіяти проникненню іонів хлориду згідно з ASTM C1202

Стандарт ASTM C1202-22 [16] регламентує методику швидкого оцінювання здатності бетону протидіяти проникненню іонів хлориду шляхом вимірювання його електропровідності (Rapid Chloride Permeability Test — RCPT). Суть методу полягає у визначенні кількості електричного заряду (у кулонах), що проходить крізь циліндричний зразок бетону протягом шести годин при прикладеній напрузі 60 В постійного струму.

Один торець зразка занурюють у розчин натрій хлориду (NaCl, 3 %), а протилежний — у розчин натрій гідроксиду (NaOH, 0,3 N). Вимірюють електричний струм, що проходить крізь зразок, і за величиною переданого заряду роблять висновок про рівень проникності бетону для іонів хлориду.

Метод забезпечує швидку та надійну характеристику опору бетону до дії хлоридів і має добру кореляцію з тривалими методами випробувань на проникність, зокрема з методом AASHTO T 259 [17]. У стандарті визначено класифікацію бетонів за проникністю:

- понад 4 000 Кл — висока;
- 2 000–4 000 Кл — помірна;
- 1 000–2 000 Кл — низька;
- 100–1 000 Кл — дуже низька;
- менше 100 Кл — незначна.

Точність результатів залежить від багатьох чинників, зокрема віку зразків, складу суміші, типу та кількості мінеральних домішок (SCM), способу тверднення й температури під час випробування. Для бетонів із мінеральними домішками рекомендовано збільшувати строк тверднення до 56 діб. Метод не придатний для зразків, що містять армування або для бетону, модифікованого електропровідними полімерними складниками чи сталевую фіброю.

Метод визначення потенціалів корозії арматури в бетоні згідно з ASTM C876

Стандарт ASTM C876-22b [18] регламентує методику оцінювання електричного потенціалу корозії нефарбованої арматури, закладеної у бетон, з метою визначення її корозійної активності (Half-Cell Potential). Метод заснований на вимірюванні різниці потенціалів між арматурою, що знаходиться у бетоні, та зовнішнім референтним електродом (найчастіше мідно-сульфатним, CSE), який розміщують на поверхні конструкції (рис. 3).

Процедуру можна виконувати як у лабораторних, так і в натурних умовах. Перед вимірюванням поверхню бетону звожують розчином із низьким електричним опором. Потенціали записують з точністю до 0,01 В та наносять на план конструкції для побудови карти ізоліній рівного потенціалу.

Інтерпретація результатів базується на числових критеріях потенціалу відносно мідно-сульфатного електрода (CSE):

- більше – 200 мВ: ймовірність корозії становить менше 10 %;
- діапазон від – 200 мВ до – 350 мВ: активність корозії є невизначеною;
- менше – 350 мВ: існує понад 90 % ймовірність активної корозії арматури.

Вольтметр високого імпедансу

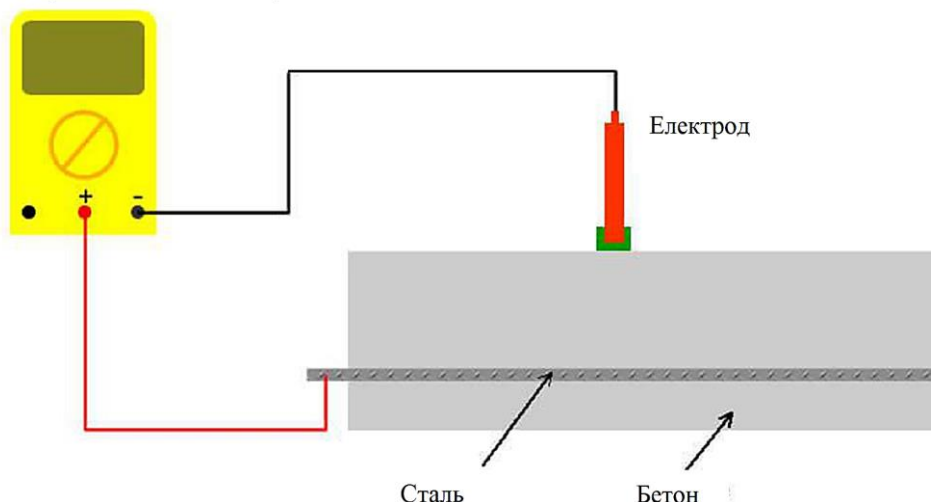


Рисунок 3 — Оцінювання різниці потенціалів між опорним електро́дом та арматурою [18, 19]

Метод дає змогу якісно оцінити просторовий розподіл активності корозії та локалізувати небезпечні ділянки в бетонних елементах мостів ще до появи видимих дефектів.

Метод відбирання та визначення вмісту іонів хлориду у бетоні та сировинних матеріалах згідно з AASHTO T 260

Стандарт AASHTO T 260-21 [20] встановлює комплексну методику відбору проб та хімічного аналізу для визначення вмісту іонів хлориду. Метою цього методу є кількісна оцінка концентрації хлоридів, які можуть сприяти корозії арматури. Цей документ є основним для дорожніх адміністрацій США.

Методика передбачає відбирання проб з певних глибин за допомогою покрокового висвердлювання порошку бетону, що дозволяє побудувати детальний профіль концентрації та розрахувати коефіцієнт дифузії. Відібраний матеріал піддають хімічному аналізу для визначення або кислоторозчинних, або водорозчинних хлоридів. Розрахунок базується на потенціометричному титруванні або методі Мора.

Результати аналізу за AASHTO T 260 мають пряму практичну цінність під час оцінювання технічного стану мостів, оскільки дозволяють точно визначити, чи досягла концентрація хлоридів на рівні арматури критичного порогу.

Метод визначення кислоторозчинних хлоридів у розчинах та бетоні згідно з ASTM C1152/C1152M

Стандарт ASTM C1152/C1152M-20 [21] регламентує методику визначення кислоторозчинних хлоридів, що дає можливість оцінити їхній загальний вміст у матеріалі (вільні + зв'язані). На відміну від методу ASTM C1218, цей стандарт передбачає розкладання матеріалу в азотній кислоті.

Метод передбачає подрібнення проби бетону до стану порошку (прохід крізь сито 850 мкм). Відібрана проба масою близько 10 г розчиняється у суміші води та розбавленої азотної кислоти. Після нагрівання та охолодження фільтрат титрують розчином нітрату срібла (AgNO_3).

Цей метод дає «найгірший сценарій». Якщо загальний вміст хлоридів нижчий за поріг безпеки, корозія неможлива. Проте високий загальний вміст не завжди означає активну корозію, якщо значна частина хлоридів хімічно зв'язана продуктами гідратації цементу. Тому результати ASTM C1152 часто використовують як первинний скринінг або для оцінювання якості вихідних матеріалів (заповнювачів).

Порівняльний аналіз методів

Вибір конкретної методики випробувань залежить від етапу життєвого циклу споруди та поставлених діагностичних завдань. Порівняльний аналіз стандартизованих методів ASTM та AASHTO дозволяє виділити їхні ключові особливості та межі застосування.

Основним критерієм під час оцінювання хімічного складу бетону є розмежування між загальним та активним вмістом хлоридів. Метод ASTM C1152 забезпечує оцінку «найгіршого сценарію», визначаючи сумарну кількість іонів, що потенційно можуть бути вивільнені при повній деградації структури бетону або внаслідок карбонізації. Це критично важливо для вхідного контролю матеріалів. Натомість ASTM C1218 фокусується виключно на водорозчинній фракції, яка безпосередньо бере участь в електрохімічних реакціях у поровому розчині. Практика показує, що значення водорозчинних хлоридів зазвичай у 1,5–2,0 рази нижчі за показники загального вмісту, що необхідно враховувати порівнюючи з нормативними порогоми корозії.

Для швидкого ранжування бетонів за їхньою захисною здатністю доцільно застосовувати метод ASTM C1202 (RCPT). Хоча він не вимірює концентрацію хлоридів безпосередньо, показник пройденого заряду дає інтегральну оцінку проникності капілярно-пористої структури. Це робить його незамінним інструментом під час проектування нових конструкцій та підборі оптимального вмісту мінеральних добавок (SCM).

У процесі натурних обстежень мостів найбільшу цінність мають методи, що дозволяють оцінити динаміку процесу. Методика AASHTO T 260 через покрокове висвердлювання дає змогу побудувати графік розподілу концентрації хлоридів за глибиною, що є базою для розрахунку фактичного коефіцієнта дифузії та прогнозування часу до початку корозії. У поєднанні з картуванням потенціалів за ASTM C876, яке локалізує ділянки з високою ймовірністю активного розчинення сталі (менше — 350 мВ), інженер отримує повну картину технічного стану споруди без необхідності масового розкриття арматури.

Таким чином, для об'єктивного моніторингу транспортних споруд в Україні рекомендується перехід від одноразових вимірювань до комплексного підходу, який поєднує визначення профілю хлоридів (для прогнозування) та електрохімічну діагностику (для поточної оцінки стану).

Порівняння наведених методів наведено в **табл. 1**.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика методів аналізу хлоридної агресії

Метод	Стандарт	Що вимірює	Основне застосування
Водорозчинні хлориди	ASTM C1218	Вільні іони (агресивна фракція)	Оцінювання поточної корозійної небезпеки
Кислоторозчинні хлориди	ASTM C1152	Загальний вміст (вільні + зв'язані)	Скринінг та контролювання вихідних матеріалів
Електропровідність (RCPT)	ASTM C1202	Прохідний електричний заряд (Кл)	Швидке оцінювання проникності бетону
Потенціали корозії	ASTM C876	Різниця потенціалів (мВ)	Локалізація зон активної корозії на об'єкті

Висновки

1. Комплексність деградації. Хлорид-індукована корозія арматури має багатofакторний характер і визначається не лише зовнішнім надходженням солей, а й внутрішніми параметрами бетону (вологістю, поровою структурою, pH). Показано, що ігнорування синергії хлоридної агресії та карбонізації може призводити до систематичного заниження корозійного ризику, оскільки фронт карбонізації здатний вивільняти зв'язані хлориди та формувати локальні зони підвищеної концентрації біля арматури.

2. **Вплив SCM як конкурентна взаємодія чинників.** Використання золи-виношення, доменного шлаку та мікрокремнезему зазвичай знижує проникність бетону та уповільнює надходження хлоридів. Водночас зменшення лужного резерву й потенційне зниження порогу депасивації арматури вимагають диференційованого підходу до проектування бетонів із SCM і коректного вибору критеріїв довговічності.

3. **Точність діагностики та інтерпретації.** Для об'єктивної оцінки технічного стану мостів принциповим є розмежування водорозчинної (активної) та кислоторозчинної (загальної) фракцій хлоридів. Застосування методик ASTM C1218 і ASTM C1152 дозволяє відокремлювати поточний корозійний ризик від потенційного ресурсу конструкції та підвищує відтворюваність інженерних висновків.

4. **Перехід до інструментального та ризик-орієнтованого моніторингу.** Доцільним є поєднання хімічного профілювання хлоридів (AASHTO T 260) з електрохімічним картуванням потенціалів (ASTM C876), що забезпечує виявлення корозійних процесів на стадії ініціації. Такий підхід створює передумови для впровадження імовірнісних моделей оцінювання ризику та систем управління активами на основі фактичного технічного стану.

Список літератури

1. Ali M., Shams M. A., Bheel N., et al. A review on chloride induced corrosion in reinforced concrete structures: lab and in situ investigation. *RSC Advances*. 2024. Vol. 14. P. 37252–37271. DOI: <https://doi.org/10.1039/D4RA05506C>.
2. ДБН В.2.3-6:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування. Київ, 2009. 73 с. (Інформація та документація).
3. ДСТУ 9181:2022. Настанова з оцінювання та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ, 2022. 32 с. (Інформація та документація).
4. Presuel-Moreno F. J., Moreno E. I. Effect of Fly Ash and Silica Fume on Time to Corrosion Initiation for Specimens Exposed Long Term to Seawater. *ACI Special Publication SP-308*. 2016. DOI: <https://doi.org/10.14359/51689184>.
5. Reichert T. A., Balestra C. E. T., Balestra D. A. O., et al. Laboratory procedure for obtaining chloride profiles from concrete structures cores: a mathematical approach. *Journal of Building Rehabilitation*. 2023. Vol. 8. Article 41. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41024-023-00286-2>.
6. Jafari Azad V., Isgor O. B. A Thermodynamic Perspective on Admixed Chloride Limits of Concrete Produced with SCMs. *ACI Special Publication SP-308*. 2016. P. 1–18. DOI: <https://doi.org/10.14359/51689183>.
7. Tuutti K. Corrosion of Steel in Concrete. Ph.D. Thesis. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982.
8. Angst U. M., Elsener B. Chloride Threshold Values in Concrete – A Look Back and Ahead. *ACI Special Publication SP-308*. 2016. P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.14359/51689176>.
9. Kim C, Choe D-E, Castro-Borges P, Castaneda H. Probabilistic Corrosion Initiation Model for Coastal Concrete Structures. *Corrosion and Materials Degradation*. 2020; 1(3):328-344. DOI: <https://doi.org/10.3390/cmd1030016>.
10. Wang, T., Zheng, J. J., & Dai, J. G. (2023). Analysis of time-dependent chloride diffusion in surface-treated concrete based on a rapid numerical approach. *Structure and Infrastructure Engineering*, 19(3), 332–344. DOI: <https://doi.org/10.1080/15732479.2021.1945113>.
11. Trejo D., Tibbits C. The Influence of SCM Type and Quantity on the Critical Chloride Corrosion Threshold. *ACI Special Publication SP-308*. 2016. P. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.14359/51689182>.
12. ASTM C1218/C1218M-20. Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020. (Інформація та документація).
13. ACI 318-19. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2019. (Інформація та документація).

14. ДСТУ EN 206:2022. Бетон. Специфікація, продуктивність, виробництво та відповідність. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022. (Інформація та документація).
15. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. 10th ed. Washington, DC: AASHTO, 2024. (Інформація та документація).
16. ASTM C1202-22. Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2022. (Інформація та документація).
17. AASHTO T 259-02. Standard Method of Test for Resistance of Concrete to Chloride Ion Penetration. Washington, DC: AASHTO, 2002. (Інформація та документація).
18. ASTM C876-22b. Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2022. (Інформація та документація).
19. Half-Cell Corrosion Mapping for Concrete [Електронний ресурс] / FprimeC Solutions. – Режим доступу: URL: <https://fprimec.com/half-cell-corrosion-mapping-for-concrete/>.
20. AASHTO T 260-21. Standard Method of Test for Sampling and Testing for Chloride Ion in Concrete and Concrete Raw Materials. Washington, DC: AASHTO, 2021. (Інформація та документація).
21. ASTM C1152/C1152M-20. Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020. (Інформація та документація).

References

1. Ali M., Shams M. A., Bheel N., et al. A review on chloride induced corrosion in reinforced concrete structures: lab and in situ investigation. *RSC Advances*. 2024. Vol. 14. P. 37252–37271. DOI: <https://doi.org/10.1039/D4RA05506C> [in English].
2. DBN V.2.3-6:2009 Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennia i vyprovuvannia [State Building Norms (DBN V.2.3-6:2009) Transport facilities. Bridges and culverts. Inspection and testing]. Kyiv, 2009. 73 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
3. DSTU 9181:2022 Nastanova z otsiniuvannia i prohnozuvannia tekhnichnoho stanu avtodorozhnykh mostiv [State Standard of Ukraine (DSTU 9181:2022) Guidelines for assessment and forecasting of the technical condition of highway bridges]. Kyiv, 2022. 32 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
4. Presuel-Moreno F. J., Moreno E. I. Effect of fly ash and silica fume on time to corrosion initiation for specimens exposed long term to seawater. *ACI Special Publication SP-308*. 2016. DOI: <https://doi.org/10.14359/51689184> [in English].
5. Reichert T. A., Balestra C. E. T., Balestra D. A. O., et al. Laboratory procedure for obtaining chloride profiles from concrete structures cores: a mathematical approach. *Journal of Building Rehabilitation*. 2023. Vol. 8. Article 41. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41024-023-00286-2> [in English].
6. Jafari Azad V., Isgor O. B. A thermodynamic perspective on admixed chloride limits of concrete produced with SCMs. *ACI Special Publication SP-308*. 2016. P. 1–18. DOI: <https://doi.org/10.14359/51689183> [in English].
7. Tuutti K. *Corrosion of Steel in Concrete*. PhD thesis. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982 [in English].
8. Angst U. M., Elsener B. Chloride threshold values in concrete — a look back and ahead. *ACI Special Publication SP-308*. 2016. P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.14359/51689176> [in English].
9. Kim C., Choe D.-E., Castro-Borges P., Castaneda H. Probabilistic corrosion initiation model for coastal concrete structures. *Corrosion and Materials Degradation*. 2020. Vol. 1(3). P. 328–344. DOI: <https://doi.org/10.3390/cmd1030016> [in English].
10. Wang T., Zheng J. J., Dai J. G. Analysis of time-dependent chloride diffusion in surface-treated concrete based on a rapid numerical approach. *Structure and Infrastructure Engineering*. 2023. Vol. 19(3). P. 332–344. DOI: <https://doi.org/10.1080/15732479.2021.1945113> [in English].

11. Trejo D., Tibbits C. The influence of SCM type and quantity on the critical chloride corrosion threshold. *ACI Special Publication SP-308*. 2016. P. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.14359/51689182> [in English].
12. ASTM C1218/C1218M-20 Standard test method for water-soluble chloride in mortar and concrete. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020. (Information and documentation) [in English].
13. ACI 318-19 Building code requirements for structural concrete and commentary. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2019. (Information and documentation) [in English].
14. DSTU EN 206:2022 Beton. Spetsyfikatsiia, produktyvnist, vyrobnytstvo ta vidpovidnist [State Standard of Ukraine (DSTU EN 206:2022) Concrete. Specification, performance, production and conformity]. Kyiv, 2022. (Information and documentation) [in Ukrainian].
15. AASHTO LRFD Bridge design specifications. 10th ed. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2024. (Information and documentation) [in English].
16. ASTM C1202-22 Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2022. (Information and documentation) [in English].
17. AASHTO T 259-02 Standard method of test for resistance of concrete to chloride ion penetration. Washington, DC: AASHTO, 2002. (Information and documentation) [in English].
18. ASTM C876-22b Standard test method for corrosion potentials of uncoated reinforcing steel in concrete. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2022. (Information and documentation) [in English].
19. FprimeC Solutions. Half-cell corrosion mapping for concrete [Electronic resource]. Available at: URL: <https://fprimec.com/half-cell-corrosion-mapping-for-concrete/> [in English].
20. AASHTO T 260-21 Standard method of test for sampling and testing for chloride ion in concrete and concrete raw materials. Washington, DC: AASHTO, 2021. (Information and documentation) [in English].
21. ASTM C1152/C1152M-20 Standard test method for acid-soluble chloride in mortar and concrete. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020. (Information and documentation) [in English].

Volodymyr Kaskiv, *Ph.D., Associate Professor*, <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

Pavlo Stashuk, *Ph.D.*, <https://orcid.org/0000-0001-5221-7015>

Bohdan Zelenskyi, *Ph.D.*, <https://orcid.org/0000-0002-9949-3209>

Serhii Zavorodnii, <https://orcid.org/0000-0003-1928-4544>

Maksym Borysenko, <https://orcid.org/0000-0001-9772-3536>

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

THE ORETICAL ASPECTS OF CHLORIDE EFFECTS ON REINFORCED CONCRETE TRANSPORTATION STRUCTURES

Abstract

Introduction. The article considers the fundamental problem of ensuring the durability of highway bridges under aggressive chloride action. The operational reliability of transport structures is largely determined by the condition of reinforced concrete structures exposed to de-icing agents and cyclic wetting.

Problem Statement. Chloride-induced corrosion of reinforcement is one of the most dangerous degradation factors, leading to a loss of load-bearing capacity and premature failure of bridges. The existing regulatory framework of Ukraine only partially accounts for these processes, necessitating harmonization with international standards.

Objective. The objective of this work is to systematize theoretical knowledge regarding chloride mass transport mechanisms, analyze the influence of mineral admixtures and carbonation on corrosion resistance, and review modern regulatory methods for determining chloride content to improve the national bridge monitoring system.

Materials and Methods. Methods of analytical review of scientific literature and regulatory documents regarding diffusion processes, thermodynamic modeling of chloride binding, and probabilistic risk assessment methods were used.

Results. The differences between free and bound forms of chlorides are analyzed, and the effect of carbonation on the release of bound salts is examined. Regulatory methodologies for determining water- and acid-soluble chlorides, their advantages, and limitations are described in detail. The necessity of transitioning from deterministic threshold values to probabilistic models of corrosion risk assessment is substantiated.

Conclusions. The results demonstrate effective durability prediction of transport structures requires differentiated consideration of free and bound chlorides, especially for concretes with mineral admixtures and under carbonation conditions. The feasibility of implementing ASTM C876 and AASHTO T 260 methodologies into domestic bridge monitoring practice is substantiated. The proposed approach allows for the identification of corrosion processes at the initiation stage, which is a prerequisite for introducing asset management systems based on actual technical condition.

Keywords: reinforcement, reinforced concrete, corrosion, bridge, technical condition, transport structure, chlorides, diffusion, carbonation, durability prediction.

ГІДРОІЗОЛЯЦІЯ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ — ВАЖЛИВИЙ ЕЛЕМЕНТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ

Анотація

Вступ. Проектний строк служби гідроізоляції проїзної частини автодорожніх мостів за останні 20 років не змінився і найближчі роки буде становити 15 років. Тому, при проектуванні гідроізоляційного захисту необхідно використовувати матеріали, які дозволять забезпечити необхідну вимогу. Також, не менш важливим є прийняття та реалізація надійних проектних рішень стосовно гідроізоляції, які забезпечать водонепроникність конструкцій, зокрема прогонових будов. Це стосується як нового будівництва, так і ремонтів.

Проблематика. На даний час ДСТУ 8904:2019 є основним документом, який встановлює вимоги до матеріалів, проектування та улаштування гідроізоляції дорожнього одягу проїзної частини автодорожніх мостів. Наявність стандарту, де зібрано як вимоги до гідроізоляцій, так і проектні та технологічні вимоги щодо гідроізоляції тощо дуже важлива, оскільки дозволяє зацікавленим учасникам як будівництва, так і експлуатування мати в одному документі необхідну інформацію. Проте, існував період, коли ДСТУ 8904:2019 не був обов'язковим до виконання. Крім того, з 01.01.2026 відповідно до наказів ДП «УкрНДНЦ» скасовано значну кількість стандартів на методи випробувань та вимоги до матеріалів, які зазначені у ДСТУ 8904:2019, відповідно до яких мали здійснюватись перевіряння гідроізоляційних матеріалів.

Мета. Проаналізувати документи, які встановлювали вимоги до гідроізоляції проїзної частини автодорожніх мостів в попередні роки та чинні на даний час. Встановити особливості застосування гідроізоляції проїзної частини автодорожніх мостів. Розглянути питання, які виникають під час вибору гідроізоляції, проектування дорожнього одягу в частині гідроізоляції та шляхи підвищення надійності мостів через застосування якісних гідроізоляційних матеріалів та проектних рішень.

Матеріали й методи. Дослідження базуються на аналізі нормативних, технічних документів, літературних джерел з питань гідроізоляція проїзної частини автодорожніх мостів.

Результати. Проаналізовано положення ГБН В.2.3-218-003:2010 в частині конструкції дорожнього одягу із застосуванням полімерної мастикової, рулонної (типового і полегшеного типу) гідроізоляції, конструкція дорожнього одягу підсилення гідроізоляції під час ремонту. Проаналізовано положення ГБН В.2.3-218-003:2010, ДБН В.2.3-22:2009 стосовно необхідності влаштування вирівнюючого та/або захисного шару для залізобетонної або металевої плити проїзної частини. Встановлено, що під час їх чинності у проектувальника була можливість приймати рішення для залізобетонної плити застосовувати вирівнюючий, захисний шар або ні; приймати рішення для металевої плити проїзної частини застосовувати захисний шар або ні (вирівнюючий шар на металевій плиті не потрібен). Разом з тим, забезпечення вимог гідроізоляції щодо термостійкості, встановлених ГБН В.2.3-218-003:2010, не означало, що така гідроізоляція могла бути автоматично застосована без влаштування захисного шару із бетону.

Проаналізовано положення чинних на даний час ДСТУ 8904:2019, ДБН В.2.3-22:2025. Встановлено, що ДСТУ 8904:2019 містить, разом з іншими, вимоги до термостійкості гідроізоляційних матеріалів такі, відповідність яким дозволяє без влаштування захисного шару на її поверхню укладати гарячу асфальтобетонну суміш.

З урахуванням положень ДСТУ 8904:2019, ДБН В.2.3-22:2025 конструкція дорожнього одягу для залізобетонної плити не може мати вирівнюючого шару бетону завтовшки (30–50) мм.

З урахуванням наказів ДП «УкрНДНЦ» від 29.08.2025 № 171, № 234 встановлено, що атестовані лабораторії в Україні не зможуть у звичний спосіб відповідно до сфери акредитації здійснювати випробування гідроізоляції та встановлювати її відповідність-невідповідність ДСТУ 8904:2019, оскільки скасована значна кількість стандартів на методи випробувань та вимоги до матеріалів.

Висновки. На теперішній час ДСТУ 8904:2019 є основним документом, який встановлює вимоги до матеріалів, проектування та улаштування гідроізоляції дорожнього одягу проїзної частини автодорожніх мостів. Він є обов'язковим для виконання, оскільки згаданий у ДБН В.2.3-22:2025.

Конструкція дорожнього одягу із залізобетонною плитою прогонової будови не може мати вирівнюючий шар бетону завтовшки 30 – 50 мм. Влаштування захисного шару поверх гідроізоляції не передбачено. Разом з тим, окремо виписаних конструктивних рішень де б прописувалась заборона у влаштуванні захисного шару у ДСТУ 8904:2019, ДБН В.2.3-22:2025 нема, а рішення приймаються на підставі усталеної практики.

У зв'язку із скасуванням з 01.01.2026 ДП «УкрНДНЦ» значної кількості стандартів на методи випробувань та вимоги до матеріалів атестовані лабораторії в Україні не зможуть у звичний спосіб відповідно до сфери акредитації здійснювати випробування гідроізоляції та встановлювати її відповідність-невідповідність ДСТУ 8904:2019. Відтак, необхідним є якнайшвидший перегляд ДСТУ 8904:2019, під час якого потрібно напрацювати методики випробувань, придатні для перевіряння гідроізоляції та замінити нормативні документи, чинність яких припинена дати. Зокрема, потрібно врахувати напрацювання Європейського Союзу, які містять стандарти EN та інші технічні документи. Також, у ДСТУ 8904:2019 необхідно актуалізувати вимоги до матеріалів, які встановлювали скасовані стандарти.

Ключові слова: випробування, вирівнюючий шар, гідроізоляція, захисний шар, конструкція, мастикова гідроізоляція, міст, проїзна частина, рулонна гідроізоляція, температуростійкість.

Вступ

Як показує досвід, найменш витривалими елементами автодорожніх мостів є дорожнє покриття та гідроізоляція проїзної частини, які інколи вже в перші роки експлуатації перестають виконувати свої функції і значно впливають на зниження довговічності прогонової будови та надійності споруди в цілому.

Разом з тим, проектний строк служби гідроізоляції за останні 20 років не змінився [1, 2] і найближчі роки буде становити 15 років [3]. Це положення встановлено у вищезгаданому нормативному документі, мінімальний розрахунковий строк експлуатації гідроізоляції згідно з яким повинен становити не менше 15 років. Тому, при проектуванні гідроізоляційного захисту необхідно використовувати матеріали, які дозволять забезпечити необхідну вимогу. Також, не менш важливим є прийняття та реалізація надійних проектних рішень стосовно гідроізоляції, які забезпечать водонепроникність конструкцій, зокрема прогонових будов. Це стосується як нового будівництва, так і ремонтів, оскільки протягом експлуатування прогонової будови як визначального елемента моста, проектний строк експлуатування якої 80-100 років згідно з чинними нормами, періодичність заміни гідроізоляції не має бути меншим ніж 15 років.

Питанню гідроізоляції проїзної частини автодорожніх мостів приділяли увагу, зокрема, у Державному підприємстві «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ») (попередня назва Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут ім. М. П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»)) [4-7].

Аналіз ГБН В.2.3-218-003:2010 [8]

На основі численних досліджень характеристик гідроізоляційних матеріалів було розроблено ДП «ДерждорНДІ», зокрема, ГБН В.2.3-218-003:2010. ГБН В.2.3-218-003:2010 встановлював вимоги до технології виконання робіт при улаштуванні та ремонті гідроізоляції дорожнього одягу проїзної частини автодорожніх мостів, які будували і експлуатували на автомобільних дорогах

загального користування із застосуванням полімерних матеріалів та водонепроникного бетону; вимоги до матеріалів для улаштування гідроізоляції мостів.

Стосовно вимог до матеріалів, то ГБН В.2.3-218-003:2010 встановлював вимоги до трьох груп матеріалів:

- полімерних мастичних;
- із щільного водонепроникного бетону;
- рулонних.

Стосовно кожної з груп, були мінімальні вимоги щодо фізико-механічних характеристик (міцність, водонепроникність тощо); технологічності (час висихання тощо); характеристик, які характеризують довговічність (морозостійкість, атмосферостійкість тощо), перевищення яких не допускалось.

Вимоги до полімерних мастикових матеріалів склались з вимог, безпосередньо встановлених у ГБН В.2.3-218-003:2010 та з вимог, встановлених у нормативних документах, посилання на які були з у ГБН В.2.3-218-003:2010. Такий самий підхід застосовано і щодо гідроізоляції із щільного водонепроникного бетону, рулонної гідроізоляції.

Конструкція дорожнього одягу із застосуванням полімерної мастикової гідроізоляції

На той час в Україні не було мастикових полімерних гідроізоляційних матеріалів, які б були термостійкими до безпосереднього впливу високих температур від асфальтобетону покриття. Тому, типовою була така конструкція дорожнього одягу із застосуванням полімерної мастикової гідроізоляції:

- залізобетонний вирівнюючий шар завтовшки від 30 мм до 60 мм (його влаштовували на поверхні плити проїзної частини прогонової будови);
- один чи два шари мастикової гідроізоляції із полімерних матеріалів;
- захисний шару з залізобетону, армованого сталеву сіткою або захисного шару із дрібнозернистого асфальтобетону;
- асфальтобетонний покриття мінімальною товщиною 70 мм.

Для мостів і шляхопроводів з великою інтенсивністю руху автотранспорту на дорогах I та II категорій було рекомендовано застосовувати типову конструкцію проїзної частини з гідроізоляційним шаром з полімерних матеріалів з бетонним захисним покриттям.

Залізобетонний вирівнюючий шар мав бути із щільного бетону класу не нижче В25 з маркою по водонепроникності, морозостійкості згідно з ДБН В. 2.3-14:2006.

Залізобетонний вирівнюючий шар мали армувати металевою сіткою згідно з ГОСТ 23279-85 [9] з розміром вічка 100 мм на 100 мм з арматурної сталі класу А300С згідно з ДСТУ 3760:2006 [10] діаметром 6 мм з дотриманням товщини захисного шару бетону. У нерозрізних системах у надпорних зонах армування вирівнюючого залізобетонного шару, який працює сумісно з несними конструкціями, мало визначатися розрахунком.

Під час виконання ремонтних робіт з підсилення гідроізоляційного захисту на мостах, які експлуатували з типовою конструкцією проїзної частини, після зняття асфальтобетонного покриття нові шари полімерної гідроізоляції послідовно мали наносити на поверхню існуючого бетонного захисного шару з подальшим улаштуванням нового асфальтобетонного покриття.

Під час улаштування гідроізоляційного захисту на нерозрізних і температурно-нерозрізних прогонових будовах, у надпорних зонах в яких діють розтягуючі напруги, було рекомендовано армування рулонними полімерними матеріалами у вигляді сіток або суцільного полотна мінімальною товщиною 0,7 мм з температурою розм'якшення не менше ніж 200 °С.

Щоб запобігти пошкодженню гідроізоляції від дії температури, механічних пошкоджень при проїзді технологічного автотранспорту та при укладанні асфальтобетонної суміші, передбачалося виконання підґрунтовки бітумним ґрунтом (норми витрати 200 г/м² – 400 г/м²), після чого укладається геосинтетичний матеріал (вага 150 г/м² – 200 г/м²).

Конструкція дорожнього одягу із застосуванням рулонної гідроізоляції

На той час в Україні не було багато рулонних гідроізоляційних матеріалів, які б були термостійкими до безпосереднього впливу високих температур від асфальтобетону покриття. Тому, типовою була така конструкція дорожнього одягу із застосуванням рулонної гідроізоляції:

- залізобетонний вирівнюючий шар завтовшки від 30 мм до 60 мм (його влаштовували на поверхні плити проїзної частини прогонової будови);
- шар рулонної гідроізоляції;
- захисний шар із залізобетону, армованого сталеву сіткою або захисного шару із дрібнозернистого асфальтобетону;
- асфальтобетонний покриття товщиною 70 мм.

Арматурна сітка захисного шару повинна була бути зварною із сталі класу Вр діаметром 5 мм з розміром вічка 100 мм на 100 мм згідно з ГОСТ 23279-85. Бетон вирівнюючого та захисного шару мав бути із щільного бетону з характеристиками згідно з ДБН В. 2.3-14:2006.

Конструкція дорожнього одягу полегшеного типу із застосування рулонної гідроізоляції

Для мостів можна було застосовувати конструкцію дорожнього одягу полегшеного типу із застосування рулонної гідроізоляції. У цьому випадку конструкція складалась із таких елементів:

- залізобетонний вирівнюючий шар завтовшки 30 мм із щільного бетону класу не нижче В25 з маркою по водонепроникності, морозостійкості згідно з ДБН В. 2.3-14:2006 (його влаштовували на поверхні плити проїзної частини прогонової будови);
- шар рулонної гідроізоляції;
- асфальтобетонний покриття із гарячої щільної асфальтобетонної суміші марки І, ІІ тип Б або В на модифікованих бітумах з добавками поверхнево-активних речовин.

Функції захисного шару тут виконує асфальтобетонний покриття, який мав бути улаштований безпосередньо по гідроізоляції. Температура асфальтобетонної суміші мала бути від 140 °С до 150 °С і цим забезпечити щільне з'єднання шару гідроізоляції з асфальтобетоном.

Конструкція дорожнього одягу підсилення гідроізоляції під час ремонту

Під час виконання ремонтних робіт могло бути виконане підсилення гідроізоляційного захисту проїзної частини за типовою багатошаровою конструкцією проїзної частини: після зняття асфальтобетонного покриття новий шар рулонної гідроізоляції улаштовують на поверхні існуючого бетонного захисного шару з подальшим укладанням нового асфальтобетонного покриття. Якщо існуючий вирівнюючий шар частково зруйнований і не відповідає вимогам до поверхонь під гідроізоляцію – необхідно улаштовувати новий додатковий вирівнюючий шар з дрібнозернистого асфальтобетону. У результаті типова конструкція дорожнього одягу після підсилення гідроізоляції під час ремонту мала бути така:

- вирівнюючий шар бетону;
- існуюча гідроізоляція;
- існуючий частково зруйнований захисний шар бетону;
- шар ґрунтування;
- вирівнюючий шар із дрібнозернистого асфальтобетону 20 – 30 мм;
- шар нової рулонної гідроізоляції;
- шар із гарячої щільної асфальтобетонної суміші марки І тип В.

Конструкція дорожнього одягу із щільного водонепроникного бетону

Конструкцію дорожнього одягу із щільного водонепроникного бетону не будемо розглядати, оскільки таке рішення практично не застосовувалось.

Аналіз ДБН В.2.3-22:2009

Вимоги до гідроізоляції були встановлені, хоч не так детально як у ГБН В.2.3-218-003:2010, у ДБН В.2.3-22:2009 (ГБН В.2.3-218-003:2010 розширював положення ДБН В.2.3-22:2009).

Стосовно необхідності влаштування вирівнюючого та захисного шару для залізобетонної плити проїзної частини, то у 7.2.4 ДБН В.2.3-22:2009 було зазначено таке: застосовувати вирівнюючий шар бетону завтовшки 3 – 5 см для монолітної залізобетонної плити не рекомендується; допускається застосування вирівнюючого шару на монолітній плиті при

проведеннях ремонтних робіт; улаштування збірної залізобетонної плити з вирівнюючим шаром бетону завтовшки 3–5 см для постійних мостів не допускається (у довідковому додатку Е зазначено, що бетон вирівнюючого шару має бути класу В30 за міцністю, W8 за водонепроникністю, F300 за морозостійкістю (з випробуванням у соляному середовищі)).

Стосовно необхідності влаштування вирівнюючого та захисного шару для металевої плити проїзної частини, то у 7.2.5 ДБН В.2.3-22:2009 було зазначено таке: конструкція гідроізоляції плити пов'язана з конструкцією покриття проїзду і має прийматись за окремими рекомендаціями; проектний строк служби гідроізоляції має бути не меншим ніж прийнятий проектний строк служби покриття. Інших положень ДБН В.2.3-22:2009 щодо влаштування гідроізоляції на металевій плиті проїзної частини нема, а це фактично означає що у разі необхідності проєктувальник міг, зокрема, прийняти рішення про застосування не термостійкої гідроізоляції і захисного шару, що не є раціональним рішенням.

Підсумовуючи вимоги норм до конструктивних рішень щодо влаштування гідроізоляції бачимо, що у проєктувальника була можливість приймати рішення для залізобетонної плити застосувати вирівнюючий, захисний шар або ні; приймати рішення для металевої плити проїзної частини застосовувати захисний шар або ні (вирівнюючий шар на металевій плиті не потрібен). Разом з тим, забезпечення вимог гідроізоляції щодо термостійкості, встановлених ГБН В.2.3-218-003:2010, не означало, що така гідроізоляція могла бути автоматично застосована без влаштування захисного шару із бетону. На практиці, після лабораторних випробувань, проведених у атестованих лабораторіях, отримувались результати температуростійкості і за їх даними приймалось рішення про застосування-незастосування гідроізоляції та проєктування дорожнього одягу з урахуванням технології влаштування.

Щодо вимог до гідроізоляційних матеріалів, то для кожного контрольованого параметра, вимоги до якого було встановлено ГБН В.2.3-218-003:2010, було наведено стандартизований метод випробувань із необхідними кількісними показниками, які б задовольняли вимоги для гідроізоляції. Для визначення температуростійкості передбачалось застосування методики МВВ-218-03450778-230 [11]. Відповідно, за необхідності можна було перевірити характеристики гідроізоляції та встановити відповідність-невідповідність вимогам.

Поява в Україні нових гідроізоляційних матеріалів, аналіз отриманих результатів їх лабораторних досліджень та аналіз результатів іноземних досліджень і нормативних документів призвів до розуміння необхідності відмови від влаштування захисного шару гідроізоляції (оскільки така конструкція збільшує баластове навантаження на прогонову будову, чим зменшує її несну здатність), розширення переліку можливих видів гідроізоляцій тощо. Результатом цього стало розроблення ДСТУ 8904:2019 «Настанова з улаштування гідроізоляції проїзної частини автодорожніх мостів» [12], який набув чинності з 01.10.2020. У подальшому, відбувся перегляд ДБН В.2.3-22:2009, зі скасуванням якого набув чинності з 01.01.2026 ДБН В.2.3-22:2025.

Мета й завдання роботи

Проаналізувати документи, які встановлювали вимоги до гідроізоляції проїзної частини автодорожніх мостів у попередні роки та чинні на теперішній час. Встановити особливості застосування гідроізоляції проїзної частини автодорожніх мостів. Розглянути питання, які виникають під час вибору гідроізоляції, проєктування дорожнього одягу в частині гідроізоляції та шляхи підвищення надійності мостів через застосування якісних гідроізоляційних матеріалів та проєктних рішень.

Основні матеріали дослідження і отриманих результатів

Аналіз ДСТУ 8904:2019

На теперішній час ДСТУ 8904:2019 є основним документом (розроблений ДП «НІРІ»), який встановлює вимоги до матеріалів, проєктування та улаштування гідроізоляції дорожнього одягу проїзної частини автодорожніх мостів. Дотримання вимог ДСТУ 8904:2019 забезпечує застосування гідроізоляційних матеріалів з необхідними характеристиками; встановлені вимоги, яких потрібно

дотримуватись під час проектування та улаштування, забезпечують прийняття оптимальних рішень, які мають забезпечити простий строк експлуатування та підвищити надійність прогонової будови. Наявність стандарту, де зібрано як вимоги до гідроізоляцій, так і проєкні та технологічні вимоги щодо гідроізоляції тощо дуже важливе, оскільки дозволяє зацікавленим учасникам як будівництва, так і експлуатування мати в одному документі необхідну інформацію. У ДСТУ 8904:2019 встановлено такі вимоги до гідроізоляції, забезпечення яких дозволяє її застосування без захисного шару. Так, у порівнянні з ГБН В.2.3-218-003:2010, підвищено вимоги до параметра рулонної гідроізоляції «теплостійкість в електрошафі під час нагрівання впродовж 2 год» та встановлено, що втрата маси гідроізоляції має не перевищувати 1,6 %. Контрольована температура становить не менше ніж +140 °C (у ГБН В.2.3-218-003:2010 вона була не менше ніж +80 °C). Як результат, якщо рулонна гідроізоляція забезпечує цей показник, так само як і всі інші встановлені у ДСТУ 8904:2019 показники, то вона може застосовуватись без влаштування захисного шару і на її поверхню можна укладати гарячу асфальтобетонну суміш.

Те ж стосується і мастикових гідроізоляційних матеріалів. Для перевіряння температуростійкості мастикових гідроізоляційних матеріалів використано параметр «технологічна температуростійкість», величина якої має бути не менша ніж +160,0 °C. Також, цей параметр контролюють і для рулонних гідроізоляцій. Як результат, якщо мастиковий гідроізоляційний матеріал забезпечує цей показник, так само як і всі інші встановлені у ДСТУ 8904:2019 показники, то він може застосовуватись без влаштування захисного шару.

Таким чином, застосовуючи гідроізоляцію, яка відповідає вимогам ДСТУ 8904:2019, можна не влаштовувати захисного шар з бетону поверх гідроізоляції. Разом з тим, окремо виписаних конструктивних рішень де б прописувалась заборона у влаштуванні захисного шару у ДСТУ 8904:2019 нема.

Аналіз ДБН В.2.3-22:2025

Стосовно необхідності влаштування вирівнюючого та захисного шару для залізобетонної плити проїзної частини, то у 8.2.14 ДБН В.2.3-22:2025 зазначено таке: застосовувати вирівнюючий шар бетону завтовшки 30 – 50 мм для залізобетонної плити не можна. Стосовно захисного шару інформація у ДБН В.2.3-22:2025 відсутня.

Проєктні рішення, які застосовувались на практиці в період 01.11.2010 – 01.01.2026

Під час проектування нових мостів чи ремонтів або реконструкції існуючих проєктанти у період 2018 – початок 2022 років, переважно, застосовували рішення без влаштування захисного шару, оскільки розуміли, що таке рішення є оптимальним з точки зору зменшення навантаження від власної ваги. Проєктні рішення, застосовані в період 01.11.2010 – 2017 потрібно ще дослідити. Щодо вирівнюючого шару, то часто під час ремонту або реконструкції вирівнюючий шар застосовували. Причин декілька і основні такі:

1. Необхідність забезпечити під час ремонту поперечний похил відповідно до чинних норм, коли несні елементи прогонової будови залишають в проєктному положенні і поперечний похил дорожнього одягу під час будівництва був влаштований завдяки змінній товщині вирівнюючого шару (25 % на прямолінійних ділянках, а також ухил від тротуару в бік осі водозбору слід приймати не менше ніж 30 % (згідно з 7.4.1 ДБН В.2.3-22:2009). У ДБН В.2.3-22:2025 величина поперечного похилу залишилась без змін і становить 25 % та відсутня вимога щодо похилу від тротуару в бік осі водозбору (у 8.4.1 ДБН В.2.3-22:2025 з посиланням на ДБН В.2.3-4:2019 та зміну № 2)). У такому разі потрібний поперечний похил у проєкті ремонту проєктували, зокрема, шляхом змінної товщини вирівнюючого шару.

2. Ремонтні роботи передбачають повну заміну дорожнього одягу із збереженням тротуарів або службових проходів. У такому разі крім забезпечення проєктного похилу є обмеження по висотних відмітках біля тротуару, що вирішувалось завдяки змінній товщині вирівнюючого шару.

Стосовно гідроізоляційних матеріалів, то під час чинності ГБН В.2.3-218-003:2010 (01.11.2010 – 30.09.2020) учасники будівництва розуміли, що вимоги до гідроізоляції є обов'язкові до виконання, оскільки встановлені у нормах. Разом з тим, ці вимоги були не достатні для

забезпечення температуростійкості без влаштування захисного шару із бетону, зокрема для рулонних гідроізоляцій, і рішення про застосування гідроізоляції приймалися після отримання лабораторних досліджень, які підтверджували достатню температуростійкість. Цю ситуацію було виправлено із набуттям чинності ДСТУ 8904:2019; коли гідроізоляція відповідає його вимогам – вона володіє достатньою температуростійкістю для застосування без захисного шару.

Після скасування з 01.10.2020 ГБН В.2.3-218-003:2010 відбулась ситуація, коли набув чинності з 01.10.2020 ДСТУ 8904:2019. Проте, згідно із законодавством України нормативні документи не є обов'язковими окрім випадків, коли вони згадані у нормах, договорі (контракті) на виконання робіт, проєктній документації. На той час у нормах ДСТУ 8904:2019 не було. Відповідно, могли траплятись випадки, коли учасники будівництва з різних причин могли не застосовувати ДСТУ 8904:2019 та не дотримуватись вимог щодо гідроізоляції. Можливі негативні наслідки цієї ситуації, імовірно, буде ще виявлено під час подальшого експлуатування мостів, оскільки є висока ймовірність застосування гідроізоляцій, які на відповідають ДСТУ 8904:2019. Разом з тим, з 01.01.2026 набув чинності ДБН В.2.3-22:2025, у якому зазначено ДСТУ 8904:2019 і з того часу він є обов'язковим для виконання під час улаштування гідроізоляції проїзної частини автодорожніх мостів.

Проектні рішення щодо гідроізоляції відповідно до чинних норм станом на 01.01.2026

На теперішній час обов'язкові вимоги до гідроізоляції встановлено ДБН В.2.3-22:2025 та ДСТУ 8904:2019.

Якщо гідроізоляція відповідає вимогам, встановленим у ДСТУ 8904:2019, то вона може застосовуватись без влаштування захисного шару і на її поверхню можна укласти гарячу асфальтобетонну суміш. З іншого боку у 8.2.14 ДБН В.2.3-22:2025 заборонено застосовувати вирівнюючий шар бетону завтовшки 30 – 50 мм для залізобетонної плити проїзної частини. Разом з тим, у разі застосування збірних балок з полицею шар монолітного залізобетону на полицях має бути завтовшки не менше ніж 140 мм, щоб сумарна товщина конструкції була не менше ніж 200 мм (це положення, фактично збережено порівняно із ДБН В.2.3-22:2009). Як результат, конструкція із залізобетонною плитою буде мати такий вигляд:

- монолітна залізобетонна плита товщиною не менше ніж 140 мм;
- гідроізоляція;
- шари асфальтобетонного покриття.

Мости із конструкціями дорожнього одягу із вирівнюючим та/або захисним шаром досі продовжують експлуатувати. Станом на 2024 – 2025 роки, капітальні ремонти таких мостів здійснюють в незадовільно малих обсягах через відсутність фінансування. У 2024 – 2025, а також у попередні 2020-ті роки, переважну більшість ремонтів дорожнього одягу проїзної частини виконали не як потрібно шляхом капітального ремонту із влаштуванням нової гідроізоляції, а вирівнюванням верхнього шару покриття (у кращому випадку, фрезеруванням та влаштуванням нового верхнього шару покриття) під час експлуатаційного утримання, що призводить до збільшення власної ваги прогонової будови та зменшення вантажопідйомності, не забезпечення водонепроникності. Надалі, дорожній одяг таких мостів потрібно капітально ремонтувати із влаштуванням нової термостійкої гідроізоляції без влаштування вирівнюючого та/або захисного шару із бетону із дотриманням вимог ДСТУ 8904:2019. Разом з тим, виникла ситуація, коли забезпечити вимоги випробувань характеристик гідроізоляції, у тому числі зі щільного водонепроникного бетону надзвичайно складно. Причиною стало скасування з 01.01.2026 ДП «УкрНДНЦ» значної кількості стандартів на методи випробувань та вимоги до матеріалів, яке ДП «УкрНДНЦ» здійснило (як зазначено в наказах ДП «УкрНДНЦ» від 29.08.2025 № 171 [13], № 234 [14]). Відтак, без скасованих стандартів на випробування [15 – 22] атестовані лабораторії в Україні не зможуть у звичний спосіб відповідно до сфери акредитації здійснювати випробування гідроізоляції та встановлювати її відповідність-невідповідність ДСТУ 8904:2019. Відтак, необхідним є якнайшвидший перегляд ДСТУ 8904:2019, під час якого потрібно напрацювати методики випробувань, придатні для перевіряння гідроізоляції та замінити нормативні документи, чинність яких припинена на інші методики випробувань або

стандарти. Зокрема, потрібно врахувати напрацювання Європейського Союзу, які містять стандарти EN та інші технічні документи. Також, у ДСТУ 8904:2019 необхідно актуалізувати вимоги до матеріалів, які встановлювали скасовані стандарти.

Висновки

1. ГБН В.2.3-218-003:2010 і ДБН В.2.3-22:2009 передбачали проєктні рішення гідроізоляції проїзної частини автодорожніх мостів з вирівнюючим шаром, захисним шаром або без них у різних варіантах. Чинні ДБН В.2.3-22:2025 забороняють застосовувати вирівнюючий шар бетону завтовшки 30 – 50 мм для залізобетонної плити. Разом з тим, окремо виписаних конструктивних рішень, де б прописувалась заборона у влаштуванні захисного шару, у ДБН В.2.3-22:2025, ДСТУ 8904:2019 нема, а рішення приймаються на підставі усталеної практики.

2. На даний час ДСТУ 8904:2019 є основним документом, який встановлює вимоги до матеріалів, проєктування та улаштування гідроізоляції дорожнього одягу проїзної частини автодорожніх мостів. Він є обов'язковим для виконання, оскільки згаданий у ДБН В.2.3-22:2025. Також, окремі вимоги містять ДБН В.2.3-22:2025.

3. У зв'язку із скасуванням з 01.01.2026 ДП «УкрНДНЦ» значної кількості стандартів на методи випробувань та вимоги до матеріалів атестовані лабораторії в Україні не можуть з 01.01.2026 у звичний спосіб відповідно до сфери акредитації здійснювати випробування гідроізоляції та встановлювати її відповідність-невідповідність ДСТУ 8904:2019. Відтак, необхідним є якнайшвидший перегляд ДСТУ 8904:2019, під час якого потрібно напрацювати методики випробувань, придатні для перевіряння гідроізоляції та замінити нормативні документи, чинність яких припинена.

Список літератури

1. ДБН В.2.3-14:2006 Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проєктування. Київ, 2006. 359 с. (Інформація та документація).
2. ДБН В.2.3-22:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проєктування. Київ, 2009. 42 с. (Інформація та документація).
3. ДБН В.2.3-22:2025 Мости та труби. Основні вимоги проєктування. Київ, 2025. 44 с. (Інформація та документація).
4. Коваль П. М., Фаль А. Є., Бабяк І. П. Сучасні проблеми гідроізоляції автодорожніх мостів. Наукові праці семінару «Сучасні проблеми проєктування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення». Вип. 73. С. 167–171.
5. Коваль П. М., Бабяк І. П., Харченко С. З., Брін Д. М. Перспективи матеріалу мембранного типу, нанесеного розпилюванням, для влаштування гідроізоляції на автодорожніх мостах. *Дороги і мости*. 2007. Вип. 7 в 2-х томах. Т. 1. С. 252–260.
6. Коваль П. М., Бабяк І. П., Мозговий В. В., Онищенко А. М. Дослідження властивостей гідроізоляційних матеріалів для плит мостів на експериментальному об'єкті. *Дороги і мости*. 2009. Вип. 11. С. 146–156. URL: <http://dorogimosti.org.ua/ua/doslidzhennya-vlastivostey-gidroizolyaciynih-materialiv-dlya-plit-mostiv-na-eksperimentalnomu-obkti>.
7. Бабяк І.П. Ефективна гідроізоляція для транспортних споруд, яку наносять методом розпилювання над поверхнею, яку ізолюють. *Будівельні матеріали, виробництва та санітарна техніка*. 2013. Вип. 50. С. 57–64.
8. ГБН В.2.3-218-003:2010 Споруди транспорту. Технологія улаштування гідроізоляції проїзної частини автодорожніх мостів і шляхопроводів із застосуванням полімерних матеріалів та водонепроникного бетону. Київ. 2010. 45 с. (Інформація та документація).
9. ГОСТ 23279-85 Сетки арматурные сварные для железобетонных конструкций и изделий (Сітки арматурні зварені для залізобетонних конструкцій і виробів). 1985. 9 с. (Інформація та документація).

10. ДСТУ 3760:2006 Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. Київ. 2007. 28 с. (Інформація та документація).
11. МВВ-218-03450778-230-2002 Методика виконання вимірювань властивостей (термостійкості) гідроізоляційних матеріалів для штучних споруд на автомобільних дорогах. Київ. 2002. 7 с. (Інформація та документація).
12. ДСТУ 8904:2019 Настанова з улаштування гідроізоляції проїзної частини автодорожніх мостів. Київ, 2021. 23 с. (Інформація та документація)
13. Наказ ДП «УкрНДНЦ» від 29.08.2025 № 171. Київ, 2025. 2 с. (Інформація та документація).
14. Наказ ДП «УкрНДНЦ» від 29.08.2025 № 234. Київ, 2002. 6 с. (Інформація та документація).
15. ДСТУ Б В.2.7-84-99 Будівельні матеріали. Мастики покрівельні та гідроізоляційні. Методи випробувань (ГОСТ 26589-94). Київ. 1999. 33 с. (Інформація та документація).
16. ДСТУ Б В.2.7-47-96 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення морозостійкості. Загальні вимоги (ГОСТ 10060.0-95). Київ. 1996. 16 с. (Інформація та документація).
17. ДСТУ Б В.2.7-49-96 Будівельні матеріали. Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні (ГОСТ 10060.2-95). Київ. 1996. 12 с. (Інформація та документація).
18. ДСТУ Б ГОСТ 28574:2011 Захист від корозії в будівництві. Конструкції бетонні і залізобетонні. Методи випробувань адгезії захисних покриттів (ГОСТ 28574-90, IDT). Київ. 2011. 8 с. (Інформація та документація).
19. ДСТУ Б В.2.7-250:2011 Матеріали будівельні. Дієлькометричний метод вимірювання вологості (ГОСТ 21718-84, MOD). Київ. 2011. 7 с. (Інформація та документація).
20. ДСТУ Б В.2.7-291:2011 Будівельні матеріали. Нейтронний метод вимірювання вологості (ГОСТ 23422-87, MOD). Київ. 2011. 9 с. (Інформація та документація).
21. ДСТУ Б В.2.7-71-98 Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань (ГОСТ 8269.0-97). 1997. 47 с. (Інформація та документація).
22. ДСТУ Б В.2.7-114-2002 Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань (ГОСТ 10181-2000). Київ, 2002. 32 с. (Інформація та документація).

References

1. DBN V.2.3-14:2006 Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proiektuvannia (DBN V.2.3-14:2006 Transport structures. Bridges and pipes. Design rules). (Informatsiia ta dokumentatsiia). Kyiv. 2006. 359 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
2. DBN V.2.3-22:2009 Sporudy transportu. Mosty ta truby. Osnovni vymohy proiektuvannia (DBN V.2.3-22:2009 Transport structures. Bridges and pipes. Basic design requirements). Kyiv. 2009. 42 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
3. DBN V.2.3-22:2025 Mosty ta truby. Osnovni vymohy proiektuvannia (DBN V.2.3-22:2025 Bridges and pipes. Basic design requirements). Kyiv. 2025. 44 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
4. Koval P. M., Fal A. Ie., Babiak I. P. Suchasni problemy hidroizoliatsii avtodorozhnikh mostiv. Naukovi pratsi seminaru «Suchasni problemy proiektuvannia, budivnytstva ta ekspluatatsii sporud na shliakhakh spoluchennia» (Current problems of waterproofing road bridges. Scientific works of the seminar “Current problems of design, construction, and operation of structures on transport routes). 2006. Vyp. 73. P. 167–171 [in Ukrainian].
5. Koval P. M., Babiak I. P., Kharchenko S. Z., Brin D. M. Perspektyvy materialu membrannoho typu, nanesenoho rozpyliuvanniam, dlia vlashtuvannia hidroizoliatsii na avtodorozhnikh mostakh (Prospects for spray-applied membrane-type material for waterproofing road bridges). *Dorohy i mosty*. 2007, Vyp. 7 v 2-kh tomakh. T. 1. P. 252–260 [in Ukrainian].

6. Koval P. M., Babiak I. P., Mozghovyi V. V., Onyshchenko A. M. Doslidzhennia vlastyvostei hidroizoliatsiinykh materialiv dlia plyt mostiv na eksperymentalnomu obiekty (Research on the properties of waterproofing materials for bridge slabs at an experimental facility). *Dorohy i mosty*. 2009. Vyp. 11. P. 146–156. URL: <http://dorogimosti.org.ua/ua/doslidzhennya-vlastyvostey-gidroizolyaciynih-materialiv-dlya-plit-mostiv-na-eksperymentalnomu-obkti> [in Ukrainian].
7. Babiak I.P. Efektyvna hidroizoliatsiia dlia transportnykh sporud, yaku nanosiat metodom rozpyliuvannia nad poverkhneu, yaku izoliuiut. Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika (Effective waterproofing for transport structures, applied by spraying over the surface to be insulated. *Building materials, products, and sanitary engineering*). 2013. Vyp. 50. P. 57–64 [in Ukrainian].
8. HBN V.2.3-218-003:2010 Sporudy transportu. Tekhnolohiia ulashtuvannia hidroizoliatsii proiznoi chastyny avtodorozhnykh mostiv i shliakhoprovodiv iz zastosuvanniam polimernykh materialiv ta vodonepronyknoho betonu (Transport structures. Technology for waterproofing the carriageway of road bridges and overpasses using polymer materials and waterproof concrete). Kyiv. 2010. 45 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
9. HOST 23279-85 Setky armaturnye svarnye dlia zhelezobetonnykh konstruktsyi y yzdelyi (Sitky armaturni zvareni dlia zalizobetonnykh konstruktsii i vyrobiv). 1985. 9 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
10. DSTU 3760:2006 Prokat armaturnyi dlia zalizobetonnykh konstruktsii. Zahalni tekhnichni umovy (DSTU 3760:2006 Reinforcing bars for reinforced concrete structures. General technical conditions). Kyiv. 2007. 28 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
11. MVV-218-03450778-230-2002 Metodyka vykonannia vymiriuvan vlastyvostei (termostiikosti) hidroizoliatsiinykh materialiv dlia shtuchnykh sporud na avtomobilnykh dorohakh (Methodology for measuring the properties (thermal stability) of waterproofing materials for artificial structures on motorways). Kyiv. 2002. 7 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
12. DSTU 8904:2019 Nastanova z ulashtuvannia hidroizoliatsii proiznoi chastyny avtodorozhnykh mostiv (DSTU 8904:2019 Guidelines for the installation of waterproofing on the carriageway of road bridges). Kyiv. 2021. 23 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
13. Nakaz DP «UkrNDNTs» vid 29.08.2025 No. 171. Kyiv. 2025. 2 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
14. Nakaz DP «UkrNDNTs» vid 29.08.2025 No. 234. Kyiv. 2002. 6 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
15. DSTU B V.2.7-84-99 Budivelni materialy. Mastyky pokryvelni ta hidroizoliatsiini. Metody vyprobuvan (DSTU B V.2.7-84-99 Building materials. Roofing and waterproofing mastics. Test methods) (HOST 26589-94). Kyiv. 1999. 33 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
16. DSTU B V.2.7-47-96 Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia morozostiikosti. Zahalni vymohy (DSTU B V.2.7-47-96 Building materials. Concrete. Methods for determining frost resistance. General requirements) (HOST 10060.0-95). Kyiv. 1996. 16 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
17. DSTU B V.2.7-49-96 Budivelni materialy. Betony. Pryskoreni metody vyznachennia morozostiikosti pry bahatorazovomu zamorozhuvanni ta vidtavanni (DSTU B V.2.7-49-96 Building materials. Concrete. Accelerated methods for determining frost resistance during repeated freezing and thawing) (HOST 10060.2-95). Kyiv. 1996. 12 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
18. DSTU B HOST 28574:2011 Zakhyst vid korozii v budivnytstvi. Konstruktsii betonni i zalizobetonni. Metody vyprobuvan adhezii zakhysnykh pokryttiv (DSTU B GOST 28574:2011 Corrosion protection in construction. Concrete and reinforced concrete structures. Methods for testing the adhesion of protective coatings) (HOST 28574-90, IDT). Kyiv. 2011. 8 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
19. DSTU B V.2.7-250:2011 Materialy budivelni. Dielkometrychnyi metod vymiriuvannia volohosti (DSTU B V.2.7-250:2011 Building materials. Delectometric method for measuring moisture content) (HOST 21718-84, MOD). Kyiv. 2011. 7 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

20. DSTU B V.2.7-291:2011 Budivelni materialy. Neitronnyi metod vymiriuvannia volohosti (DSTU B V.2.7-291:2011 Building materials. Neutron method for measuring moisture content) (HOST 23422-87, MOD). Kyiv. 2011. 9 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

21. DSTU B V.2.7-71-98 Shchebin i hravii iz shchilnykh hirsykh porid i vidkhodiv promyslovoho vyrobnytstva dlia budivelnnykh robit. Metody fizyko-mekhanichnykh vyprobuvan (DSTU B V.2.7-71-98 Crushed stone and gravel from dense rock and industrial waste for construction works. Methods of physical and mechanical testing) (HOST 8269.0-97). 1997. 47 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

22. DSTU B V.2.7-114-2002 Budivelni materialy. Sumishi betonni. Metody vyprobuvan (DSTU B V.2.7-114-2002 Building materials. Concrete mixtures. Test methods) (HOST 10181-2000). Kyiv. 2002. 32 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

Ihor Babyak, Ph.D., Sen. Research, <https://orcid.org/0000-0002-3732-2439>

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

WATERPROOFING OF THE ROADWAY PART OF ROAD BRIDGES IS AN IMPORTANT ELEMENT IN ENSURING RELIABILITY

Abstract

Introduction. The design service life of the waterproofing of the roadway of highway bridges has not changed over the past 20 years and will be 15 years in the coming years. Therefore, when designing waterproofing protection, it is necessary to use materials that will ensure the necessary requirement. Also, it is no less important to adopt and realise reliable design solutions for waterproofing, which will ensure the watertightness of structures, in particular span structures. This applies to both new construction and repairs.

Problem Statement. Currently, DSTU 8904:2019 is the main document that establishes requirements for materials, design and installation of waterproofing of the roadway of highway bridges. The presence of a standard that contains both requirements for waterproofing, and design and technological requirements for waterproofing, etc. is very important, since it allows interested participants in both construction and operation to have the necessary information in one document. However, there was a period when DSTU 8904:2019 was not mandatory for use. In addition, from 01.01.2026, in accordance with the orders of the State Enterprise «UkrNDNC», a significant number of standards for test methods and requirements for materials specified in DSTU 8904:2019, according to which waterproofing materials were to be tested, were canceled.

Purpose. To analyze the documents that established the requirements for waterproofing the roadway of road bridges in previous years and are currently in force. To establish the features of the application of waterproofing the roadway of road bridges. To consider the issues that arise when choosing waterproofing, designing road surfaces in terms of waterproofing, and ways to increase the reliability of bridges through the use of high-quality waterproofing materials and design solutions.

Materials and methods. The research is based on the analysis of regulatory, technical documents, and literary sources on the issues of waterproofing the roadway of highway bridges.

Results. The provisions of GBN V.2.3-218-003:2010 were analyzed in terms of roadway design using polymer mastic waterproofing, roll (typical and lightweight) waterproofing, structure of strengthening of waterproofing during repairs. The provisions of GBN V.2.3-218-003:2010, DBN V.2.3-22:2009 were analyzed regarding the need to install a leveling and/or protective layer for a reinforced concrete or metal slab of the roadway. It was established that during their validity, the designer had the opportunity to decide whether to apply a leveling or protective layer to a reinforced concrete slab or not; to decide whether to apply a protective layer for the metal slab of the carriageway or not (a leveling

layer on the metal slab is not required). However, ensuring the requirements for waterproofing in terms of thermal resistance established by GBN V.2.3-218-003:2010 did not mean that such waterproofing could be automatically applied without installing a protective layer of concrete.

The provisions of the currently valid DSTU 8904:2019, DBN V.2.3-22:2025 were analyzed. It was established that DSTU 8904:2019 contains, along with others, requirements for thermal resistance of waterproofing materials such that compliance with them allows laying hot asphalt concrete mixture without installing a protective layer on its surface.

Taking into account the provisions of DSTU 8904:2019, DBN V.2.3-22:2025, the road surface design for a reinforced concrete slab cannot have a leveling layer of concrete with a thickness of (30–50) mm.

Taking into account the orders of the State Enterprise «UkrNDNC» dated 29.08.2025 No. 171, No. 234, it has been established that certified laboratories in Ukraine will not be able to carry out waterproofing tests in the usual way in accordance with the field of certification and establish its compliance or non-compliance with DSTU 8904:2019, since a significant number of standards for test methods and requirements for materials have been canceled.

Conclusions. Currently, DSTU 8904:2019 is the main document that establishes requirements for materials, design and installation of waterproofing of road surfaces of road bridges. It is mandatory to implement, since it is mentioned in DBN V.2.3-22:2025.

The design of road surfaces with a reinforced concrete slab of a span structure cannot have a leveling layer of concrete with a thickness of (30–50) mm. The installation of a protective layer over the waterproofing is not provided. However, there are no separately written design solutions that would prohibit the installation of a protective layer in DSTU 8904:2019, DBN V.2.3-22:2025, and decisions are made on the basis of established practice.

Due to the cancellation of a significant number of standards for test methods and requirements for materials by the State Enterprise «UkrNDNC» from 01.01.2026, certified laboratories in Ukraine will not be able to carry out waterproofing tests and establish their compliance or non-compliance with DSTU 8904:2019 in the usual way in accordance with the field of certification. Therefore, it is necessary to revise DSTU 8904:2019 as soon as possible, during which it is necessary to develop test methods suitable for testing waterproofing and replace DSTU, the validity of which has been terminated, with other test methods or standards. In particular, it is necessary to take into account the developments of the European Union, which contain EN standards and other technical documents. Also, in DSTU 8904:2019 it is necessary to update the requirements for materials that were established by the canceled standards.

Keywords: testing, leveling layer, waterproofing, protective layer, structure, mastic waterproofing, bridge, roadway, roll waterproofing, temperature resistance.

УДК 624.21

Стоянович С. В., канд. техн. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-1363-7356>Полюга Р. І., канд. техн. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0003-3729-0577>

Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури (НАОМА), м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЗБІРНО-МОНОЛІТНИХ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ МОСТІВ НА ДІЮ СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Анотація

Вступ. На сьогоднішній день залізобетонні збірно-монолітні прогонові будови набули значної популярності під час будівництва нових та реконструюванні існуючих мостів та шляхопроводів в Україні. Особливо це помітно в останні 10-15 років, коли почали застосовуватися покращені матеріали та нові ефективні конструктивні рішення під час спорудження мостів.

Щоб досягнути більшої ефективності таких конструкцій, покращення їх техніко-економічних показників важливо мати більше інформації про їх роботу, напружено-деформований стан. Ці дані можна отримати під час обстеження конструкцій, випробовування їх навантаженням та порівняння з аналітичними дослідженнями.

Мета. Дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних збірно-монолітних прогонових будов споруди: аналіз прогинів, аналіз просторової роботи споруди під дією статичного навантаження.

Матеріали і методи. При написанні статті використані матеріали випробувань збірно-монолітних прогонових будов споруди через річку Ірпінь на км 21+140 автомобільної дороги загального користування державного значення Р-30 Під'їзд до м. Ірпінь в Київській області.

Використані наступні методи досліджень: аналізування інформації, математичне моделювання, натурні та теоретичні дослідження.

Результати. У результаті проведених досліджень були встановлені експериментальні та аналітичні величини прогинів елементів прогонових будов споруди, виконано їх порівняння та визначені конструктивні коефіцієнти. Визначені експериментальні та теоретичні коефіцієнти поперечного розподілу навантажень прогонових будов та встановлено характер просторової роботи споруди.

Висновки. Результати аналітичних та експериментальних досліджень конструкцій збірно-монолітних прогонових будов мостів засвідчили їх хорошу просторову жорсткість, рівномірний розподіл навантажень на балки в поперечному напрямку споруди. Виміряні експериментально та аналітичні величини прогинів не перевищують гранично допустимих значень. Під час завантаження прогонових будов статичним навантаженням не було виявлено відхилень в їх роботі.

За результатами випробувань споруда може використовуватися для пропуску транспорту та відповідає вимогам діючих норм по навантаженню за схемами А-15, НК 100.

Ключові слова: залізобетонна збірно-монолітна прогонова будова, міст, напружено-деформований стан, прогини, статичні навантаження.

Вступ

На сьогоднішній день залізобетонні збірно-монолітні прогонові будови набули значної популярності під час будівництва нових та реконструюванні існуючих мостів та шляхопроводів в Україні. Особливо це помітно в останні 10–15 років, коли почали застосовуватися покращені матеріали та нові ефективні конструктивні рішення під час спорудження мостів.

Залізобетонні збірно-монолітні прогонові будови поєднали в собі переваги збірних та монолітних конструкцій, а саме: швидкість монтажу — відсутність необхідності у повноцінній опалубці значно прискорює процес будівництва порівняно зі звичайним монолітом; можливість монтажу над проїздами та водними перешкодами без застосування додаткових риштувань як при влаштуванні звичайних монолітних прогонових будов; жорсткість та стійкість конструкцій до навантажень майже не поступається монолітним спорудам та значно перевищує звичайні збірні залізобетонні прогонові будови.

У роботі [1] авторами проаналізовано технічний стан найпоширеніших типів прогонових будов мостів, описані їх основні переваги та недоліки, а також наведені перспективні напрямки вдосконалення конструкцій збірно-монолітних прогонових будов. Нові ефективні конструктивні рішення залізобетонних збірних попередньо-напружених балок для збірно-монолітного варіанту прогонових будов, їх особливості та переваги, а також дослідження їх напружено-деформованого стану при дії одноразового навантаження та високих рівнів повторного навантаження представлено в статтях [2–4].

Особливістю збірно-монолітних конструкцій прогонових будов є необхідність враховувати стадійність роботи під час їх влаштування, а також враховувати це під час їх проектування [5, 6].

Щоб досягнути більшої ефективності залізобетонних збірно-монолітних конструкцій споруд, покращення їх техніко-економічних показників важливо мати більше інформації про їх роботу, напружено-деформований стан. Ці дані можна отримати під час обстеження конструкцій, випробовування їх навантаженням та порівняння з аналітичними дослідженнями.

Метою роботи є дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних збірно-монолітних прогонових будов споруди: аналіз прогинів, аналіз просторової роботи споруди під дією статичного навантаження.

Основна частина

Об'єктом досліджень були збірно-монолітні прогонові будови споруди через річку Ірпінь на км 21+140 автомобільної дороги загального користування державного значення Р-30 Під'їзд до м. Ірпінь в Київській області.

Споруда складається з двох ідентичних мостів під правий та лівий проїзди. Мости влаштовані з 4-х прогонів, поздовжня схема — $24,0 + 2 \times 33,0 + 24,0$ м. Габарити мостів — $1,8 + 9,0$ м.

Прогонові будови мостів влаштовані з 8-ми збірних залізобетонних попередньо напружених бездіафрагмових балок І-подібного поперечного перерізу типу EFE об'єднаних між собою монолітною залізобетонною плитою. Поперечна схема прогонових будов — $7 \times 1,6$ м. Монолітна плита проїзної частини влаштована по збірній незнімній залізобетонній опалубці. Статична схема прогонових будов — розрізна. У поздовжньому напрямку прогонові будови в осях 0–2 та 2–4 об'єднані плитою в температурно-нерозрізні схеми, над опорою 2 влаштовано деформаційний шов.

Армування балок прогонових будов виконано попередньо напруженими канатами типу К-7, плити проїзної частини — арматурою класу А400С. Клас бетону балок за проектом — В40, клас бетону плити — В35. Висота балок у прогонах 0–1 та 3–4 становить 1,1 м та довжина 24 м, у прогонах 1–2 та 3–4 — висота 1,5 м та довжина 33 м.

Розрахункові навантаження на прогонові будови: А-15, НК 100.

Загальний вигляд споруди та прогонових будов наведено на **рис. 1**.

Випробування споруди включало встановлення параметрів просторової роботи та напружено-деформованого стану елементів прогонових будов за допомогою вимірювання абсолютних деформацій (прогинів) споруди під дією статичного навантаження з подальшим порівняльним аналізом розрахункової моделі і натурних даних.

В якості випробувального навантаження було обрано чотири вантажні автомобілі марки MAN масою від 35,84 т до 36,38 т. Максимальне значення навантаження становило 144,18 т при установці чотирьох автомобілів у межах прогонів.



а)



б)

- а) споруд ліворуч;
б) прогонова будова.

Рисунок 1 — Загальні вигляди

Прогонові будови споруди завантажувалися випробувальним навантаженням (вантажними автомобілями) відповідно до розроблених схем. У поперечному напрямку автомобілі розташовували максимально наближено до країв проїзної частини, у поздовжньому напрямку — максимально навантажуючи середину випробуваного прогону. Було реалізовано по чотири схеми по кожному мосту споруди — виміри знімали після заїзду всіх автомобілів. Окремі схеми були поділені на підсхеми, при яких вимірювання проводили після заїзду кожного автомобіля.

За допомогою механічних прогиномірів та лазерного нівеліру фіксували вертикальні переміщення (прогини) балок прогонових будов споруди. У прогонах 2–3 правого мосту та 3–4 лівого мосту споруди переміщення фіксували за допомогою прогиномірів встановлених посередині прогону балок прогонових будов та за допомогою нівеліру — рейку встановлювали посередині прогонів по краях проїзної частини, в прогонах 0–1, 1–2, 2–3 вимірювання проводили тільки за допомогою нівеліру зі встановленням рейки посередині прогонів по краях проїзної частини. Схеми розміщення приладів під час проведення випробувань конструкцій споруди подані на **рис. 2**.

На **рис. 3** наведено приклади з процесу проведення випробування конструкцій споруди.

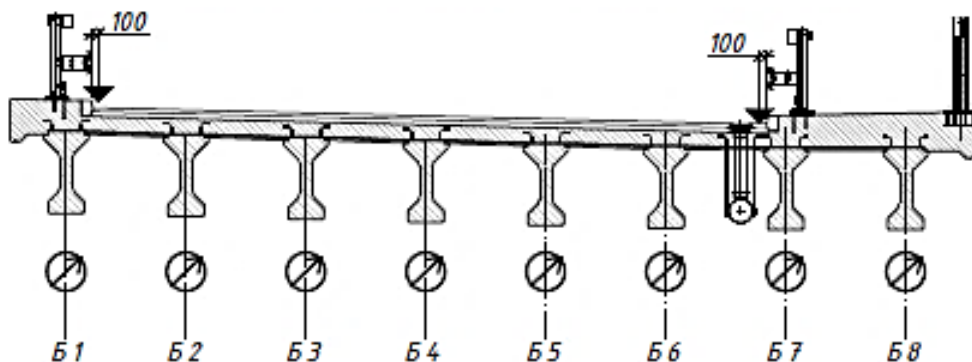


Рисунок 2 — Схема розміщення приладів (прогиномірів та точки встановлення нівелірної рейки) посередині прогонів



а)



б)

- а) завантаження прогону 1–2 лівого мосту;
б) завантаження прогону 2–3 лівого мосту.

Рисунок 3 — Розміщення випробувального навантаження

Відповідно до програми випробувань оцінювалася інтенсивність випробувального навантаження по відношенню до нормативного А-15, НК-100 (табл. 1).

Таблиця 1

Значення інтенсивності випробувального навантаження по відношенню до проєктного нормативного

№ Схеми	Прогін	$M_{\text{ехр}}$, тм	$M_{\text{А-15}}$, тм	$M_{\text{НК-100}}$, тм	Інтенсивність випробувального навантаження в %	
					А-15	НК-100
1, 8	0-1	58,57	95,16	87,47	61,55	66,97
2, 7	1-2	82,73	152,67	123,91	54,19	66,76
3, 6	2-3	82,73	152,67	123,91	54,19	66,76
4, 5	3-4	58,57	95,16	87,47	61,55	66,97

Для порівняння отриманих експериментальних даних з розрахунковими, перевірки просторової роботи конструкцій та вантажопідйомності, встановлення рівня завантаження прогонових будов споруди була реалізована скінченно-елементна модель конструкцій в програмному комплексі ПК SCAD Office (рис. 4). Геометричні розміри та перерізи основних елементів конструкцій споруди прийняті в розрахунковій схемі згідно результатів натурних вимірювань. Виконані розрахунки на аналітичні аналоги випробувальних схем та отримані розрахункові значення переміщень елементів прогонових будов від навантажень за різними схемами (рис. 5).

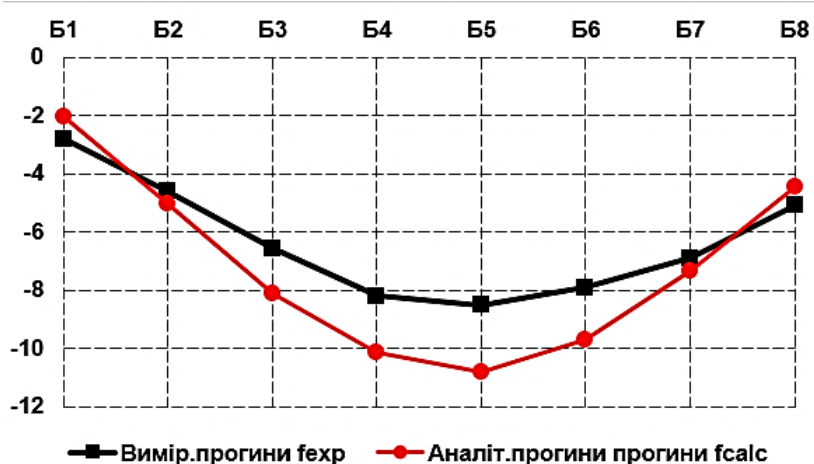


У табл. 3 наведені максимальні значення експериментальних прогинів, на прикладі прогонів 2–3 правого мосту та 3–4 лівого, приведені до нормативного значення. Звідки видно, що ці значення значно менші допустимих $1/400 l_p$.

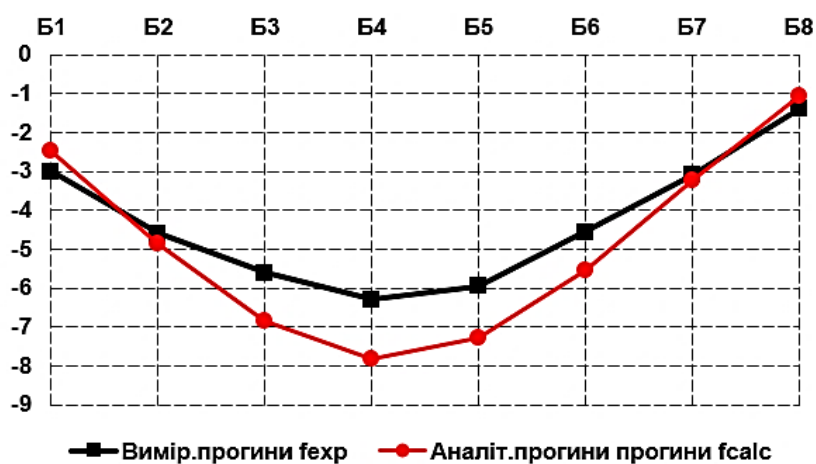
Таблиця 2

Величини виміряних максимальних прогинів f_{exp} , максимальних аналітичних прогинів f_{calc} та конструктивних коефіцієнтів k балок прогонових будов в осях 2-3 правого та 3-4 лівого мостів

Схема (Підсхема)	Прогін	Показники	Показники прогинів балок							
			Б1	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6	Б7	Б8
Лівий міст										
5 (5.1)	3-4	f_{exp} , мм	-1,4	-1,7	-1,95	-1,8	-1,28	-0,72	-0,4	-0,1
		f_{calc} , мм	-1,26	-1,99	-2,43	-2,14	-1,37	-0,69	-0,22	0,12
		k	1,11	0,85	0,80	0,84	0,93	1,04	1,82	-0,83
5 (5.2)	3-4	f_{exp} , мм	-1,7	-2,5	-3,12	-3,5	-3,27	-2,5	-1,7	-0,9
		f_{calc} , мм	-1,25	-2,46	-3,53	-4,03	-3,76	-2,85	-1,63	-0,51
		k	1,36	1,02	0,88	0,87	0,87	0,88	1,04	1,76
5 (5.3)	3-4	f_{exp} , мм	-2,7	-3,7	-4,61	-4,9	-4,29	-3,14	-1,9	-0,8
		f_{calc} , мм	-2,35	-4,36	-5,74	-5,98	-5,05	-3,51	-1,85	-0,42
		k	1,15	0,85	0,8	0,82	0,85	0,89	1,03	1,9
5 (1.4)	3-4	f_{exp} , мм	-3,0	-4,6	-5,61	-6,3	-5,94	-4,56	-3,1	-1,4
		f_{calc} , мм	-2,49	-4,84	-6,84	-7,8	-7,29	-5,56	-3,23	-1,05
		k	1,2	0,95	0,82	0,81	0,81	0,82	0,96	1,33
Правий міст										
2 (2.1)	2-3	f_{exp} , мм	-0,2	-0,8	-1,55	-2,36	-2,7	-2,9	-2,5	-1,8
		f_{calc} , мм	0,16	-0,47	-1,25	-2,21	-3,18	-3,57	-3,14	-2,33
		k	1,25	1,7	1,24	1,07	0,85	0,81	0,8	0,77
2 (2.2)	2-3	f_{exp} , мм	-1,4	-2,4	-3,6	-4,5	-4,96	-4,81	-4,1	-3,4
		f_{calc} , мм	-1,13	-2,78	-4,06	-5,28	-5,95	-5,62	-4,45	-2,82
		k	1,24	0,86	0,89	0,85	0,83	0,86	0,92	1,21
2 (2.3)	2-3	f_{exp} , мм	-2,1	-3,8	-5,1	-6,4	-7,02	-6,7	-5,4	-3,9
		f_{calc} , мм	-0,97	-3,15	-5,47	-7,43	-8,48	-8,15	-6,56	-4,37
		k	2,16	1,21	0,93	0,86	0,83	0,82	0,82	0,89
2 (2.4)	2-3	f_{exp} , мм	-2,8	-4,6	-6,56	-8,2	-8,5	-7,9	-6,9	-5,1
		f_{calc} , мм	-2,06	-5,05	-8,01	-10,15	-10,79	-9,7	-7,32	-4,43
		k	1,36	0,91	0,81	0,81	0,79	0,81	0,94	1,15



а)



б)

а) схема 2 правого мосту;

б) схема 5 лівого мосту.

Рисунок 6 — Порівняння максимальних значень вимірених прогинів f_{exp} та аналітичних прогинів f_{calc} по правому проїзду

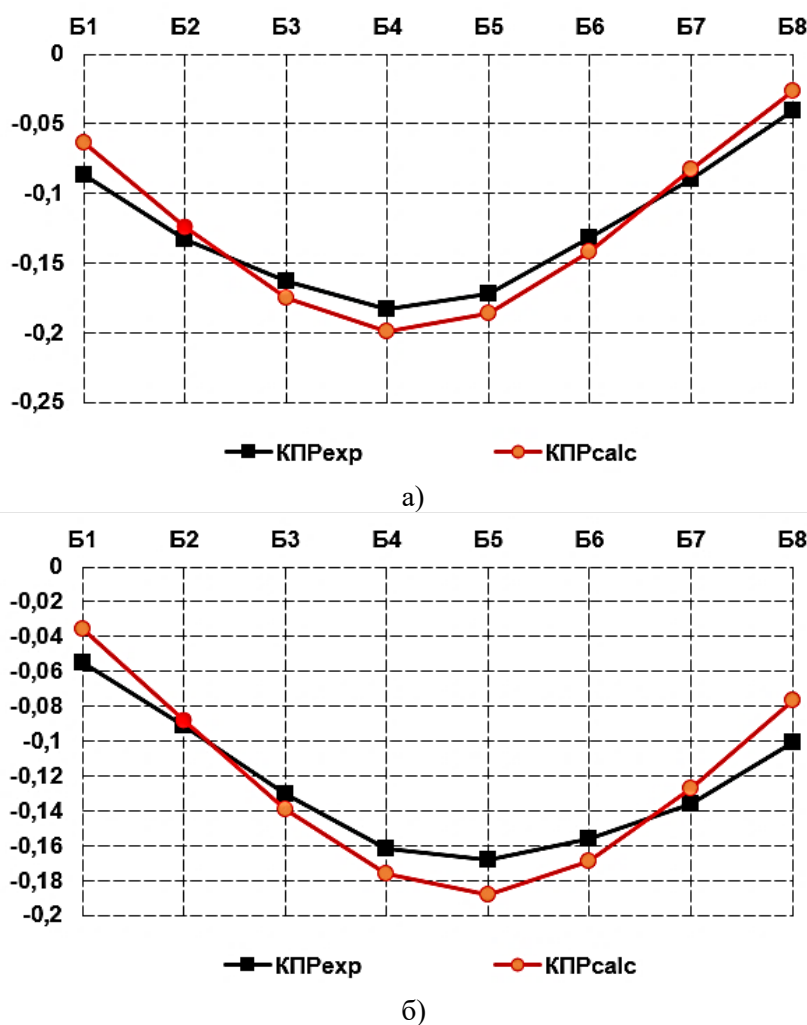
Таблиця 3

Значення максимальних експериментальних прогинів прогонових будов, приведені до нормативного навантаження

Схема		Коефіцієнт приведення, K_p	Максимальні виміряні прогини f_{exp} , мм	Виміряні приведені прогини $f_{exp,l}=$ f_{exp}/K_p , мм	$f_{exp,l}/I_p$
Лівий міст					
5	Середина 3-4	0,62	4,5	7,26	1/3223
Правий міст					
2	Середина 2-3	0,54	6,7	12,41	1/2611

Для балок прогонових будов прогону 2–3 правого мосту та 3–4 лівого мосту були визначені коефіцієнти поперечного розподілу (КПР) та проведений аналіз натурної та аналітичної просторової роботи конструкцій. На **рис. 7** наведено відповідні графіки зміни КПР по балкам прогонових будов.

У результаті аналізу визначених коефіцієнтів поперечного розподілу встановлено в цілому однаковий характер просторової роботи прогонових будов споруди. Найменш завантажені балки мають найбільшу різницю у відсотках між експериментальними та аналітичними значеннями коефіцієнтів поперечного розподілу, при цьому менша різниця в найбільш завантажених балок.



а) прогін 3–4 лівого мосту,
б) прогін 2–3 правого мосту

Рисунок 7 — Порівняння експериментально встановлених KPR_{exp} та аналітичних KPR_{calc} коефіцієнтів поперечного розподілу

Висновки

Результати аналітичних та експериментальних досліджень конструкцій збірно-монолітних прогонових будов мостів засвідчили їх хорошу просторову жорсткість, рівномірний розподіл навантажень на балки в поперечному напрямку споруди. Виміряні експериментально та аналітичні величини прогинів не перевищують гранично допустимих значень. Під час завантаження прогонових будов статичним навантаженням не було виявлено відхилень в їхній роботі.

За результатами випробувань споруда може використовуватися для пропуску транспорту та відповідає вимогам чинних норм за навантаженням за схемами А-15, НК 100.

Список літератури

1. Коваль П. М., Фаль А. Є., Стоянович С. В. Ефективні конструкції залізобетонних збірно-монолітних прогонових будов автодорожніх мостів з використанням попередньо напружених балок. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка» : Теорія і практика будівництва*. 2010. № 664. С. 44–52.
2. Коваль П. М., Стоянович С. В. Збірні залізобетонні балки для автодорожніх мостів типу «3 Бет-90» та «3 Бет-120». *Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка*. 2009. Вип. 33. С. 128–134.
3. Коваль П. М., Дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних попередньо напружених балок мостів при дії сучасних навантажень. *Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій*. 2009. Вип. 11. С. 55–62.
4. Коваль П. М., Стоянович С. В. Деформативність і тріщиностійкість попередньо напруженої залізобетонної балки при дії одноразового навантаження та високих рівнів повторного навантаження. *Ресурсоekonomні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Вип. 20. С. 233–238.
5. Коваль П. М., Стоянович С. В. Напруження у збірно-монолітних залізобетонних прогонових будовах мостів при врахуванні стадійності роботи. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2011. Вип. 39. С. 61–65.
6. Коваль П. М., Стоянович С. В. Алгоритми розрахунку збірно-монолітних прогонових будов автодорожніх мостів з урахуванням стадійності їх виготовлення та монтажу. *Галузеве машинобудування, будівництво*. 2012. Вип. 3 (33). С. 106–114.

References

1. Koval P. M., Ye. Fal, S. V. Stoyanovich. Efektyvni konstruktsiyi zalizobetonnykh zbirno-monolitnykh prohonovykh budov avtodorozhnikh mostiv z vykorystannyam poperedn'o napruzhenykh balok [Effective designs of reinforced concrete precast-monolithic spans of highway bridges using prestressed beams]. *Visnyk Natsional'noho universytetu «Lvivska politekhnika»* [Bulletin of the National University «Lviv Polytechnic»]. 2010. No. 664: Teoriya i praktyka budivnytstva [Theory and practice of construction]. P. 44–52 [in Ukrainian].
2. Koval P.M., Stoyanovich S.V. Zbirni zalizobetonni balky dlya avtodorozhnikh mostiv typu «3 Bet-90» ta «3 Bet-120» [Prefabricated reinforced concrete beams for road bridges of the «3 Bet-90» and «3 Bet-120» types]. *Budivel'ni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika*. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. [Building materials, products and sanitary equipment. Scientific and technical collection]. 2009. Issue 33. P. 128–134 [in Ukrainian].
3. Koval P.M., Stoyanovich S.V. Doslidzhennya napruzhenno-deformovanoho stanu zalizobetonnykh poperedn'o napruzhenykh balok mostiv pry diyi suchasnykh navantazhen' [Research of the stress-strain state of reinforced concrete prestressed bridge beams under the action of modern loads]. *Diahnostyka, dovhovichnist' ta rekonstruktsiya mostiv i budivel'nykh konstruktsiy: zb. nauk. pr. FMI im. H. V. Karpenka NAN Ukrayiny* [Diagnostics, durability and reconstruction of bridges and building structures: collection of scientific works of the G. V. Karpenko Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Ukraine]. 2009. Issue 11. P. 55–62 [in Ukrainian].
4. Koval P. M., Stoyanovich S. V. Deformability and crack resistance of prestressed reinforced concrete beams under single loading and high levels of repeated loading [Deformatyvnist' i trishchynostiykist' poperedn'o napruzhenoyi zalizobetonnoyi balky pry diyi odnorazovoho navantazhennya ta vysokyykh rivniv povtorno navantazhennya]. *Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy: zbirnyk naukovykh prats'* [Resource-saving materials, structures, buildings and structures: collection of scientific works]. 2010. Issue 20. P. 233–238 [in Ukrainian].

5. Koval P. M., Stoyanovich S. V. Napruzheniya u zborno-monolitnykh zalizobetonnykh prohonovykh budovakh mostiv pry vrakhuvanni stadiynosti roboty [Stresses in precast-monolithic reinforced concrete span structures of bridges taking into account the staged nature of work]. *Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan]. 2011. Issue 39. P. 61–65 [in Ukrainian].

6. Koval P. M., Stoyanovich S. V. Alhorytmy rozrakhunku zborno-monolitnykh prohonovykh budov avtodorozhnikh mostiv z urakhuvannyam stadiynosti yikh vyhotovlennya ta montazhu [Algorithms for calculating precast-monolithic span structures of highway bridges taking into account the stages of their manufacture and installation]. *Haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo: zbirnyk naukovykh prats'* [Industrial mechanical engineering, construction: collection of scientific papers]. 2012. Issue 3 (33). P. 106–114 [in Ukrainian].

Sergii Stoianovych, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-1363-7356>

Roman Poliuga, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0003-3729-0577>

National Academy Of Fine Arts And Architecture (NAFAA), Kyiv, Ukraine

RESEARCH OF THE WORK OF REINFORCED CONCRETE PRECAST-MONOLITHIC PRESTRESSED SPANS OF BRIDGES UNDER THE ACTION OF STATIC LOADS

Abstract

Introduction. To date, reinforced concrete precast-monolithic spans have gained considerable popularity during the construction of new and reconstruction of existing bridges and overpasses in Ukraine. This is especially noticeable in the last 10–15 years, when improved materials and new effective structural solutions began to be used during the construction of bridges.

To achieve greater efficiency of such constructions, improve their technical and economic indicators, it is important to have more information about their operation, stress-strain state. These data can be obtained during the inspection of constructions, their load testing and comparison with analytical studies.

Purpose. Research of the stress-strain state of reinforced concrete precast-monolithic spans of the structure: analysis of deflections, analysis of spatial work of the structure under the action of static loading.

Materials and Methods. When writing the article, materials from tests of precast-monolithic spans of the structure across the Irpin River at km 21+140 of the public highway of state importance R-30 Approach to the city of Irpin in the Kyiv region were used.

The following research methods were used: information analysis, mathematical modeling, methods of full-scale and theoretical research.

Results. As a result of the conducted research, experimental and analytical values of deflections of elements of spans of the structure were established, their comparison was performed and constructive coefficients were determined. Experimental and theoretical coefficients of transverse load distribution of spans were determined and the nature of spatial work of the structure was established.

Conclusion. The results of analytical and experimental studies of the structures of precast-monolithic bridge spans have shown their good spatial rigidity, uniform distribution of loads on the beams in the transverse direction of the structure. The experimentally and analytically measured deflection values do not exceed the maximum permissible values. When loading the spans with static loads, no deviations in their operation were detected.

According to the test results, the structure can be used for traffic and meets the requirements of current load standards according to schemes A-15, NK 100.

Keywords: bridge, reinforced concrete precast-monolithic span, deflections, stressed-deformed state, static loads.

УДК 625.745.1

Давиденко О. О., канд. техн. наук., доцент, <https://orcid.org/0000-0003-0176-3256>Козарчук І. А., канд. техн. наук., доцент, <https://orcid.org/0000-0003-4972-6016>Гаркуша М. В., канд. техн. наук., доцент, <https://orcid.org/0000-0002-5388-0561>

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

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ МОСТУ З УРАХУВАННЯМ КОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ СПЕЦІАЛЬНОГО ДЕТАЛЬНОГО ОБСТЕЖЕННЯ

Анотація

Вступ. Фактичний технічний стан об'єктів критичної транспортної інфраструктури України є ретроспективним критерієм проблеми експлуатаційного утримання. Першочерговою задачею під час відновлення об'єктів транспортної інфраструктури є складання відомості дефектів по кожному об'єкту для подальшого розроблення проєктних рішень та складання проєктно-кошторисної документації. Швидкість деградації та її закономірності прямим чином впливають на кінцеву вартість відновлення транспортних споруд.

Визначення технічного стану транспортних споруд, що супроводжується аналізом стану елементів та умов експлуатування споруди, дає можливість ефективно обрати технологічні рішення та будівельні матеріали для виконання ремонтних заходів, з урахуванням дослідження закономірностей деградації для забезпечення прийнятної надійності та довговічності, що є глобальним науковим питанням сьогодення.

А застосування чисельного моделювання для визначення вантажопідйомності мосту, що є нагальною передумовою для уточнення експлуатаційного стану, а також прогнозування надійності та довговічності у функції часу.

Проблематика. Встановлено, що існує необхідність виконання чисельного моделювання вантажопідйомності мосту з урахуванням корозійних процесів для оцінки залишкового ресурсу мосту.

Мета. Мета наукової роботи полягає у розрахунку вантажопідйомності мосту методом скінченних елементів за результатами спеціального детального обстеження мосту через р. Гуйва по вул. Ломоносова в м. Андрушівка у Житомирській області.

Результати. Дослідженням встановлено закономірність втрати вантажопідйомності сталезалізобетонного автодорожнього мосту з урахуванням послаблення елементів ферми внаслідок корозійних процесів. Також, за результатами проведених досліджень визначено технічний стан, оцінку втрати вантажопідйомності відповідно до дефектів та експлуатаційного стану, оцінку залишкового ресурсу, надано пропозиції щодо усунення дефектів і пошкоджень, а також висновки щодо доцільності нового будівництва.

Висновки. У роботі виконано чисельне моделювання вантажопідйомності мосту з урахуванням корозійних процесів за результатами спеціального детального обстеження.

Ключові слова: автодорожній міст, залишковий ресурс моста, мостове полотно, метод скінченних елементів, ремонт, транспортна споруда, чисельне моделювання.

Актуальність роботи

Стан транспортних споруд в Україні та світі, має погіршений стан, що зумовлено умовами експлуатації й особливостями будівництва та утримання споруд, спостерігається зношення матеріалів конструкцій споруд, збільшення кількості та характеристик навантаж, зміна кліматичних умов в яких експлуатуються споруди тощо [1]. Транспортні споруди мають ключове стратегічне

значення, що потребує застосування сучасних будівельних матеріалів і технологій з умовно низькою вартістю під час їх будівництва, ремонту та експлуатації. Світові дослідження акцентують увагу на несній здатності споруд; методиках проєктування з особливістю втомних характеристик, втрати довговічності споруд, а також застосування відходів промисловості та перероблених матеріалів тощо [1].

На сьогодні є актуальним застосування сучасних методів розрахунку для визначення вантажопідйомності мостів, тому робота спрямована на розроблення чисельного моделювання.

Викладення основного дослідження

Опис мосту. Міст розташований у межах м. Андрушівка, Житомирської області по вул. Ломоносова. Автодорожній міст знаходиться в комунальній власності м. Андрушівка [2], міст розташований на автомобільній дорозі загального користування державного значення Т-06-09 /Р-18/ – м. Андрушівка (рис. 1–3).

Схема мосту балочно-консольна 5,85 + 33,00 + 5,85 м (нерозрізна ферма з консолями) загальною довжиною 44,70 м (по торцям нижнього поясу ферми), Г-6 + 2 х 0,9 м. Міст з прогонами із чотирикутних металевих ферм з трикутною решіткою із підвісками. Стояни відсутні. Консолі ферми підходять до насипу укріпленого підпірною стінкою. Проміжні опори залізобетонні масивні 9 м х 1 м. Перетинає річку Гуйва під прямим кутом. Отвір мосту в просвіті 33 м. Підмостовий габарит 2,90 м. Найближчий автодорожній об'їзд 6 км з орієнтовним часом руху 15 хв.

Точні дані про дату ведення в експлуатацію моста відсутні. Опитування місцевих жителів м. Андрушівка, Житомирської області та маркування елементів мосту встановило приблизні роки будівництва споруди з 1957 по 1960 роки за індивідуальним проєктом під тимчасові рухомі навантаження Н-13, НГ-60.

Тротуар мосту з низової сторони відремонтовано у 2020 році. По низовій та верховій стороні мосту проходять міські комунікації закріплені на металеві консолі які кріпляться у вузлах ферми.

На підходах до мосту із сторони дороги Р-18 (опори № 1) встановлено сім дорожніх знаків з відстанню між знаками 10 м (знак № 7 найближчий до мосту):

Знак 3.29 «Обмеження максимальної швидкості 40 км/год» забороняє рух із швидкістю 40 км/год.

Знак 3.20 «Рух транспортних засобів без дотримання дистанції 50 м заборонено» забороняє рух транспортних засобів з дистанцією між ними менше зазначеної на знакові. Таблиця 7.1.1 «Відстань до об'єкта 150 м» позначає відстань від знака до місця запровадження Знака 3.20.

Знак 1.5.1 «Звуження дороги» (звуження дороги з обох боків). Таблиця 7.1.1 «Відстань до об'єкта 50 м» позначає відстань від знака місця запровадження відповідного обмеження.

Знак 1.39 «Інша небезпека (аварійно-небезпечна ділянка)» встановлюється перед небезпечною ділянкою дороги у місцях, де ширина проїзної частини не відповідають вимогам будівельних норм.

Знак 3.16 «Рух транспортних засобів, навантаження на вісь яких перевищує 8,5 т, заборонено» забороняє рух транспортних засобів, у яких фактичне навантаження на будь-яку вісь більше зазначеної на знакові.

Знак 3.15 «Рух транспортних засобів, маса яких перевищує 18 т, заборонено» забороняє рух транспортних засобів, у тому числі їх составів, загальна фактична маса яких перевищує зазначену на знакові.

Знак 2.6 «Перевага перед зустрічним рухом» установлюється перед вузькою ділянкою дороги, на якій під час руху водій має перевагу стосовно зустрічних транспортних засобів.

Із сторони центра м. Андрушівка встановлено такі ж самі знаки окрім знаку № 7: «Знак 2.5 «Перевага зустрічного руху» забороняє в'їзд на вузьку ділянку дороги, якщо це може утруднити зустрічний рух. Водій повинен дати дорогу зустрічним транспортним засобам, що знаходяться на вузькій ділянці.»

Під час обстеження було зафіксовано інтенсивний рух спецтехніки — трактор моделі «Steiger 500» з робочим органом «812 N-26» загальною вагою 32 т (рис. 4). Під час обстеження зафіксовано вантажні транспортні засоби тягачі Volvo FH 13.400, Volvo FM 410, Renault 460.18 тощо дозволеною повною масою разом із причепом до 44 т, які перетинали міст.



Рисунок 1 — Розміщення мосту в м. Андрушівка, Житомирської обл.

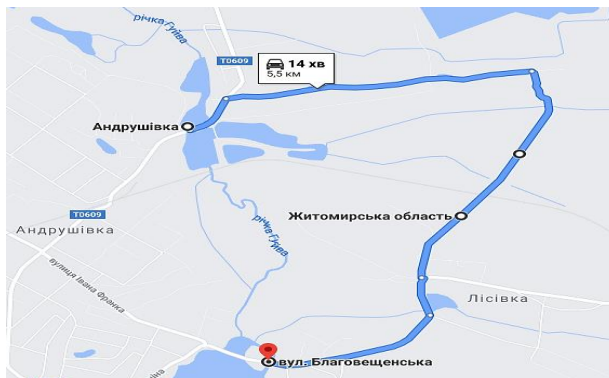


Рисунок 2 — Найближчий об'їзд мосту із сторони дороги Р-18



Рисунок 3 — Загальний вигляд мосту з верхової сторони



Рисунок 4 — Інтенсивний рух спецтехніки — трактор моделі «Steiger 500» з робочим органом «812 N-26» загальною вагою 32 т

Проїзна частина мосту має ширину 6,0 м між крайніми гранями бордюру. Висота бордюру 0,14 м. Бар'єри безпеки відсутні. Тротуари з кожного боку проїзної частини мають ширину проходу 0,9 м. Перильні огороження стійкові висотою 0,90 м.

Покрив проїзної частини — асфальтобетон, має двоскатний профіль в бік тротуарів. Покрив тротуарів — відсутній, гідроізоляція відсутня. Водовідведення з проїзної частини мосту реалізовано за рахунок двоскатного профілю в бік тротуарів та водовідвідних трубок. Товщина асфальтобетонного покриття проїзної частини в середньому — 16–19 см.

Освітлення проїзної частини відсутнє.

Прогонова будова — балочно-консольна металева ферма з паралельними поясами з трикутною решіткою із підвісками з їздою понизу. Нижній та верхній пояси із складеного перерізу: швелери стандартного профілю № 30 об'єднані накладками 4 шт. на секцію.

Нижній пояс Ф1 та Ф2 об'єднані поперечною металевою балкою стандартного профілю з кроком 2,25 м — двутавр № 55 (рис. 5).

Орієнтовний час розробки проекту 1950-1957 роки. Розрахункова модель тимчасового рухомого навантаження за Н-106-53 — Н-13, НГ-60. Було проведено статистичне дослідження, яке встановило найбільш ймовірну марку сталі як НЛ2. Розрахункові характеристики сталі приймаємо за ГОСТ 5058-49 [3].

З'єднувальні елементи — заклепки. Висота ферми 3,30 м, відстань між верхніми поясами ферми в простві по підвіскам: 11-21 — 6,62 м; 12-22 — 6,65 м; 13-23 — 6,65 м; 14-24 — 6,64 м; 15-25 — 6,64 м; 16-26 — 6,65 м; 17-27 — 6,62 м; 18-28 — 6,57 м.

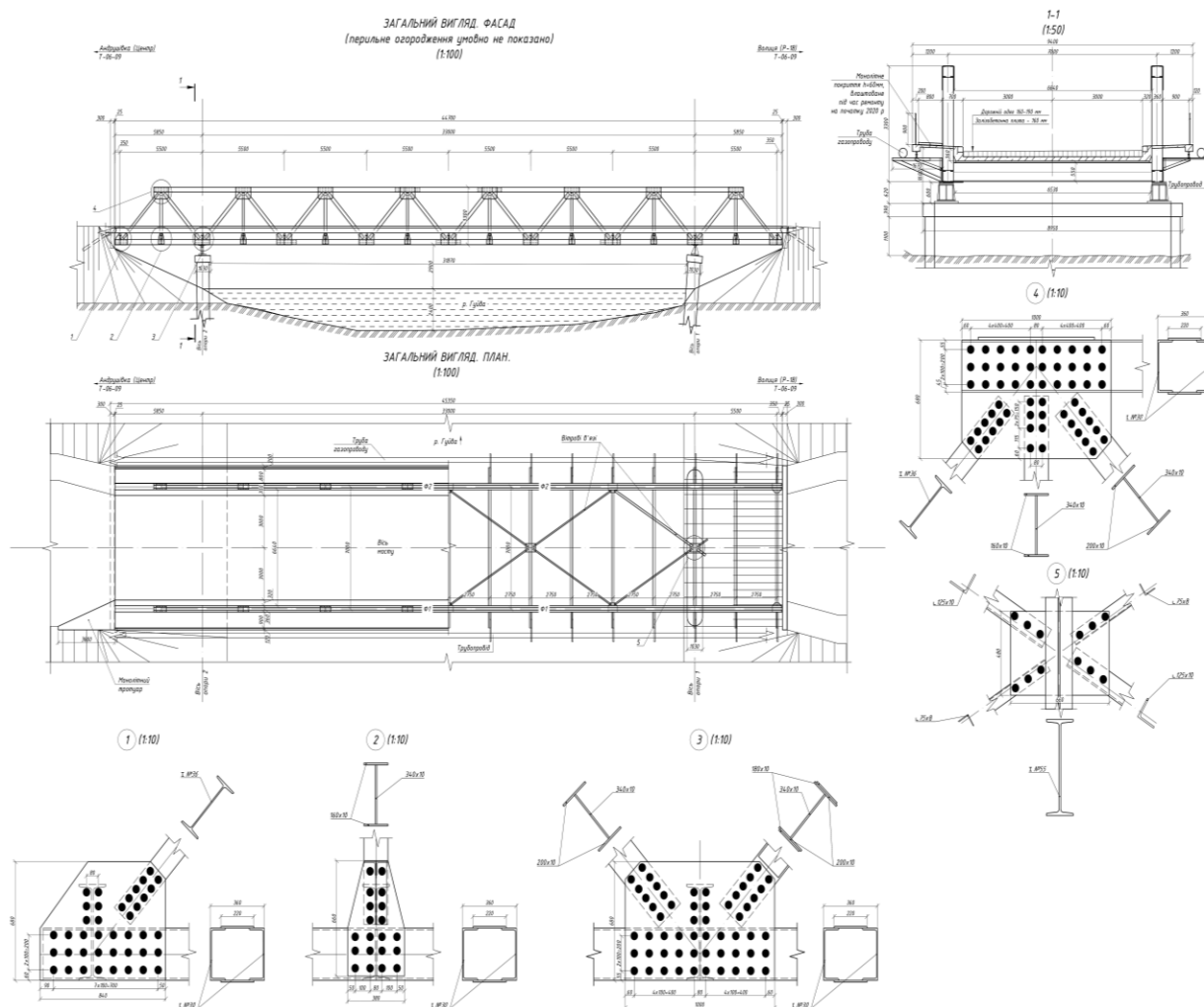


Рисунок 5 — Загальний вигляд споруди

Довжина секції ферми (між осями підвісок) 5,50 м. У середині прогону верхній пояс посилено листами металу загальної товщини 3,5 см (разом з накладками, без накладок 2,4 см з кожної сторони перерізу), довжина посилення 1,6 м (по 0,8 м в кожену сторону від підвіски № 15, 25). На опорах решітка ферми посилюється листами металу 1,2 см. Вигляд ферм наведено на рис. 6-9.



Рисунок 6 — Верхній пояс Ф1 по торцю з боку центра м. Андрушівки



Рисунок 7 — Вигляд на ферму зверху



Рисунок 8 — Вигляд на нижній пояс Ф1 (верхова сторона)

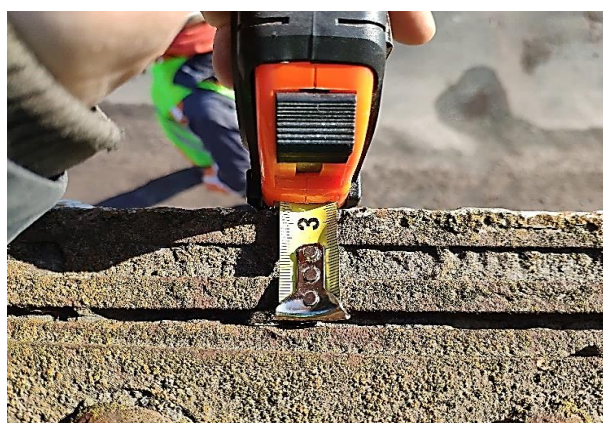


Рисунок 9 — Посилення верхнього поясу в середині прогону листами металу товщиною 3,5 см та довжиною 1,6 м



Опори № 0 та № 1 — масивні залізобетонні. Відомості про фундамент відсутні. Ширина опор поверху — 1,03 м. Довжина опор — 8,95 м. Висота опор над рівнем ґрунту — 1,1 м. Загальний вигляд наведено на **рис. 10–13**.



Рисунок 10 — Опора № 2. Зліва — вигляд збоку низової сторони; праворуч — вигляд збоку верхової сторони



Рисунок 11 — Опора № 1. Зліва — вигляд збоку низової сторони; праворуч — вигляд збоку верхової сторони



Рисунок 12 — Опора № 2. Вигляд збоку ОП № 1



Рисунок 13 — Опора №1. Вигляд збоку ОП № 2

На ОП № 2 встановлені опорні частини валкові — рухомі; на ОП № 1 тангенціальні — нерухомі. Опорні частини встановлені на металевий підферменник (подушку) розмірами 0,6 x 0,6 x 0,04 м. Верхня металева подушка має розміри 0,3 x 0,45 x 0,04 м. Висота опорних частин разом з подушками 0,6 м (від ригелю до нижнього поясу). Дві опорні частини на кожній опорі встановлено під кожний нижній пояс ферми (**рис. 14** і **рис. 15**).



Рисунок 14 — Тангенціальна нерухома опорна частина на ОП № 2



Рисунок 15 — Валкова рухома опорна частина на ОП № 2

Дані про фундаменти відсутні. Обстеження підземної частини мосту не проводили.

Міст перетинає р. Гуйва в прогоні (0–1). Глибина русла в середні прогону — 2,4 м.

Гуйва — річка в Україні, у межах Козятинського району Вінницької області та Бердичівського, Андрушівського і Житомирського районів Житомирської області. Права притока Тетерева (басейн Дніпра). Довжина Гуйви 97 км. Площа басейну 1 505 км². Похил річки 0,9 м/км. Річкова долина V-подібна, завширшки до 2 км. Заплава у верхів'ї заболочена. Річище звивисте, завширшки до 20 м, завглибшки пересічно 1,2 м. Стік зарегульовано ставками. Споруджено Андрушівське водосховище, яке використовують на технічне водопостачання, зрошення, риборозведення.

Бере початок у селі Садки. Тече спочатку на північний схід, у середній течії на північ, у нижній течії (від м. Андрушівки) — на північний захід. Впадає до Тетерева навпроти південно-західної околиці Житомира.

Середня мутність води річки Гуйва змінювалася від 0,94 г/м³ до 42 г/м³, максимальна — до 300 г/м³. Мутність води різко зростає й при проходженні дощових паводків. Найменша мутність води спостерігається зимою та в період літньої межени.

Забір і використання води в басейні Гуйви з 1999 по 2015 роки змінювалося від 2,965 млн м³ на рік у 2000 році до 12,35 млн м³ у 2009 році. В окремі роки загальний водозабір становив: 1999 — 4,465 млн м³; 2001 — 4,533 млн м³; 2004 — 3,698 млн м³; 2005 — 3,059 млн м³; 2006 — 5,588 млн м³; 2008 — 6,482 млн м³; 2012 — 11,87 млн м³; 2014 — 11,94 млн м³; 2015 — 4,464 млн м³. 65 – 33 % забраної води використовували у комунальному господарстві, до 40 % — у промисловості, 10 – 23 % — у сільському господарстві, частково — у риборозведенні [4, 5].

На мосту відсутні регуляційні споруди. По верху течії в 2 км розташована гідротехнічна регуляційна споруда подвійного призначення міст-шлюз (рис. 16 і рис. 17).



Рисунок 16 — Гідротехнічна регуляційна споруда в 2 км поверху течії (по вул. Благовещенська)



Рисунок 17 — Підпірна стінка з боку ОП № 1 (із сторони дороги Р-18)

Репер «RP0» = 100,000 м — край фундаменту дорожнього Знака 2.6 «Перевага перед зустрічним рухом» на підходах з боку дороги Р-18 по правій стороні за ходом руху в центр м. Андрушівка (рис. 18).

Обстежувалися підходи довжиною 6 м. Регуляційні споруди — відсутні. Укріплення насипу підходів із сторони мосту — підпірна стінка і перехідними плитами. Габарит підходів до мосту — Г-7. Покрив проїзної частини на підходах — асфальтобетон. Перехідні плити — збірні залізобетонні. Бар'єрне огороження проїзної частини підходів — металеве.

Інструментальна зйомка та визначення міцності бетону. Для визначення висотного положення конструкцій мосту, а також поздовжніх і поперечних ухилів по проїзній частині було виконано технічне нівелювання. Інструментальну зйомку проїзної частини мосту через р. Гуйва виконували нівеліром Topcon Manab A4 S/NH88154 (Made in Japan). Прилад від'юстовано та гарантовано точність вимірів відповідно до технічних вимог. Результати нівелювання проїзної частини наведені в табл. 1–2.

Таблиця 1

Визначення умовних відміток по осі мосту (2012 рік)

	Підвіски №				ОП № 1	ОП № 2
	11-21	12-22	18-28	17-27		
	По лівому краю проїзної частини за ходом пікетажу					
Умовна відмітка, м	7,934	7,941	7,960	7,963	7,938	7,962
	По осі мосту					
Умовна відмітка, м	7,973	7,949	7,933	7,947	7,961	7,940
	По правому краю проїзної частини за ходом пікетажу					
Умовна відмітка, м	7,974	7,967	7,938	7,965	7,971	7,952

Таблиця 2

Порівняння перевищень нівелювання різних років

Ч.ч.	Місце відміток	Умовні Відмітки, м		Перевищення		Різниця перевищень
		2012 рік	2021 рік	2012 рік	2021 рік	
По осі мосту						
1	Над ОП №1	7,961	100,165	0,021	0,04	-0,019
	Над ОП №2	7,940	100,125			
2	Над ОП №1	7,961	100,165	0,002	0,021	-0,019
	Середина прогону	7,959	100,144			
3	Над ОП №2	7,940	100,125	-0,019	-0,019	0,00
	Середина прогону	7,959	100,144			
По лівому краю проїзної частини за ходом пікетажу						
1	Над ОП №1	7,938	100,116	-0,024	0,041	0,017
	Над ОП №2	7,962	100,119			
2	Над ОП №1	7,938	100,116	-0,048	-0,03	-0,018
	Середина прогону	7,986	100,190			
3	Над ОП №2	7,962	100,119	-0,024	-0,071	0,05
	Середина прогону	7,986	100,190			

Ч.ч.	Місце відміток	Умовні Відмітки, м		Перевищення		Різниця перевищень
		2012 рік	2021 рік	2012 рік	2021 рік	
По правому краю проїзної частини за ходом пікетажу						
1	Над ОП №1	7,971	100,151	0,019	-0,011	0,03
	Над ОП №2	7,952	100,162			
2	Над ОП №1	7,971	100,151	0,007	0,019	-0,012
	Середина прогону	7,964	100,132			
3	Над ОП №2	7,952	100,162	-0,012	0,03	-0,04
	Середина прогону	7,964	100,132			

Для виявлення просядок опори порівнюємо перевищення між опорами та серединою мосту з результатами нівелювання ТОВ «НВФ МостоБудСервіс». У звіті з обстеження ТОВ «НВФ МостоБудСервіс» висотні умовні відмітки визначені лише в перерізі по підвіскам, тому визначимо умовні висотні відмітки по над опорою методом лінійної інтерполяції.

ТОВ «НВФ МостоБудСервіс» прийняло за репер конструкцію мосту, що є недопустимо, та збільшує похибку при порівнянні перевищень.



Рисунок 18 — Репер «RP0»

Враховуючи використання різних реперів, а також відміток по асфальтобетонному покриттю, надати точні дані з наявності просідання опор і прогинів неможливо, а порівняльний аналіз переміщень за 2012 рік і 2021 рік показав, що є негативні зміни у висотному положенні із сторони опори № 1 та середини прогону. Можливе просідання опори до 4 мм за 9 років, також відмітки над серединою мосту стали в середньому нижчими на 7 мм, що свідчить про збільшення прогину ферми.

Для перевірки міцності конструкцій мосту були проведені роботи з визначення поверхневої міцності бетону відповідно до ДСТУ Б В.2.7-220:2009 [6].

Визначення міцності бетону на стиск методом пружного відскоку проводили механічним склерометром МШ-225 (енергія удару 2207 Дж) для бетону товщиною від 70 мм.

Випробування поверхневої міцності бетону проводили за від'ємної температури повітря мінус 3 °С. Визначення показників міцності бетону на стиск проводили на поверхнях, які не мають дефектів. За результатами випробувань фактична міцність елементів конструкцій (при їх середніх значеннях) складає: тіло ОП № 2 — 33 МПа; ТІЛО ОП № 1 — 27 МПа; низ залізобетонної плити проїзної частини — 39 МПа (рис. 19).

З врахуванням дефектів бетону та фронту карбонізації рекомендується до розрахунку приймати наступний клас бетону: для монолітного бетону ОП № 2 — В30; для монолітного бетону ОП №1 — В25; для монолітного бетону плити проїзної частини — В35.

Розрахункові характеристики бетону приймати згідно з таблицею 3.6 ДБН В.2.3-14 [7].



Рисунок 19 — Процес визначення міцності бетону для монолітного бетону плити проїзної частини по середині довжини консолі К(2-3)

Результати розрахунку вантажопідйомності. Вихідні дані — схема мосту балочно-консольна ферма $5,85 + 33,0 + 5,85$. Загальна довжина 44,7 м, Г-6 + 2 х 0,8 м, загальною шириною 9,4 м. Ферма з їздою понизу з паралельними поясами з трикутними решітками. Розрахункові характеристики сталі НЛ2 приймаємо за ГОСТ 5058-49 [3].

Модель тимчасового навантаження Н-13, НГ-60 та коефіцієнти надійності приймаються за Н-106-53. Тимчасове рухоме навантаження розташовується на мосту, так щоб викликати найбільші зусилля в конструкції. Навантаження від натовпи приймається як 300 кг/м^2 .

Постійне навантаження визначаються вагою конструктивних елементів, розрахунок яких виконано в табличній формі (табл. 3). При цьому коефіцієнт надійності по навантаженню усіх елементів прийнято 1,1, беручи до уваги результати виконаних при обстеженні інструментальних вимірювань параметрів шарів дорожнього одягу проїзної частини та інших конструкцій мостового полотна та прогонової будови.

Таблиця 3

Постійні навантаження

Вид навантаження	Загальна вага, кН	Нормативна вага на п.м., кН/м	Розрахункова вага на п.м., кН/м
Асфальтобетонний покрив	615	13,8	15,2
Плита проїзної частини	1 788	40,0	44
Металева прогонова будова, 36 т	360	8,1	8,9
Всього	2 763	61,9	68,1

Розрахункова схема — розрахунок проводили в програмному комплексі, що працює за Методом Скінченних Елементів (МСЕ). Розрахункова схема враховує об'єднання металевих ферм із збірною залізобетонною плитою проїзної частини (рис. 20 – 23). Під час створення розрахункової схеми приймають розрахункові перерізи відповідальних елементів без врахування дефектів.

Рисунок 20 — Зображення розрахункової схеми

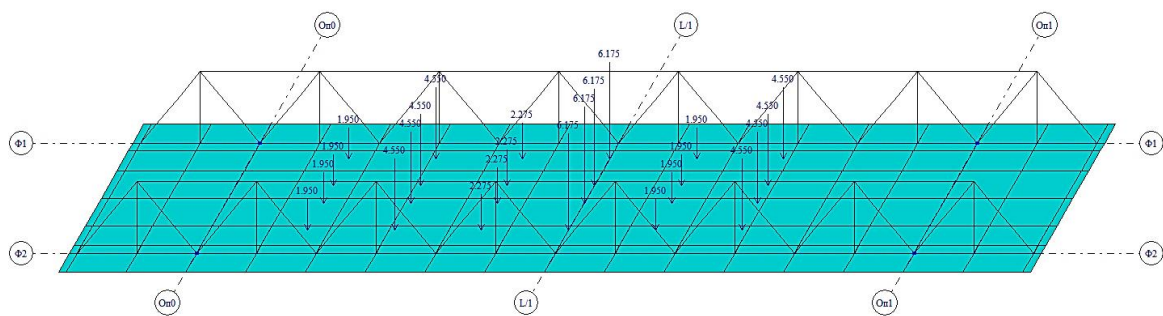


Рисунок 21 — Задання тимчасового навантаження Н-13 на розрахункову схему

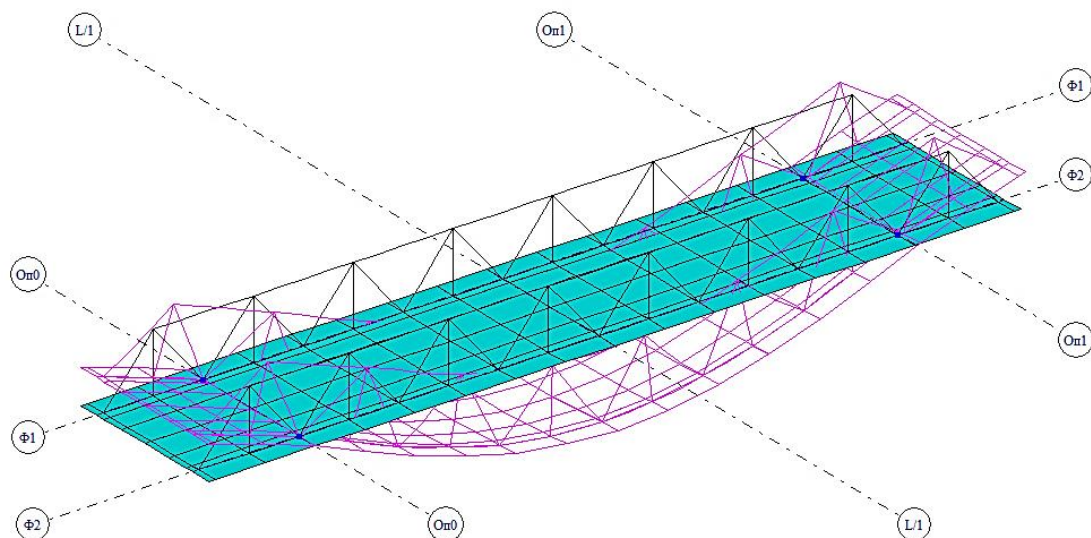


Рисунок 22 — Деформації прогонової будови від заданого навантаження

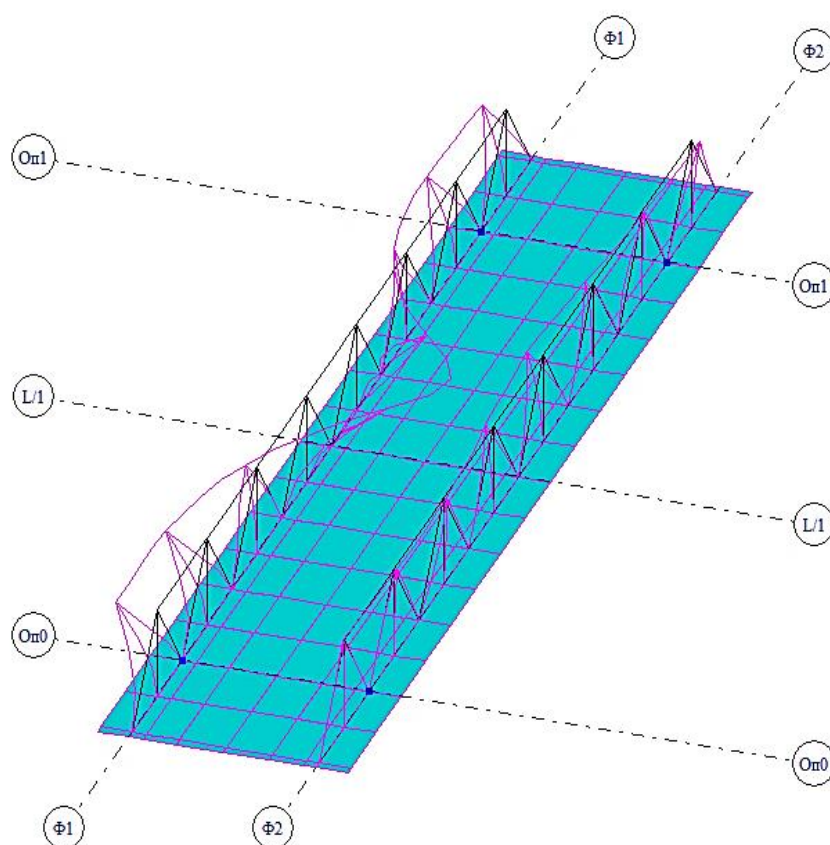


Рисунок 23 — Відображення 1-ої форми втрати стійкості ферм прогонової будови

Пружні розрахунки міцності позacentрово-стиснутих, стиснутозігнутих, позacentрово-розтягнутих і розтягнуто-зігнутих елементів для перерізів 1-го класу за згину в одній із головних площин виконують за формулою:

$$\frac{N}{A_n} + \frac{M}{W_n} \leq \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r} \quad (1)$$

де $R_y = 333426,1 \text{ кН/м}^2$ згідно з ГОСТ 5058-49 [3],
 $m = 0,9$ згідно з ДБН В.2.3-26:2010 [8],
 $\gamma_r = 1,05$ згідно з ДБН В.2.3-22:2009 [9].

Результати розрахунку наведено в **табл. 4**.

Розрахунок з урахуванням всіх зафіксованих дефектів під час обстеження, показав, що вантажопідйомність мосту забезпечить пропуск транспортних засобів в колоні загальною масою не більше 10,0 т з прийнятною надійністю та безпекою експлуатації. Слід враховувати, що наскрізна корозія та втрата заклепок можуть призвести до раптової втрати стійкості та зміни розрахункової системи. Контроль за рухом вантажного транспорту та обмеження маси 10 т в колоні зменшить ймовірність втрати геометричної незмінності системи до прийнятої протягом рекомендованого часу будівництва нового мосту при умові постійного та регулярного нагляду за мостом.

Таблиця 4

Зведена таблиця результатів розрахунку

	Переріз	Сумарне напруження $\frac{N}{A_n} + \frac{M}{W_n}$		Граничне допустиме напруження, $\frac{R_y \cdot t}{\gamma_r}$	Забезпечена вантажопідйомність
		Постійне навантаження	Тимчасове навантаження		
Верхній пояс + підсилення	[] №30+ Пластини $W_n = 1328,95 \text{ см}^3$ $A_n = 210,8 \text{ см}^2$	152232,6 кН/м ²	146140,5 кН/м ²	285793,8 кН/м ²	Втрата вантажопідйомності > 40 % [10] Транспортний засіб в колоні – 10 т На одну вісь – 7 т
Нижній пояс	[] №30 $W_n = 774,0 \text{ см}^3$ $A_n = 81,0 \text{ см}^2$	152232,6 кН/м ²	146140,5 кН/м ²	285793,8 кН/м ²	Забезпечено
Поперечна балка	I №55 $W_n = 2035,0 \text{ см}^3$ $A_n = 118,0 \text{ см}^2$	42598,3 кН/м ²	11144,5 кН/м ²	285793,8 кН/м ²	Забезпечено
Підвіска	$W_n = 726,56 \text{ см}^3$ $A_n = 66,0 \text{ см}^2$	35979,0 кН/м ²	33551,6 кН/м ²	285793,8 кН/м ²	Забезпечено
Діагональ	$W_n = 1437,63 \text{ см}^3$ $A_n = 112,0 \text{ см}^2$	39994,3 кН/м ²	34895,9 кН кН/м ²	285793,8 кН/м ²	Забезпечено

Оцінка технічного стану

Оцінювання технічного стану мосту виконане згідно з ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2009 [10], ДБН В.2.3-6-2009 [11], Р В.2.3-218-03450778-793:2011 [12].

Технічний стан елементів конструкції споруди:

Елементи проїзної частини — стан 5 (непрацездатний).

Елементи прогонової будови — стан 5 (непрацездатний).

Опори та опорні частини — стан 5 (непрацездатний).

Фундаменти — стан 4 (обмежено працездатний)..

Підмостове русло — стан 2 (обмежено справний).

Регуляційні споруди — відсутні.

Підходи — стан 5 (непрацездатний).

Експертна експлуатаційна оцінка є середньозваженим значенням визначеного експлуатаційного стану групи конструктивних елементів споруди, що розглядаються. За нормативним документом ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2009 [10] експлуатаційну оцінку технічного стану споруди *E* визначають за шкалою безрозмірних коефіцієнтів у 100 балів та становить згідно **табл. 5**.

Таблиця 5**Загальна оцінка технічного стану мосту**

Експлуатаційний стан	Назва експлуатаційного стану	Рейтингова оцінка	Характеристика безпеки, β
Стан 5	Непрацездатний	27	1,74

Висновки

Розрахунок з урахуванням всіх зафіксованих дефектів під час обстеження, показав, що вантажопідйомність мосту забезпечить пропуск транспортних засобів в колоні загальною масою не більше 10,0 т з прийнятною надійністю та безпекою експлуатації. Слід враховувати, що наскрізна корозія та втрата заклепок можуть призвести до раптової втрати стійкості та зміни розрахункової системи. Контроль за рухом вантажного транспорту та обмеження маси 10 т в колоні зменшить ймовірність втрати геометричної незмінності системи до прийнятої протягом рекомендованого часу будівництва нового мосту при умові постійного та регулярного нагляду за мостом.

У роботі використано ряд нормативних документів, які на момент обстеження були чинними.

Під час обстеження виявлено дефекти, які суттєво знижують несну здатність, довговічність і перешкоджають безпечному дорожньому та пішохідному руху. Переломи поздовжнього профілю у вузлі спряження мосту з насипом дороги створюють динамічний удар, що сприймається прогоною будовою, опорами та підпірними стінками і пришвидшує швидкість деградації елементів мосту.

Згідно з табл. 5.3 ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2012 [10] для мостів, що знаходяться в технічному стані «Стан 5. Непрацездатний» знос елементів мосту перевищує 43 %, а залишковий ресурс вичерпано.

Рекомендації щодо подальшої експлуатації споруди: необхідно нагально вирішити питання щодо капітального ремонту / реконструкції або нового будівництва.

Враховуючи існуючі дефекти, пошкодження та результати розрахунку відповідно до табл. 5.3 ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2012 [10] рекомендується обмежити рух вантажного транспорту в колоні масою більше 10 т та вести постійний нагляд і контроль за виконанням обмежень руху та технічним станом мосту із залученням спеціалізованих організацій. Особливо нагляду потребує нахилена ОП № 1 та контролю її нахилу. Обмеження руху вантажних транспортних засобів знизить ймовірність виникнення аварійних ситуацій. У такому разі необхідно на підходах до мосту з обох сторін встановити дорожній знак 3.15 «Рух транспортних засобів, маса яких перевищує 10 т, заборонено». Дорожній знак необхідно встановити таким чином, щоб вантажний транспорт, побачивши знак, зміг змінити напрям руху, не заважаючи іншим учасникам дорожнього руху.

Балансоутримувач на свій розсуд може не змінювати існуючі знаки, але в такому разі повинен контролювати дотримання дистанції та перенавантаження мосту. Також слід враховувати, що визначено вантажопідйомність прогону мосту, а вантажопідйомність опори невідома у зв'язку із відсутністю будь-яких відомостей про фундаменти. Для забезпечення довговічності та прийнятої надійності до завершення нового будівництва або ремонту ми рекомендуємо замінити існуючий знак обмеження повної маси 18 т на 10 т, на вісь з 8,5 т на 7 т та залишити всі інші знаки.

Рекомендовано наступне планове обстеження провести не пізніше ніж 01 жовтня 2022 року.

Рекомендації щодо капітального ремонту / реконструкції / нового будівництва споруди. Габарит мосту та ширина тротуарів не задовольняють чинних вимог, а саме ДБН В.2.3-22:2009 [9].

На сьогодні габарит мосту та тротуарів не задовольняє потреб міста і в найближчу перспективу потребує поширення і доведення до чинних вимог. Існуюча конструкція мосту — ферма з їздою понизу не дає можливості в рамках ремонту повноцінного поширення з дотриманням сучасних вимог і забезпеченням ширини тротуару, яка достатня для користування маломобільними групами населення.

Міст було запроєктовано під тимчасові моделі навантаження Н-13, НГ-60 відповідно до норм СН-106-53, які втратили чинність у 1962 році та були замінені нормами СН-200-62. Таким чином, забезпечення в межах капітального ремонту або реконструкції відповідності чинним моделям навантаження А-15, НК-100 є технічно неможливим без улаштування додаткових опор і суттєвого підсилення елементів ферм. Реалізація зазначених заходів призведе до істотного збільшення кошторисної вартості робіт і фактично наблизить її до вартості нового будівництва.

Проведення капітального ремонту / реконструкції забезпечує прогнозу довговічність споруди до 25 років. За результатами аналізу аналогічних об'єктів та з урахуванням технічного стану металевих елементів і опор, оціночна вартість ремонту у цінах 2020 року становила 12–20 млн грн.

З урахуванням інфляційних процесів 2021 – 2025 років, девальвації національної валюти відносно долара США, а також суттєвого зростання вартості металопрокату, бетонних сумішей, енергоносіїв і логістики, приведена до поточного рівня цін вартість капітального ремонту / реконструкції становить орієнтовно 22–38 млн грн (у поточних цінах станом на сьогодні).

Було проведено статистичний аналіз вартості нового будівництва мостів протяжністю 40–80 м за даними електронної системи публічних закупівель «Прозорро». У цінах 2020 року вартість нового будівництва становила 30–60 млн грн. З урахуванням зазначених макроекономічних чинників поточна оціночна вартість нового будівництва складає орієнтовно 55–110 млн грн із забезпеченням нормативної довговічності не менше 80 років.

Оцінювання вартості виконували за методикою аналізу аналогічних об'єктів (comparative analogous estimation) [13], що відповідає підходам до попереднього вартісного оцінювання інвестиційних проєктів. Аналогічні об'єкти були відібрані станом на момент проведення обстеження, тоді як вартісні показники приведені до поточного рівня цін шляхом індексації з урахуванням макроекономічних показників.

Під час статистичного аналізу вартості не враховували інженерно-будівельну оцінку території (геологічні умови, складність влаштування фундаментів, організація будівельного майданчика тощо), що може додатково вплинути на кінцеву кошторисну вартість як ремонту, так і нового будівництва.

Порівняльні приведені економічні показники (умовна середньорічна вартість життєвого циклу без урахування експлуатаційних витрат) становлять:

- для капітального ремонту / реконструкції — орієнтовно 0,9–1,5 млн грн/рік (за розрахункового строку служби 25 років), невраховуючи вартості наступного капітального ремонту, яке значно збільшить вартість експлуатаційного утримання на наступні 25–50 років;

- для нового будівництва — орієнтовно 0,7–1,4 млн грн/рік (за розрахункового строку служби не менше 80 років).

При цьому експлуатаційні витрати для відремонтованих споруд є статистично вищими порівняно з новими мостами через підвищені витрати на поточне утримання, антикорозійний захист і періодичне підсилення елементів.

Ураховуючи технічні обмеження щодо забезпечення чинних нормативних навантажень, співставні приведені економічні показники та значно більший нормативний строк експлуатації, нове будівництво мосту є раціональним та економічно доцільнішим рішенням у довгостроковій перспективі (не менше 80 років).

Враховуючи, що технічний стан мосту «Стан 5. Непрацездатний», наявний інтенсивний розвиток пошкоджень, порівняно з обстеженням 2012 року, таких як: нахил опори № 1 із сторони дороги Р-18, наскрізна корозія елементів ферми, руйнування 40 % заклепок вузлів тощо рекомендується протягом року розробити проєкт нового будівництва мосту та протягом трьох років після затвердження проєкту та проходження експертизи завершити будівництво.

Список літератури

1. Давиденко О. О., Гаркуша М. В., Козарчук І. А., Казак П. О., Цапок Я. О. Методи визначення технічного стану водопропускної труби з аналізом необхідних ремонтних робіт. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Кропивницький, ЦНТУ*. 2025. Вип. 11(42), ч. II. С. 214–223. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.214-223](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.214-223).
2. Постанова КМУ №55 від 30 січня 2019 року Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/55-2019-п#Text> (дата звернення: 01.02.2026).
3. ГОСТ 5058-49 Сталь низьколегована. Технічні умови. Київ, 1949. 9 с. (Інформація та документація).
4. Географічна енциклопедія України : в 3-х томах / редкол.: О. М. Маринич (відпов. ред.) та ін. Київ: Українська Радянська Енциклопедія ім. М. П. Бажана, 1990. 480 с.
5. Лозовіцький П.С., Молочко А.М. Формування стоку та екологічний стан води річки Гуйва. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-соціальні науки*. 2018. Вип. 2 (38). С. 21–26.
6. ДСТУ Б В.2.7-220:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю. Київ, 2010. 34 с. (Інформація та документація).
7. ДБН В.2.3-14:2006 Мости і труби. Правила проєктування. Київ, 2007. 218 с. (Інформація та документація).
8. ДБН В.2.3-26:2010 Споруди транспорту. Мости та труби. Сталеві конструкції. Правила проєктування. Київ, 2011. 214 с. (Інформація та документація).
9. ДБН В.2.3-22:2009 Мости та труби. Основні вимоги проєктування. Київ, 2010. 40 с. (Інформація та документація).
10. ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009 Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ, 2010. 55 с. (Інформація та документація).
11. ДБН В.2.3-6-2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження та випробування. Київ, 2010. 36 с. (Інформація та документація).
12. Р В.2.3-218-03450778-793:2011. Рекомендації щодо підвищення експлуатаційної надійності та довговічності мостових споруд. Київ, 2011. 48 с. (Інформація та документація).
13. Project Management Institute. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). 7th ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2021. 274 p.

References

1. Davydenko O. O., Harkusha M. V., Kozarchuk I. A., Kazak P. O., Tsapok YA. O. Metody vyznachennya tekhnichnoho stanu vodopropusknoyi truby z analizom neobkhidnykh remontnykh robіt. *Tsentral'noukrayins'kyi naukovyy visnyk. Tekhnichni nauky. Kropyvnyts'kyi, TSNTU*, 2025. Vyp. 11(42), ch. II, S. 214 – 223. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.214-223](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.214-223) [in Ukrainian].
2. Postanova KМУ №55 vid 30 sichnya 2019 roku Pro zatverdzhennya pereliku avtomobil'nykh dorih zahal'noho korystuvannya derzhavnoho znachennya URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/55-2019-п#Text> [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 55 of January 30, 2019 On Approval of the List of Public Roads of State Importance URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/55-2019-п#Text>] [in Ukrainian].

3. HOST 5058-49 Stal' nyz'kolehovana. Tekhnichni umovy [GOST 5058-49 Low-alloy steel. Technical conditions]. Kyiv, 1949. 9 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
4. Heohrafichna entsyklopediya Ukrayiny : v 3-kh tomakh / redkol.: O. M. Marynych (vidpov. red.) ta in. Kyiv: Ukrayins'ka Radyans'ka Entsyklopediya im. M. P. Bazhana, 1990. 480 s. [in Ukrainian].
5. Lozovits'kyi P.S., Molochko A.M. Formuvannya stoku ta ekolohichnyy stan vody richky Huyva. *Visnyk Kyiv's'koho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Viys'kovo-sotsial'ni nauky*. 2018. Vyp. 2 (38). P. 21–26 [in Ukrainian].
6. DSTU B V.2.7-220:2009 Budivel'ni materialy. Betony. Vyznachennya mitsnosti mekhanichnyimi metodamy neruynivnoho kontrolyu [DSTU B V.2.7-220:2009 Building materials. Concretes. Determination of strength by mechanical methods of non-destructive testing]. Kyiv, 2010. 34 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
7. DBN V.2.3-14:2006 Mosty i truby. Pravyla proektuvannya [DBN V.2.3-14:2006 Bridges and pipes. Design rules]. Kyiv, 2007. 218 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
8. DBN V.2.3-26:2010 Sporudy transportu. Mosty ta truby. Stalevi konstruktsiyi. Pravyla proektuvannya [DBN V.2.3-26:2010 Transport structures. Bridges and pipes. Steel structures. Design rules]. Kyiv, 2011. 214 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
9. DBN V.2.3-22:2009 Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannya [DBN V.2.3-22:2009 Bridges and pipes. Basic design requirements]. Kyiv, 2010. 40 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
10. DSTU-N B V.2.3-23:2009 Nastanova z otsinyuvannya i prohnozuvannya tekhnichnoho stanu avtodorozhnykh mostiv [DSTU-N B V.2.3-23:2009 Guidelines for assessing and predicting the technical condition of road bridges]. Kyiv, 2010. 55 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
11. DBN V.2.3-6:2009 Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennya ta vyprovuvannya [DBN V.2.3-6:2009 Transport structures. Bridges and pipes. Inspection and testing]. Kyiv, 2010. 36 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
12. R V.2.3-218-03450778-793:2011. Rekomendatsiyi shchodo pidvyshchennya ekspluatatsiynoyi nadiynosti ta dovhovichnosti mostovykh sporud [R B.2.3-218-03450778-793:2011. Recommendations for increasing the operational reliability and durability of bridge structures]. Kyiv, 2011. 48 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
13. Project Management Institute. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). 7th ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2021. 274 p. [in English].

Oleksandr Davydenko, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0003-0176-3256>

Igor Kozarchuk, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0003-4972-6016>

Mykola Harkusha, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-5388-0561>

National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

NUMERICAL MODELING OF BRIDGE LOAD-CARRYING CAPACITY CONSIDERING CORROSION PROCESSES BASED ON THE RESULTS OF A SPECIAL DETAILED INSPECTION

Abstract

Introduction. The actual technical condition of Ukraine's critical transport infrastructure facilities is a retrospective indicator of the problem of maintenance and operation. The primary task during the restoration of transport infrastructure facilities is to compile a defect list for each facility in order to further develop design solutions and prepare design and cost documentation. The rate of degradation and its patterns directly affect the final cost of restoring transport structures.

Determining the technical condition of transport structures, accompanied by an analysis of the condition of structural elements and operating conditions, makes it possible to effectively select technological solutions and construction materials for repair works, taking into account the study of degradation patterns to ensure acceptable reliability and durability, which is a global scientific issue of today.

The application of numerical modeling to determine the load-carrying capacity of a bridge is an urgent prerequisite for clarifying its operational condition, as well as for predicting its reliability and durability as a function of time.

Problem Statement. It has been established that there is a substantiated need to carry out numerical modeling of the bridge's load-carrying capacity, taking into account corrosion processes, in order to assess its residual service life.

Objectives. The aim of this research is to calculate the load-carrying capacity of the bridge using the finite element method based on the results of a special detailed inspection of the bridge over the Guiva River on Lomonosova Street in Andrushivka, Zhytomyr Region.

Results. The study established a pattern of loss of load-carrying capacity of a steel-reinforced concrete road bridge, taking into account the weakening of truss elements due to corrosion processes. Furthermore, based on the results obtained, the technical condition of the structure was determined; an assessment of the loss of load-carrying capacity in accordance with the identified defects and operational condition was carried out; the residual service life was evaluated; proposals for eliminating defects and damages were provided; and a conclusion regarding the feasibility of new construction was formulated.

Conclusions. The study presents numerical modeling of the bridge's load-carrying capacity, taking into account corrosion processes, based on the results of a special detailed inspection.

Keywords: highway bridge, bridge residual service life, bridge deck, finite element method, repair, transport structure, numerical modeling.

УДК 624.21

Борисевич М. О., <https://orcid.org/0000-0003-1391-4437>Волошко Ю. С., <https://orcid.org/0000-0001-6703-2718>Борисенко М. А., <https://orcid.org/0000-0001-97723536>

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

АНАЛІЗ АМЕРИКАНСЬКОГО ДОСВІДУ ЗАСТОСУВАННЯ МОРОЗОСТІЙКИХ ДОБАВОК В ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

Анотація

Вступ. У статті розглянуто досвід США щодо використання морозостійких добавок у залізобетонних конструкціях транспортних споруд. Проаналізовано технології підвищення довговічності бетону в умовах циклічного заморожування та відтавання, наведено приклади застосування у мостах штатів Міннесота, Мічиган та Аляска. Представлено результати досліджень ефективності різних типів добавок та їхній вплив на експлуатаційні характеристики конструкцій. Визначено можливості адаптації американського досвіду в Україні.

Проблематика. Основною проблемою залізобетонних конструкцій транспортних споруд у холодних регіонах є їхня недостатня стійкість до циклів заморожування-відтавання. Вода, яка проникає у пори бетону, під час замерзання розширюється та створює внутрішні напруження, що призводить до утворення тріщин, відшарування поверхні та поступової втрати його міцності. У США ця проблема особливо актуальна для мостів і дорожніх покриттів у північних штатах, де кількість циклів заморожування-відтавання може перевищувати сто на рік. Розв'язанням зазначеної проблеми є застосування морозостійких добавок, які зменшують водопроникність бетону та підвищують його довговічність.

Матеріали й методи. Для підвищення морозостійкості бетону американські інженери використовують різні типи добавок: повітровтягувальні агенти, які формують мікропори; мінеральні добавки (зола-винесення, доменний шлак, мікрокремнезем), які ущільнюють структуру цементного каменю; а також сучасні наномодифіковані матеріали. Методи дослідження включають лабораторні випробування на цикли заморожування-відтавання, вимірювання водопроникності бетону, аналіз мікроструктури та довготривалі експлуатаційні спостереження на реальних транспортних спорудах.

Результати. Дослідження показали, що застосування повітровтягувальних добавок забезпечує морозостійкість бетону на рівні 300 – 400 циклів заморожування-відтавання. Використання мікрокремнезему дозволяє знизити водопроникність бетону на 40 – 45 %, що значно зменшує ризик утворення тріщин. Комплексні добавки (поєднання повітровтягувальних агентів із шлаковими матеріалами) демонструють найвищу ефективність — до 500 циклів без втрати міцності. Практичні приклади мостів у Міннесоті, Мічигані та Алясці підтверджують, що такі технології подовжують строк служби споруд на десятки років.

Висновки. Американський досвід доводить, що застосування морозостійких добавок є ключовим чинником у забезпеченні довговічності транспортних споруд у холодному кліматі. Використання різних типів добавок дозволяє адаптувати бетонні суміші до конкретних умов експлуатування, зменшити витрати на ремонт і підвищити надійність інфраструктури. Для України актуальним є впровадження подібних технологій із урахуванням місцевих ресурсів (зола-винесення, шлаки) та вдосконалення нормативної бази для контролю морозостійкості бетону.

Ключові слова: внутрішні напруження, водопроникність бетону, доменний шлак, залізобетонна конструкція, зола-винесення, міст, мікрокремнезем, морозостійкість, мінеральна добавка, наномодифіковані матеріали, транспортна споруда, тріщина.

Вступ

Довговічність транспортних споруд значною мірою визначається здатністю бетонних і залізобетонних конструкцій зберігати експлуатаційні властивості в умовах агресивного кліматичного впливу. У регіонах із сезонними переходами температур через нульову позначку одним із головних факторів деградації матеріалу є циклічне заморожування та відтавання. Повторне насичення бетону вологою з подальшим її замерзанням супроводжується об'ємним розширенням води, що спричиняє розвиток внутрішніх напружень у цементному камені, утворення мікрodefektів, руйнування поверхневого шару та поступову втрату несучої здатності конструкцій. У результаті скорочується міжремонтний період експлуатації споруд і зростають витрати на підтримання транспортної інфраструктури в працездатному стані.

Світова інженерна практика свідчить, що традиційне підвищення міцності бетону не забезпечує необхідної стійкості до морозного впливу. Сучасні підходи орієнтовані на проектування довговічності матеріалу шляхом керування його мікроструктурою, водопроникністю та поровою системою. У цьому контексті особливий інтерес становить досвід Сполучених Штатів Америки, де значна частина мостів, естакад і дорожніх покриттів експлуатується в умовах інтенсивних навантажень заморожування-відтавання, що в окремих регіонах перевищують сотню циклів на рік. Американські нормативні та технологічні підходи передбачають комплексне використання повітровтягувальних агентів, активних мінеральних компонентів і сучасних модифікаторів структури цементного каменю, спрямованих на зменшення водопроникності та підвищення стійкості бетону до внутрішніх напружень.

Попри значну кількість досліджень, присвячених морозостійкості бетону, питання системної адаптації зарубіжного досвіду до умов України залишається недостатньо опрацьованим. Існуючі підходи переважно зосереджені на досягненні нормативного показника морозостійкості, тоді як сучасна міжнародна практика базується на комплексному управлінні довговічністю конструкцій протягом усього життєвого циклу.

У зв'язку з цим метою даної роботи є аналіз американського досвіду застосування морозостійких добавок у залізобетонних конструкціях транспортних споруд, оцінювання ефективності різних типів модифікаторів бетону та визначення можливостей їх адаптації до кліматичних, технологічних і ресурсних умов України.

Наукова новизна дослідження полягає у систематизації сучасних підходів до забезпечення морозостійкості бетону з позицій проектування довговічності транспортної інфраструктури, а практичне значення у формуванні передумов впровадження технологій, спрямованих на підвищення експлуатаційної надійності українських транспортних споруд.

Основна частина

Теоретичні засади забезпечення морозостійкості бетону. Морозостійкість бетону характеризує його здатність зберігати фізико-механічні властивості під дією багаторазових циклів заморожування та відтавання в умовах водонасичення. Руйнування матеріалу внаслідок морозного впливу пов'язане з фазовими перетвореннями води в поровому просторі цементного каменю. Під час замерзання об'єм води збільшується приблизно на 9 %, що спричиняє розвиток локальних гідростатичних і кристалізаційних напружень.

За відсутності достатнього компенсаційного об'єму ці напруження перевищують міцність цементної матриці, що призводить до утворення мікротріщин, лущення поверхні та прогресуючої деградації конструкції (рис. 1).



Рисунок 1 — Механізм морозного руйнування бетону

Визначальним фактором морозостійкості є структура порового простору бетону, зокрема співвідношення капілярних і замкнених повітряних пор. Зниження водопроникності матеріалу та оптимізація розподілу вологи розглядаються як основні механізми підвищення довговічності бетону в холодному кліматі.

Ключову роль у формуванні стійкої структури відіграють повітровтягувальні добавки. Вони забезпечують утворення системи рівномірно розподілених замкнених мікропор, які виконують функцію резервного простору для розширення води під час замерзання. Ефективність такого механізму визначається не лише наявністю повітря, а й параметрами порової системи — їх розміром, відстанню між порами та стабільністю структури після укладання бетонної суміші. Надлишковий вміст повітря може призводити до зниження міцності, тоді як недостатній — не забезпечує необхідної компенсації внутрішніх напружень. Схематичний вплив повітровтягування на структуру бетону наведено на **рис. 2**.

Іншим напрямом підвищення морозостійкості є застосування активних мінеральних добавок, таких як зола-винесення, доменний гранулований шлак і мікрокремнезем. Ці матеріали беруть участь у пуцоланових реакціях, ущільнюючи цементний камінь і зменшуючи частку відкритих капілярних пор. Зменшення водопроникності обмежує доступ вологи до внутрішніх шарів бетону, що істотно знижує інтенсивність морозного руйнування. Поєднання повітровтягування з мінеральними компонентами формує синергетичний ефект, який забезпечує суттєве підвищення морозостійкості порівняно з використанням окремих добавок.

Сучасні дослідження спрямовані на застосування наномодифікованих матеріалів, здатних змінювати структуру цементного каменю на субмікронному рівні. Введення нанокремнезему або наноглин сприяє формуванню більш щільної матриці, зменшенню кількості дефектних зон і підвищенню опору проникненню води. Такий підхід розглядається як перспективний напрям забезпечення довговічності бетонів, які працюють у складних кліматичних та експлуатаційних умовах.

Отже, теоретична концепція морозостійкості сучасного бетону базується на керуванні його мікроструктурою, водопроникністю та здатністю компенсувати внутрішні напруження, які виникають під час циклічних температурних впливів.

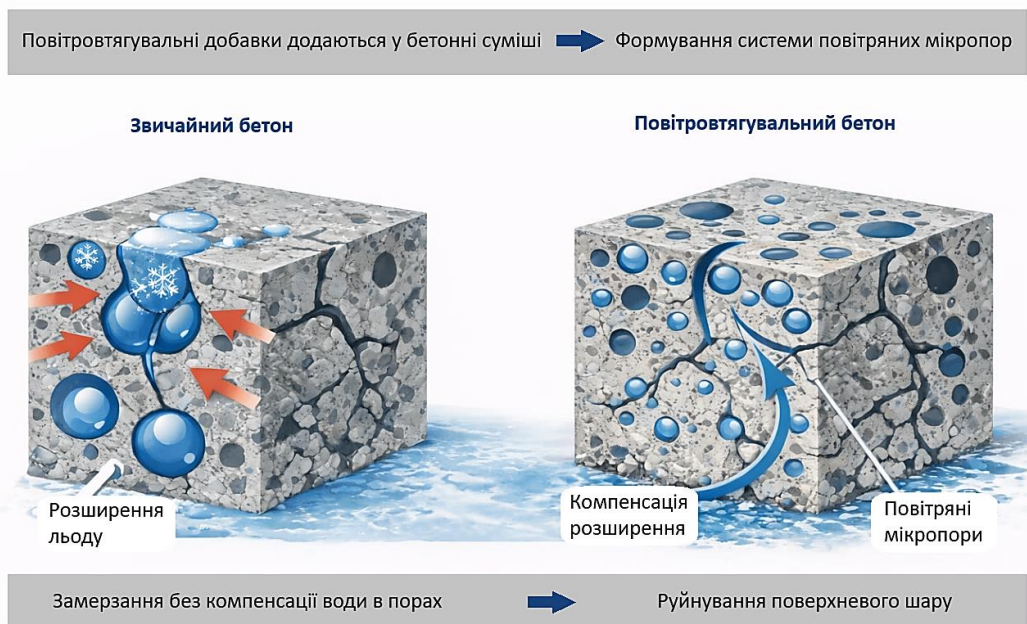


Рисунок 2 — Вплив повітровтягувальних добавок на бетон

Практичний досвід застосування морозостійких добавок у США. Тривалий досвід експлуатації транспортної інфраструктури Сполучених Штатів сформував комплексний підхід до забезпечення довговічності бетонних конструкцій у холодному кліматі. Значна частина мостів і транспортних споруд функціонує в умовах інтенсивних циклів заморожування-відтавання, що обумовило розвиток технологій керування мікроструктурою бетону.

У штаті Міннесота, де клімат характеризується тривалими зимовими періодами та активним застосуванням протижеледних реагентів, морозостійкість бетону стала одним із ключових критеріїв проєктування мостів. Під час реконструкції мосту I-35W у Мінеаполісі було застосовано бетон із контрольованим повітряним вмістом і зниженим водоцементним співвідношенням, що забезпечило високу стійкість захисного шару до лущення. Аналогічні підходи використали при модернізації мостових переходів через річку Міссісіпі, де довготривалі спостереження показали зменшення інтенсивності поверхневих пошкоджень у порівнянні з традиційними бетонними сумішами.

Додатковим прикладом є дорожні естакади автомагістралі Interstate 94, на яких застосування повітровтягувальних агентів у поєднанні зі шлакопортландцементом дозволило значно підвищити опір бетону до циклічного насичення вологою та температурних коливань.

У штаті Мічиган, розташованому в зоні впливу Великих озер, основним фактором руйнування бетону є поєднання високої вологості та багаторазових переходів температури через нуль. Під час реконструкції мостів регіону Great Lakes Basin активно застосовувалися суміші з мікрокремнеземом і золою-виношення. Результати експлуатаційного моніторингу показали істотне зменшення проникнення хлоридів і підвищення стійкості захисного шару арматури.

На окремих ділянках автомагістралі US-23 використання комплексних добавок дозволило мінімізувати розвиток тріщин усадки та знизити втрати маси поверхні бетону після багаторічної експлуатації в умовах впливу солей.

Особливі умови експлуатації характерні для штату Аляска, де транспортні споруди працюють за низьких температур, високої вологості та значних сезонних деформацій ґрунтів. Показовим прикладом є тунель Антон Андерсон, у якому застосовано бетон із комбінованими добавками, які забезпечують одночасно морозостійкість і знижену водопроникність. Додаткові дослідження показали стабільність властивостей бетону навіть у зонах періодичного замерзання талих вод.

Подібні технології застосовувалися і на мостових переходах поблизу Анкориджа, де використання мінеральних добавок дозволило зменшити ризик поверхневого руйнування конструкцій, спричиненого чергуванням відлиг і різких похолодань.

Сучасні дослідницькі програми в зазначених штатах також спрямовані на впровадження наномодифікованих бетонів, які демонструють підвищену стійкість до проникнення вологи та агресивної дії протижелезних реагентів. Поєднання традиційних повітровтягувальних технологій із наномодифікацією цементного каменю формує новий етап розвитку морозостійких бетонів для транспортної інфраструктури.

Таким чином, досвід Міннесоти, Мічигану та Аляски підтверджує, що ефективність морозостійких технологій визначається комплексним підходом, який включає оптимізацію складу бетону, контроль порової структури та врахування реальних умов експлуатації споруд.

Таблиця 1

Ефективність морозостійких добавок у США

Тип добавки	Основний механізм дії	Підвищення морозостійкості (цикли заморожування-відтавання)	Зниження водопроникності, %	Типові об'єкти застосування	Приклади застосування
Повітровтягувальні агенти	Формування замкнених мікропор, компенсація розширення льоду	300–400	15–20	Мости, естакади, дорожні покриття	Міннесота
Зола-винесення	Пуцоланова реакція, ущільнення цементного каменю	250–350	25–30	Автомагістралі, мостові плити	Мічиган
Доменний гранульований шлак	Зменшення капілярної пористості, підвищення щільності	300–400	30–40	Масивні мостові конструкції	Міннесота, Мічиган
Мікрокремнезем	Ущільнення мікроструктури, зниження водопроникності	350–450	40–45	Зони дії реагентів, мостові настили	Мічиган
Комплексні добавки	Синергетичний ефект: контроль порової структури та водопроникності	400–500	50–55	Тунелі, стратегічні транспортні об'єкти	Аляска
Наномодифіковані добавки	Модифікація структури цементного каменю на нанорівні	>500	55–65	Високо-навантажені інфраструктурні споруди	Аляска

Переваги та обмеження застосування морозостійких добавок. Практичні результати свідчать, що використання морозостійких добавок істотно підвищує довговічність залізобетонних конструкцій і зменшує потребу у частих ремонтних роботах. Оптимізація порової структури дозволяє бетону витримувати значну кількість температурних циклів без суттєвого зниження міцності, що забезпечує економічний ефект завдяки зменшенню експлуатаційних витрат.

Додатковою перевагою є екологічний аспект застосування мінеральних добавок. Використання золи-винесення та металургійних шлаків сприяє утилізації промислових відходів і зменшенню вуглецевого сліду будівельної галузі.

Разом із тим ефективність технологій значною мірою залежить від дотримання технологічної дисципліни. Неправильне дозування добавок, порушення режимів ущільнення або транспортування бетонної суміші можуть призвести до втрати сформованої порової структури та зниження морозостійкості. Суттєвим стримувальним фактором залишається також висока вартість наномодифікованих матеріалів.

Важливим викликом є необхідність адаптації технологій до конкретних кліматичних умов, оскільки результати, отримані в північних штатах США, не завжди можуть бути безпосередньо перенесені в інші регіони без коригування складу бетонної суміші та методів контролю.

Перспективи адаптації американського досвіду в Україні. Кліматичні умови України характеризуються значною кількістю переходів температури через нуль, що обумовлює актуальність підвищення морозостійкості бетонних конструкцій транспортної інфраструктури. У цьому контексті адаптація американського досвіду є перспективним напрямом модернізації галузі. Концептуальну модель адаптації технологій показано на **рис. 3**.



Рисунок 3 — Адаптація досвіду США в Україні

Одним із ключових резервів є використання доступних вітчизняних мінеральних ресурсів — золи-винесення теплових електростанцій і доменних шлаків металургійних підприємств. Їх застосування дозволяє підвищити щільність цементного каменю та одночасно вирішити екологічні проблеми утилізації промислових відходів.

Необхідною умовою впровадження сучасних технологій є покращення нормативної бази, орієнтованої на показник морозостійкості, контроль водопроникності бетону, параметрів повітряної структури та довговічності конструкцій упродовж життєвого циклу.

Перспективним напрямом також є впровадження наномодифікованих матеріалів у стратегічних об'єктах транспортної інфраструктури — мостах, тунелях та аеродромних покриттях. Водночас ефективна адаптація технологій потребує підготовки інженерних кадрів і поширення сучасних методів контролю якості бетонних сумішей.

Таким чином, інтеграція американських технологічних підходів із використанням місцевих матеріальних ресурсів створює передумови для суттєвого підвищення довговічності та надійності транспортних споруд України.

Висновки

Дослідження практики застосування морозостійких модифікаторів бетону у транспортному будівництві США свідчить про їхню ключову роль у забезпеченні довготривалої експлуатаційної надійності інфраструктурних об'єктів у регіонах із інтенсивними циклами заморожування та відтавання. Комплексне використання повітровтягувальних агентів, активних мінеральних компонентів і наномодифікаторів дозволяє цілеспрямовано керувати мікроструктурою цементного каменю, зменшувати водопроникність і знижувати рівень внутрішніх напружень, які виникають під час фазових переходів води. Реалізовані проекти мостів і тунелів у штатах Міннесота, Мічиган та Аляска демонструють стабільність експлуатаційних характеристик конструкцій протягом тривалих періодів без суттєвого розвитку деградаційних процесів.

Окрім технічних переваг, застосування морозостійких добавок формує відчутний економічний ефект. Подовження міжремонтних інтервалів і зниження потреби у відновлювальних роботах сприяють оптимізації витрат на експлуатацію транспортних мереж. Особливого значення це набуває для держав із розгалуженою дорожньо-мостовою інфраструктурою, де фінансування ремонтних програм є обмеженим. Додатковим позитивним аспектом виступає залучення промислових побічних продуктів — золи-винесення та металургійних шлаків, які одночасно підвищують експлуатаційні властивості бетону та відповідають принципам ресурсоефективності й циркулярної економіки.

Разом із перевагами впровадження таких технологій пов'язане з низкою інженерних та організаційних викликів. Вартість високотехнологічних модифікаторів, підвищені вимоги до технологічної дисципліни виробництва бетонних сумішей і необхідність адаптації складів до локальних кліматичних та експлуатаційних умов потребують системного підходу. Американська практика підтверджує, що максимальна ефективність морозостійких технологій досягається лише за поєднання нормативного регулювання, лабораторного контролю та належної підготовки інженерно-технічного персоналу.

Для України інтеграція зазначених підходів створює значний потенціал підвищення довговічності транспортних споруд. Використання доступної сировинної бази, гармонізація національних стандартів із міжнародними вимогами та впровадження сучасних матеріалознавчих рішень здатні забезпечити перехід до більш ефективної моделі експлуатації інфраструктури. У перспективі це сприятиме модернізації будівельної галузі, підвищенню надійності стратегічних об'єктів та формуванню інноваційно орієнтованої системи інженерного забезпечення транспортного комплексу України.

Список літератури

1. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Київ, 2011. 65 с.
2. ДСТУ CEN/TS 12390-9:2019 Випробування затверділого бетону. Частина 9. Стійкість до замерзання-відтавання за допомогою антиобліднювальних солей (CEN/TS 12390-9:2016, IDT).
3. Abbas M. M., Muntean R. The Effectiveness of Different Additives on Concrete's Freeze – Thaw Durability: A Review. *Materials*, 2025, 18(5), 978. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma18050978>.
4. Liu D., Tu Y., Shi P., Sas G., Elfgren L. Mechanical and durability properties of concrete subjected to early-age freeze–thaw cycles. *Materials and Structures*, 2021, Vol. 54, Article 211. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11527-021-01711-9>.
5. Obla K.H., Kim H., Lobo C.L. Criteria for Freeze–Thaw Resistant Concrete Mixtures. *Advances in Civil Engineering Materials*, Vol. 5, No. 2, 2016, P. 119–141. DOI: <https://doi.org/10.1520/ACEM20150005>.
6. American Concrete Institute (ACI). Guide to Durable Concrete. ACI Committee 201, Publication PRC-201.2-23, 2023. ISBN: 978-1-64195-218-7.
7. U.S. Federal Highway Administration (FHWA). Freeze–Thaw Resistance of Concrete With Marginal Air Content. FHWA-HRT-06-117, Washington, D.C., 2006.

8. Zhang Q., Li C., Li G., Chen D., Wu X., Wang Y., Mao Y., Zhang K. The Effect of Modification with Nano-Alumina, Nano-Silica, and Polypropylene Fiber on the Frost Resistance of Concrete. *Buildings*, 2025, Vol. 15(21), Article 4002. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings15214002>.
9. Mahmood R.A., Kockal N.U. Nanoparticles used as an ingredient in different types of concrete: A review. *SN Applied Sciences*, 2021, Vol. 3, Article 529. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04529-3>.
10. Wang L., Huang Y., Zhao F., Huo T., Chen E., Tang S. Comparison between the Influence of Finely Ground Phosphorous Slag and Fly Ash on Frost Resistance, Pore Structures and Fractal Features of Hydraulic Concrete. *Fractal and Fractional*, 2022, Vol. 6(10), Article 598. DOI: <https://doi.org/10.3390/fractalfract6100598>.
11. Rodrigue A., Duchesne J., Fournier B., Bissonnette B. Frost Resistance of Alkali-Activated Combined Slag and Fly Ash Concrete Cured at Ambient Temperature. *ACI Materials Journal*, 2022, Vol. 119(3), P. 3–13. DOI: <https://doi.org/10.14359/51734600>.
12. Ma Q., Duan Z., Wang J., Yin G., Li X. Frost resistance and improvement techniques of recycled concrete: a comprehensive review. *Frontiers in Materials*, 2024, Vol. 11. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmats.2024.1493191>.

References

1. DBN V.2.6-98:2009 *Betoni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia* (DBN V.2.6-98:2009 Concrete and reinforced concrete structures. Basic principles)/ Kyiv, 2011. 65 p. (informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
2. DSTU CEN/TS 12390-9:2019 *Vyprovuvannia zatverdilohto betonu. Chastyna 9. Stiikist do zamerzannia-vidtavannia za dopomohoiu antyoblidniuvalnykh solei* (DSTU CEN/TS 12390-9:2019 Testing hardened concrete. Part 9. Freezing-proofing concrete with the help of anti-scaling salts) (CEN/TS 12390-9:2016, IDT) (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
3. Abbas M.M., Muntean R. The Effectiveness of Different Additives on Concrete's Freeze–Thaw Durability: A Review. *Materials*, 2025, 18(5), 978. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma18050978> [in English].
4. Liu D., Tu Y., Shi P., Sas G., Elfgren L. Mechanical and durability properties of concrete subjected to early-age freeze–thaw cycles. *Materials and Structures*, 2021, Vol. 54, Article 211 DOI: <https://doi.org/10.1007/s11527-021-01711-9> [in English].
5. Obla K.H., Kim H., Lobo C.L. Criteria for Freeze–Thaw Resistant Concrete Mixtures. *Advances in Civil Engineering Materials*, Vol. 5, No. 2, 2016, P. 119–141. DOI: <https://doi.org/10.1520/ACEM20150005> [in English].
6. American Concrete Institute (ACI). *Guide to Durable Concrete*. ACI Committee 201, Publication PRC-201.2-23, 2023. ISBN: 978-1-64195-218-7 [in English].
7. U.S. Federal Highway Administration (FHWA). *Freeze–Thaw Resistance of Concrete With Marginal Air Content*. FHWA-HRT-06-117, Washington, D.C., 2006 [in English].
8. Zhang Q., Li C., Li G., Chen D., Wu X., Wang Y., Mao Y., Zhang K. The Effect of Modification with Nano-Alumina, Nano-Silica, and Polypropylene Fiber on the Frost Resistance of Concrete. *Buildings*, 2025, Vol. 15(21), Article 4002. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings15214002> [in English].
9. Mahmood R.A., Kockal N.U. Nanoparticles used as an ingredient in different types of concrete: A review. *SN Applied Sciences*, 2021, Vol. 3, Article 529. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04529-3> [in English].
10. Wang L., Huang Y., Zhao F., Huo T., Chen E., Tang S. Comparison between the Influence of Finely Ground Phosphorous Slag and Fly Ash on Frost Resistance, Pore Structures and Fractal Features of Hydraulic Concrete. *Fractal and Fractional*, 2022, Vol. 6(10), Article 598. DOI: <https://doi.org/10.3390/fractalfract6100598> [in English].
11. Rodrigue A., Duchesne J., Fournier B., Bissonnette B. Frost Resistance of Alkali-Activated Combined Slag and Fly Ash Concrete Cured at Ambient Temperature. *ACI Materials Journal*, 2022, Vol. 119(3), P. 3–13. DOI: <https://doi.org/10.14359/51734600> [in English].

12. Ma Q., Duan Z., Wang J., Yin G., Li X. Frost resistance and improvement techniques of recycled concrete: a comprehensive review. *Frontiers in Materials*, 2024, Vol. 11. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmats.2024.1493191> [in English].

Maksym Borysevych, <https://orcid.org/0000-0003-1391-4437>

Yuriy Voloshko, <https://orcid.org/0000-0001-6703-2718>

Maksym Borysenko, <https://orcid.org/0000-0001-9772-3536>

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

ANALYSIS OF AMERICAN EXPERIENCE IN THE USE OF FROST-RESISTANT ADMIXTURES IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF TRANSPORT FACILITIES

Abstract

Introduction. The article examines the U.S. experience regarding the use of frost-resistant admixtures in reinforced concrete structures of transport facilities. Technologies for increasing concrete durability under cyclic freezing and thawing conditions are analyzed, with examples of applications in bridges in the states of Minnesota, Michigan, and Alaska. The results of studies on the effectiveness of various types of admixtures and their impact on the performance characteristics of structures are presented. Opportunities for adapting the American experience in Ukraine are identified.

Problem Statement. The main problem with reinforced concrete structures of transport facilities in cold regions is their insufficient resistance to freeze-thaw cycles. Water penetrating the concrete pores expands during freezing and creates internal stresses, leading to cracking, surface scaling, and gradual loss of strength. In the U.S., this issue is particularly relevant for bridges and road pavements in northern states, where the number of freeze-thaw cycles can exceed one hundred per year. The solution to this problem lies in the use of frost-resistant admixtures that reduce concrete permeability and increase its durability.

Materials and Methods. To increase the frost resistance of concrete, American engineers use various types of admixtures: air-entraining agents that form micropores; mineral admixtures (fly ash, ground granulated blast-furnace slag, silica fume) that densify the structure of the cement paste; and modern nano-modified materials. Research methods include laboratory testing for freeze-thaw cycles, measuring concrete permeability, microstructure analysis, and long-term operational observations of actual transport structures.

Results. Studies have shown that the use of air-entraining admixtures ensures concrete frost resistance at a level of 300 – 400 freeze-thaw cycles. The use of silica fume allows for a reduction in concrete permeability by 40 – 45 %, significantly decreasing the risk of cracking. Composite admixtures (a combination of air-entraining agents with slag materials) demonstrate the highest efficiency — up to 500 cycles without loss of strength. Practical examples of bridges in Minnesota, Michigan, and Alaska confirm that such technologies extend the service life of structures by decades.

Conclusions. The American experience proves that the use of frost-resistant admixtures is a key factor in ensuring the durability of transport structures in cold climates. The use of various types of admixtures allows for the adaptation of concrete mixes to specific operating conditions, reduces repair costs, and increases infrastructure reliability. For Ukraine, the implementation of similar technologies is relevant, taking into account local resources (fly ash, slag) and the improvement of the regulatory framework for controlling concrete frost resistance.

Keywords: internal stresses, concrete permeability, blast-furnace slag, reinforced concrete structure, fly ash, bridge, silica fume, frost resistance, mineral admixture, nano-modified materials, transport facility, crack.

УДК 624.21.072

Івоненко О. Ю., <https://orcid.org/0000-0003-4234-7419>Веретельніков О. С., <https://orcid.org/0009-0002-4757-0134>*Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»),
м. Київ, Україна*

ПРОБЛЕМАТИКА УТРИМАННЯ МОСТІВ З ПРОГОНОВИМИ БУДОВАМИ ВТП-21

Анотація

Вступ. На автомобільних дорогах України наявна значна кількість мостів, побудованих у минулому столітті за типовими проєктними рішеннями.

У межах цієї статті розглядаються поширеність мостів із плитами з поздовжніми пустотами на дорогах державного значення, розподіл за експлуатаційними станами, типові дефекти прогонових будов та їх причинно-наслідковий розвиток. Окремий акцент зроблено на групі дефектів, які за наявної практики експлуатації найчастіше призводять до прискореної деградації і переведення прогонової будови до 5 стану. Завершальна частина містить узагальнені рекомендації для замовників та організацій, які виконують експлуатаційне утримання мостів. Зокрема щодо пріоритету обстежень, моніторингу та першочергових заходів з експлуатаційного утримання.

Проблематика. У процесі тривалої експлуатації мостів, зведених за типовим проєктом ВТП-21, виявляються конструктивні та експлуатаційні недоліки, що призводять до зниження довговічності прогонових будов і мостових споруд у цілому.

Мета. Аналіз причин погіршення технічного стану мостових споруд з типовими прогоновими будовами та визначення ключових чинників експлуатаційної деградації.

Матеріали та методи. Для проведення аналізу використані результати інструментальних і візуальних обстежень мостів на автомобільних дорогах загального користування у різних областях України, база даних АЕСУМ, діючі на території України будівельні норми та нормативні документи.

Результати. Проведено аналіз отриманих результатів, зафіксовано характерні дефекти та надано рекомендації щодо забезпечення ефективної та безпечної експлуатації споруд.

Висновки. Отримані результати дозволяють розглядати деградацію прогонових будов ВТП-21 як єдиний експлуатаційний процес та визначити пріоритетні заходи з утримання цих мостових споруд.

Ключові слова: АЕСУМ, аналіз, дефект, експлуатаційний стан, експлуатаційне утримання, міст, обстеження, прогонова будова, типовий проєкт ВТП-21,

Вступ

Мостові споруди автомобільних доріг є відповідальними елементами транспортної інфраструктури, технічний стан яких безпосередньо впливає на безпеку руху, безперервність транспортних потоків та ефективність функціонування дорожньої мережі [1, 2]. Значна частина мостового фонду України була збудована у другій половині ХХ століття та нині експлуатується протягом тривалого часу, що супроводжується накопиченням пошкоджень і зниженням експлуатаційної придатності конструкцій [3–5].

Серед мостових споруд значного поширення отримали мости із збірними залізобетонними прогоновими будовами, виконаними за типовим проєктом ВТП-21. Простота конструктивних рішень, масовість виготовлення та можливість швидкого монтажу зумовили їх масове застосування на автомобільних дорогах загального користування та у транспортних розв'язках. У результаті

сьогодні в експлуатації перебуває значна кількість мостів цього типу, технічний стан яких формує вагому частину загальної проблематики утримання мостових споруд [5–7].

Згідно даних аналітичної експертної системи управління мостами (АЕСУМ) — кількість мостів у 5 непрацездатному стані зростає з кожним роком (табл. 1) [8, 9]. Сучасний стан мостових споруд в Україні оцінюється як незадовільний і одна з проблем полягає в тому, що погіршення стану мостів часто пов'язана не лише з віком конструкцій, а й з тривалою відсутністю системних заходів експлуатаційного утримання, коли гідроізоляція та покриття проїзної частини не оновлювалися десятиліттями, а деформаційні шви тривалий час залишалися нефункціональними. За таких умов навіть регламентовані процедури обстежень не забезпечують потрібного ефекту без впровадження комплексних програм утримання і своєчасних ремонтних заходів, спрямованих на стримування розвитку дефектів на ранніх стадіях [10–12].

Таблиця 1

*Динаміка розподілу мостів за експлуатаційними станами у 2017–2025 роках
(на підконтрольній території, дороги державного значення)*

Експлуатаційний стан	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
1	83	89	88	97	102	104	117	123	143
2	338	341	322	332	357	369	432	433	429
3	2 137	2 141	2 095	2 096	2 089	2 074	2 091	2 067	2 081
4	695	728	771	894	978	1045	1048	1124	1259
5	70	78	107	180	225	281	405	453	484
не визначено	2 013	1 968	1 916	1720	1599	1479	1273	1178	981
разом	5 336	5 345	5 299	5 319	5 350	5 352	5 366	5 378	5 377

Наведені статистичні дані підтверджують актуальність аналізу технічного стану типових прогонових будов, зокрема конструкцій ВТП-21. Слід зазначити, що зростання кількості мостових споруд, віднесених до 4 та 5 експлуатаційних станів, частково пов'язане з поступовим скороченням кількості необстежених мостів та проведенням первинних обстежень споруд, технічний стан яких тривалий час залишався невизначеним. У процесі актуалізації даних облікових систем частина таких мостів уперше була класифікована за експлуатаційними станами і відразу віднесена до категорій із незадовільним технічним станом [9, 12].

Метою роботи є встановлення закономірностей розвитку пошкоджень прогонових будов ВТП-21 та формування інженерних підходів до їх експлуатаційного утримання.

Основна частина

Загальні дані

Серед типових прогонових будов особливої уваги потребують транспортні споруди (рис. 1) з двопустотними плитами, які були широко впроваджені в Україні за типовими проектами, зокрема ВТП-21 (розробленим Проектним Інститутом «Укргіпродор») і нині не відтворюються у серійному виробництві [5, 6].

За останні 8 років було обстежено 2 084 мости, з яких 295 шт. — побудовані за типовим проектом ВТП-21, тобто 14 % [9].

Прогонова будова за типовим проектом ВТП-21 — це збірна залізобетонна конструкція, розрахована для мостів з малими та середніми прогонами [3, 5, 6].

Плити довжиною 6,00 м та висотою 0,30 м, 12,00 м та 0,60 м, 18,00 м та 0,75 м з поздовжніми пустотами циліндричної форми (рис. 2 і рис. 3), що забезпечують зменшення власної ваги та економію матеріалів. Армовані попередньо напруженою стрижневою арматурою. Спільна робота плит забезпечується шпонковим з'єднанням. Проектне навантаження Н-30, НК-80.



Рисунок 1 — Вид на фасад шляхопроводу, виконаного із збірних плит за типовим проектом ВТП-21

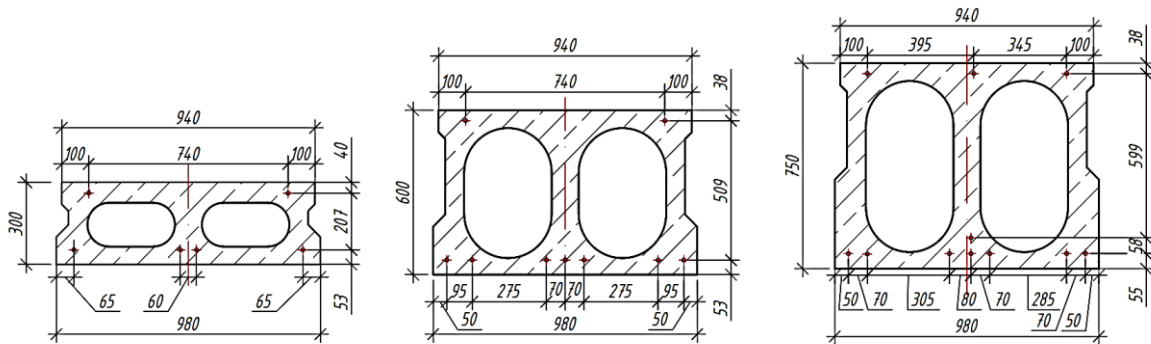


Рисунок 2 — Конструктивний переріз плит довжиною 6,00 м, 12,00 м та 18,00 м



Рисунок 3 — Загальний вид на переріз плит ВТП-21

Окремою особливістю застосування прогонових будов за типовим проектом ВТП-21 є їх широке використання під час реконструкції та поширення існуючих мостів [5, 7]. У період інтенсивного розвитку автомобільних доріг практикою мостобудування передбачалося збільшення габаритів проїзної частини без повної заміни споруди шляхом добудови додаткових плит уздовж існуючої прогонової будови. За матеріалами обстежень встановлено, що плити ВТП-21 застосовувалися для поширення мостів, виконаних за різними типовими проектами та конструктивними схемами, зокрема прогонових будов попередніх серій збірних залізобетонних балок, наприклад Випуск 56, ВТП-15 та ВТП-16 (рис. 4). Такий підхід дозволяв оперативно збільшити ширину проїзної частини та адаптувати споруди до зростання інтенсивності руху без значних капітальних витрат.



Рисунок 4 — Загальний вид на поширення старого сталезалізобетонного мосту плитами ВТП-21

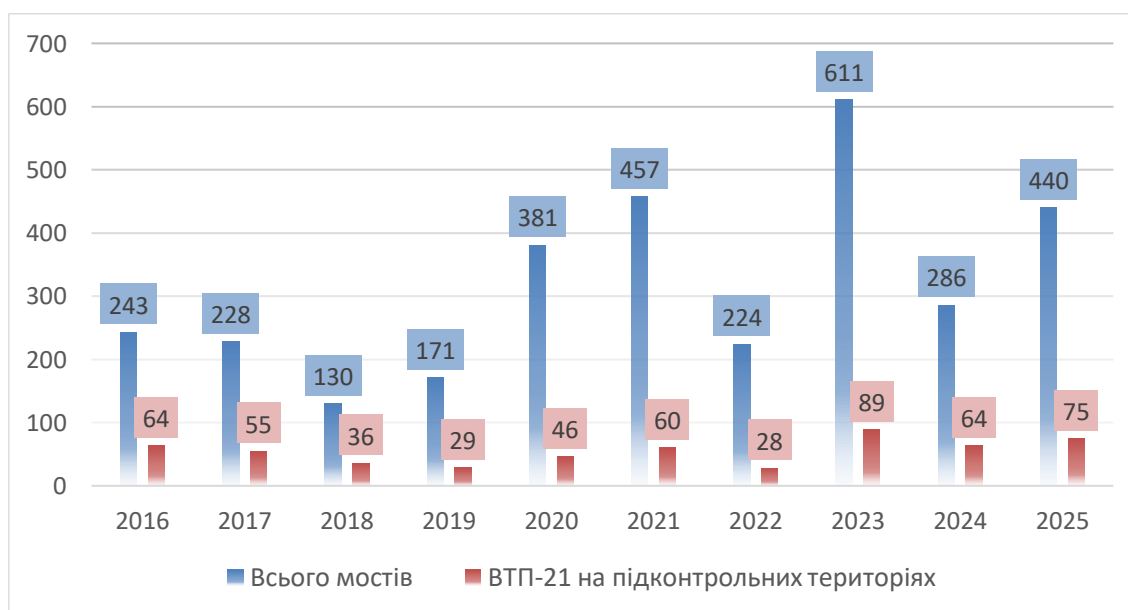


Рисунок 5 — Порівняння кількості обстежених мостів у період із 2006 по 2025 роки

Аналіз даних

На дорогах державного значення на підконтрольних територіях у період 2016–2025 років обстежено 546 мостів, виготовлених за типовим проєктом ВТП-21 [9, 12]. Загальний обсяг виконаних обстежень у порівнянні із загальною кількістю обстежених мостових споруд наведено на **рис. 5**.

Як видно із даних на **рис. 5**, прогонові будови за типовим проєктом ВТП-21 становлять стабільну частку серед обстежених споруд протягом усього періоду спостережень, що підтверджує їх значне поширення у мостовому фонді автомобільних доріг державного значення.

У межах статті проаналізовано матеріали обстежень мостів на автомобільних дорогах загального користування України [3, 13, 11]. Дані отримано з технічних звітів обстежень та інформаційної системи АЕСУМ. Загалом розглянуто вибірку споруд із прогоновими будовами ВТП-21, що охоплює різні регіони України та різні умови експлуатації. Розподіл мостів за експлуатаційними станами наведено у **табл. 2**.

Таблиця 2

Розподіл мостів та шляхопроводів за експлуатаційним станом з прогоновими будовами за типовим проєктом «ВТП-21» (по мостах, розташованих на підконтрольній території, дороги державного значення)

Область	Всього, шт.	Експлуатаційний стан				
		1	2	3	4	5
Вінницька область	16	1	1	7	5	2
Волинська область	7			6	1	
Дніпропетровська область	40		2	23	12	3
Донецька область	10	1		5	2	2
Житомирська область	45		4	32	9	
Закарпатська область	43		2	21	15	5
Запорізька область	14		6	3	4	1
Івано-Франківська область	37			31	6	
Київська область	69	1	18	35	8	7
Кіровоградська область	5			3	2	
Львівська область	31		4	17	9	1
Миколаївська область	8			6	2	
Одеська область	38	1		12	11	14
Рівненська область	14		1	7	3	3
Сумська область	37		2	29	3	3
Тернопільська область	37		8	16	12	1
Харківська область	55		10	26	10	9
Хмельницька область	16	1	2	6	6	1
Черкаська область	13		3	4	6	
Чернівецька область	14		1	10	3	
Чернігівська область	32		3	18	3	8
В С Ь О Г О:	581	5	67	317	132	60

Із наведених даних у **табл. 2** прогонові будови за типовим проєктом ВТП-21 представлені практично в усіх регіонах України, що підтверджує їх широке застосування у період масового мостобудування [11, 12]. При цьому розподіл споруд за експлуатаційними станами має подібний характер незалежно від регіону розташування. Переважна кількість мостів перебуває у 3 та 4 експлуатаційних станах, що відповідає стадії накопичення експлуатаційних пошкоджень та поступового зниження довговічності конструкцій. Узагальнення відсоткового співвідношення експлуатаційних станів мостів дозволяє оцінити структуру технічного стану досліджуваної вибірки в цілому, що подано на **рис. 6** і **табл. 3**.

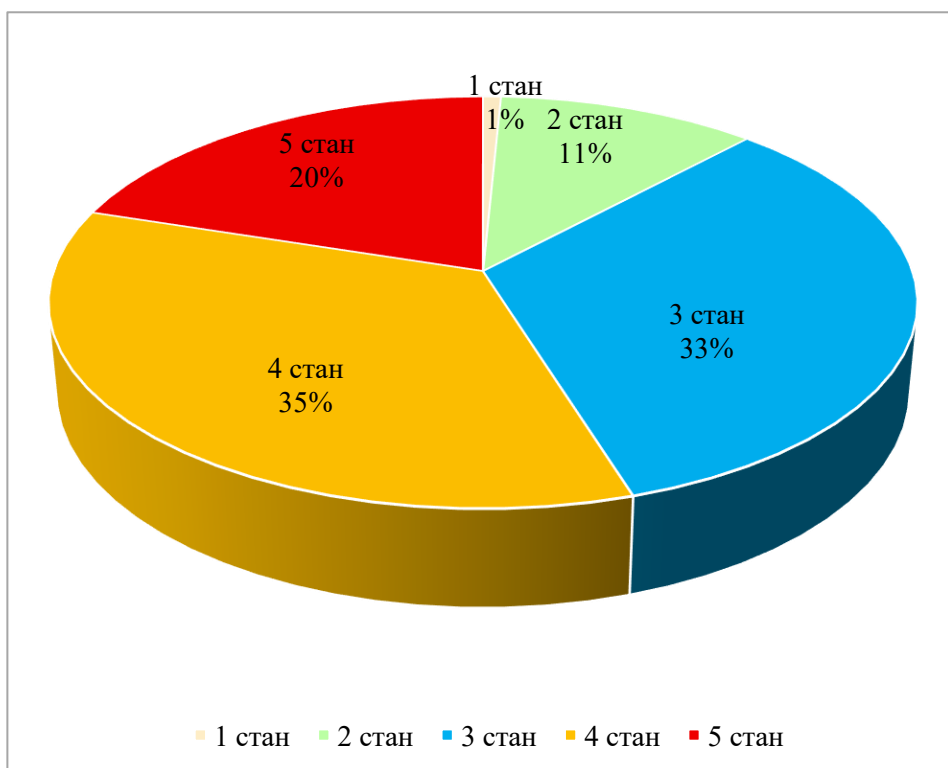


Рисунок 6 — Відсоткове співвідношення — експлуатаційний стан мостів на дорогах державного значення на підконтрольних територіях обстежених у період з 2018 року

Таблиця 3

Кількість споруд, виконаних за типовим проєктом ВТП-21 за експлуатаційними станами на дорогах державного значення на підконтрольних територіях обстежених у період з 2018 року

Всього мостів, шт.	Експлуатаційний стан				
	1	2	3	4	5
259	2	29	86	90	52

Переважна кількість мостів знаходяться у 3 та 4 експлуатаційних станах, що характеризує типовий експлуатаційний стан прогонових будов ВТП-21 на сучасному етапі їх використання та підтверджує необхідність системного виконання заходів експлуатаційного утримання [10, 13]. Водночас слід відзначити, що близько 20 % мостів перебувають у 5 експлуатаційному стані. Такий показник свідчить про наявність значної частки споруд, технічний стан яких характеризується

суттєвим зниженням експлуатаційної придатності та потребує виконання ремонтних або відновлювальних заходів.

Накопичення мостів у 5 стані є наслідком тривалої експлуатації конструкцій, проєктні рішення яких формувалися для інших транспортних умов, постійного впливу недостатнього фінансування на заходи з експлуатаційного утримання та вчасного проведення ремонтних заходів а також поступового розвитку дефектів, пов'язаних із замоканням елементів прогонових будов, порушенням роботи водозахисних елементів мостового полотна та природним старінням матеріалів [4].

Поширені дефекти та причини їх виникнення

Аналіз матеріалів натурних обстежень мостових споруд на автомобільних дорогах загального користування України показує, що при експлуатації прогонових будов, виконаних за типовим проєктом ВТП-21, систематично фіксуються дефекти, які мають спільне походження та подібний характер розвитку [13, 14]. Незалежно від регіону експлуатації та умов роботи споруд, пошкодження формуються під дією комплексу експлуатаційних і природно-кліматичних факторів.

Класифікацію за технічним станом характерних дефектів прогонових будов із попередньо напруженого залізобетону, за ДСТУ 9181 [13] наведено у **табл. 4**, а типові приклади їх проявів показано на **рис. 7 – 14**.

Таблиця 4

Класифікація дефектів прогонових будов з попередньо напруженого залізобетону

Технічний стан елемента	Перелік характерних дефектів прогонових будов ВТП-21	Ступінь зносу, %
3 — Працездатний	Окремі поздовжні або поперечні тріщини у розтягнутій зоні плит з розкриттям до 0,3 мм. Поодинокі похилі тріщини без ознак втрати несної здатності. Початкові пошкодження захисного шару бетону. Початкові прояви корозії арматури. Фільтрація води крізь плиту проїзної частини з локальним вилугуванням бетону та слідами замокання. Локальні порушення стиків між плитами. Ознаки порушення роботи гідроізоляції та водовідведення.	5–14
4 — Обмежено працездатний	Багаточисельні тріщини з розкриттям понад 0,3 мм. Інтенсивна корозія арматури з локальним зменшенням її перерізу. Відшарування захисного шару бетону на значній площі плит. Пошкодження бетону внаслідок вилугування та циклів заморожування-відтавання. Порушення поперечних зв'язків між плитами. Систематичне замокання елементів прогонової будови. Локальні деформації плит і нерівномірний розподіл навантаження.	15–33
5 — Непрацездатний	Силкові тріщини у стисненій та розтягнутій зонах плит. Наскрізні похилі тріщини в приопорних ділянках. Значна корозія напруженої арматури із втратою перерізу понад 30 %. Руйнування стиків між плитами та порушення їх спільної роботи. Випадіння фрагментів бетону нижньої поверхні плит. Нерівномірні прогини прогонової будови. Ознаки зниження несної здатності та необхідність обмеження руху.	≥34

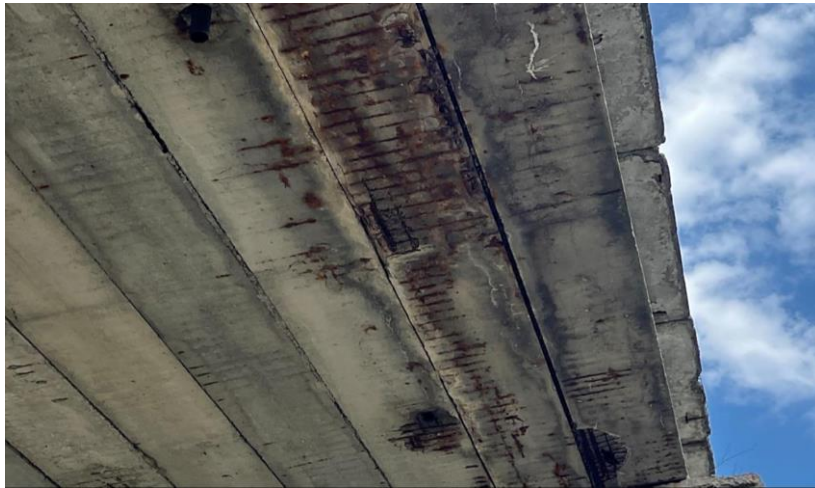


Рисунок 7 — Руйнування захисного шару бетону із оголенням та корозією арматури нижньої грані крайніх плит на значній площі. Замокання плит. Утворення проламів нижніх граней плит



Рисунок 8 — Поздовжні тріщини у місцях розташування пустот. Вилугування бетону у вигляді сталактитів



Рисунок 9 — Руйнування захисного шару бетону з оголенням та корозією арматури плити внаслідок її тривалого замokання



Рисунок 10 — Поздовжня тріщина на нижній грані плити



Рисунок 11 — Інтенсивне вилугування плит у вигляді сталактитів



Рисунок 12 — Замокання бетону плит та руйнування бетону з оголенням та корозією арматури



Рисунок 13 — Наскрізні руйнування бетону нижньої грані плити, оголення та корозія арматурного каркасу. Затікання води



Рисунок 14 — Відшарування захисного шару бетону внаслідок корозії арматури плити

Найбільш поширеними є дефекти, пов'язані з проникненням і фільтрацією води крізь конструкцію прогонової будови [4, 15]. За таких умов атмосферні опади та тала вода накопичуються на поверхні мостового полотна і поступово проникає у тіло плит. На нижніх поверхнях конструкцій це проявляється у вигляді зон зволоження, слідів протікань та локальних руйнувань бетону. Характерною ознакою тривалого замokання є вилугування бетону з утворенням сталактитів та висолів.

Зниження лужності цементного каменю призводить до втрати захисних властивостей бетонного середовища щодо сталевих арматур. Після досягнення карбонізації армування створюються умови для активізації корозійних процесів [4].

Тріщиноутворення є одним із найбільш характерних проявів погіршення стану плит ВТП-21 [6, 14]. У процесі обстежень фіксуються поздовжні тріщини в нижній розтягнутій зоні, тріщини вздовж стиків між плитами, а також тріщини вздовж арматури в приопорних ділянках. На початкових стадіях вони мають локальний характер, однак за умов постійного зволоження та циклічних температурних впливів поступово розкриваються й об'єднуються, що супроводжується

розвитком вторинних пошкоджень — сколів, відшарування захисного шару бетону та локальних руйнувань нижньої грані плит. Поєднання тріщин із порушеною водонепроникністю створює умови для сталої фільтрації води в тіло конструкції, що істотно прискорює процеси її деградації.

Подальший розвиток пошкоджень пов'язаний із корозією арматури [4, 15–17]. Проникнення вологи до арматури проявляється появою іржавих підтёків, локальним оголенням арматури та поступовим збільшенням площі пошкоджених ділянок. Зростання об'єму продуктів корозії викликає внутрішні напруження у бетоні, що спричиняє додаткове розкриття тріщин і відшарування захисного шару бетону. Згідно з класифікацією технічного стану, саме інтенсивність корозійних процесів визначає перехід прогонових будов із працездатного стану до обмежено працездатного та непрацездатного.

Особливе значення для збірних прогонових будов має збереження спільної роботи плит. Матеріали обстежень показують, що руйнування шпункових з'єднань призводить до порушення просторової роботи прогонової будови, нерівномірного розподілу навантаження між плитами та виникнення локальних перевантажень, що розвивається на фоні тривалого замокання конструкції та прискорює розвиток дефектів [5, 6].

Таким чином, результати натурних обстежень підтверджують, що пошкодження плит прогонових будов рідко виникають ізольовано. У більшості випадків вони формують взаємопов'язаний комплекс дефектів, розвиток якого визначається тривалістю впливу вологи на конструкцію [4, 13]. За таких умов окремі пошкодження слід розглядати як стадії єдиного процесу експлуатаційної деградації, що формує причинно-наслідковий механізм розвитку дефектів, що наведений на **рис. 15**.

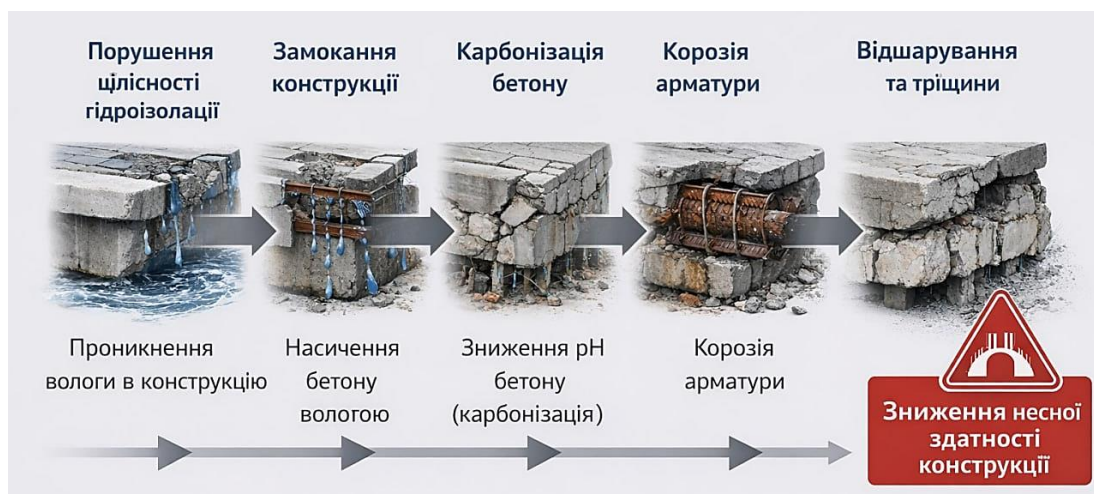


Рисунок 15 — Причинно-наслідковий ланцюг деградації плит ВТП-21

Завершальною ланкою причинно-наслідкового ланцюга є зниження жорсткості та несної здатності прогонової будови, що проявляється переходом споруди у 4–5 експлуатаційний стан та необхідністю введення експлуатаційних обмежень або виконання відновлювальних заходів.

Саме з урахуванням визначеного ланцюга деградації можуть бути сформовані пріоритетні підходи до експлуатаційного утримання та вибору першочергових заходів.

Експлуатаційні заходи для мостів з прогоновими будовами ВТП-21

Встановлений причинно-наслідковий ланцюг деградації прогонових будов ВТП-21 показує, що втрата несної здатності конструкцій визначається розвитком взаємопов'язаних процесів, ініційованих проникненням вологи у тіло плит [18, 4]. Тому експлуатаційне утримання мостів даного типу повинно базуватися на превентивному принципі — запобіганні замоканню елементів

конструкції та стримуванні розвитку корозійних процесів, тобто розрив деградаційного ланцюга на ранніх стадіях, коли конструкція ще зберігає розрахункову роботу.

Розрив цього ланцюга на ранній стадії дозволяє:

- продовжити строк служби на 10–20 років;
- зменшити витрати на капітальний ремонт;
- запобігти переходу споруди у 5 експлуатаційний стан.

Відповідно до вимог ДБН В.2.3-22 [18], гідроізоляція, деформаційні шви, дорожній одяг та система водовідведення мають суттєво менший регламентований строк служби порівняно з несними елементами мосту. Тому експлуатаційне утримання існуючих мостів повинно базуватися не на календарному віці споруди, а на циклічному відновленні цих елементів. Розрахунковий терміни строків експлуатації елементів комплексу мостового полотна наведено у **табл. 5**.

Таблиця 5

Розрахунковий строк експлуатації другорядних елементів моста

Ч.ч.	Другорядні елементи моста	Мінімальний розрахунковий строк експлуатації, роки
1	Дорожній одяг проїзної частини: — нежорсткий — жорсткий — для сталевих плит	Згідно з ДБН В.2.3-4 те саме 15
2	Гідроізоляція мостового полотна автодорожніх мостів	Не менше ніж для дорожнього одягу проїзної частини
3	Захист від корозії	15
4	Деформаційні шви: — закриті, заповнені, матові (з еластомерним компенсатором), щебенево-мастикові — перекриті ковзним сталевим листом — перекриті, з гребінчастими плитами, із стрічковим компенсатором, модульні	10 15 20
5	Сполучення моста з насипом	20
6	Система відведення води	20

Підтримання водонепроникності мостового полотна досягається своєчасним оновленням гідроізоляції, контролем стану деформаційних швів та забезпеченням ефективного водовідведення. Ліквідація застійних зон води істотно зменшує інтенсивність замокання конструкції [4, 5].

Поздовжні тріщини у зонах пустот є типовими для плит ВТП-21 та виступають основним шляхом проникнення вологи. Тріщини з розкриттям до 0,3 мм — герметизують, а при більших значеннях виконують ін'єктування ремонтними сумішами [6, 13]. Своєчасна усунення тріщин дозволяє запобігти розвитку корозійних процесів.

Усунення осередків корозії арматури передбачає видалення пошкодженого бетону, очищення та антикорозійну обробку арматури з подальшим відновленням захисного шару [6, 15]. При втраті перерізу арматури понад 30 % застосовують підсилення елементів, відновлення проєктних розмірів полімерним розчином.

Відновлення шпонкового з'єднання є умовою забезпечення жорсткості конструкції.

Враховуючи, що проєктне навантаження Н-30, НК-80 не відповідає сучасним нормам, під час виконання ремонтних заходів доцільно розглянути влаштування монолітної плити за температурно-нерозрізною схемою для зменшення кількості деформаційних швів та захисту поздовжніх стиків від замокання [5, 18].

Висновки

Аналіз матеріалів натурних обстежень мостових споруд із плитними прогоновими будовами, виконаними за типовим проєктом ВТП-21, показав високу повторюваність характеру пошкоджень незалежно від конструктивної схеми, довжини споруди та умов експлуатації, що свідчить про системний характер деградації таких конструкцій [10 – 12].

Встановлено, що розвиток більшості дефектів пов'язаний не з початковою недостатністю несних елементів, а з поступовою втратою експлуатаційної придатності елементів мостового полотна, насамперед гідроізоляції, деформаційних швів і систем водовідведення, що призводить до проникнення вологи в конструкцію прогонової будови [4].

Узагальнення результатів обстежень дозволило сформулювати типовий причинно-наслідковий ланцюг деградації прогонових будов за проєктом ВТП-21: порушення гідроізоляції → замокання конструкції → карбонізація бетону → корозія арматури → відшарування захисного шару → зниження несної здатності [4, 13].

Пошкодження у більшості споруд даного типу розвиваються за подібним сценарієм.

Показано, що довговічність прогонових будов суттєво залежить від технічного стану елементів мостового полотна, строк служби яких значно менший порівняно з ресурсом несної системи та потребує їх періодичного відновлення протягом експлуатації споруди [4, 5, 18].

Підтримання водонепроникності мостового полотна, стабілізація тріщиноутворення та забезпечення спільної роботи плит є ключовими умовами забезпечення працездатності прогонових будов, тоді як розвиток корозії арматури відповідає критичній стадії деградації конструкції.

Експлуатаційне утримання доцільно орієнтувати на переривання деградаційного ланцюга на ранніх стадіях шляхом системного моніторингу технічного стану, своєчасного відновлення елементів мостового полотна та локалізації корозійних пошкоджень [10, 13].

Застосування превентивного підходу до утримання дозволяє стабілізувати технічний стан існуючих мостів із прогоновими будовами ВТП-21, подовжити строк їх служби та зменшити потребу у виконанні капітальних ремонтів або реконструкції.

Відповідно до ДБН В.2.3-22:2025 [18] розрахунковий строк служби мостів із залізобетонними збірно-монолітними прогоновими будовами становить 80 років, тоді як розрахунковий строк експлуатації елементів мостового полотна, зокрема гідроізоляції, не перевищує 15 років. Це підтверджує визначальну роль своєчасного відновлення елементів мостового полотна для забезпечення довговічності мостових споруд даного типу.

Список літератури

1. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Київ, 2018.
2. ДСТУ 8814:2018 Транспортні споруди. Мости автодорожні. Терміни та визначення понять.
3. ДБН В.2.3-6:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування. Київ, 2009.
4. Страхова Н. Технічна експлуатація мостових споруд. Київ: Транспорт, 2015. 320 с.
5. Мости і споруди на автомобільних дорогах. Частина 1. Київ: НТУ, 2012. 412 с.
6. СОУ 45.2-00018112-051:2011. Споруди транспорту. Контроль якості матеріалів і конструкцій залізобетонних мостів. Київ, 2011.
7. Мости і споруди на автомобільних дорогах. Частина 2. Київ, 2013. 398 с.
8. Боднар Л. П., Панібратець Л. Г., Завгородній С. С., Борисенко М. А. Досвід впровадження аналітичної експертної системи управління мостами. *Дороги і мости*. 2018. Вип. 18. С. 54–69. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2018.18.054> (дата звернення 09.02.2026).
9. Безуглий О., Каськів В., Завгородній А. Система управління експлуатаційним станом мостів на основі даних АЕСУМ. *Дороги і мости*. 2020. Вип. 21. С. 180–193.

10. Боднар Л.П., Коваль П.М., Степанов С.М. Обстеження мостів та вдосконалення критеріїв планів з обстежень. *Дороги і мости*. 2017. Вип. 17. С. 42–53. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2017.17.042> (дата звернення 09.02.2026).
11. Борисенко Д., Завгородній А., Кислюк О. Оцінювання технічного стану мостів за результатами натурних обстежень. *Дороги і мости*. 2019. Вип. 19. С. 168–176.
12. Редченко О., Завгородній А. Аналіз експлуатаційного стану автодорожніх мостів України. *Дороги і мости*. 2021. Вип. 23. С. 293–306.
13. ДСТУ 9181:2022. Настанова з оцінювання та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ, 2022.
14. ДСТУ 8908:2019. Автодорожні мости. Класифікація дефектів. Київ, 2019.
15. Bridge Inspection Manual. Federal Highway Administration. Washington DC, 2019.
16. Adigun A. The Need for Non-Destructive Tests on Concrete. 2021. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/need-non-destructive-tests-concrete-adigun-akeem> (дата звернення: 08.02.2024).
17. Mishra G. Non-Destructive Tests on Concrete – Methods and Applications. URL: <https://theconstructor.org/practical-guide/non-destructive-testing-of-concrete/5553/> (дата звернення: 08.02.2024).
18. ДБН В.2.3-22:2025 Мости і труби. Основні вимоги проектування. Київ, 2025.
19. ДСТУ 9214:2023. Автомобільні дороги. Терміни та визначення понять. Київ, 2023.

References

1. DBN V.1.2-14:2018. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnikh ob'ektiv. Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud [System of reliability and safety of construction objects. General principles of structural safety]. Kyiv, 2018. [in Ukrainian].
2. DSTU 8814:2018. Transportni sporudy. Mosty avtodorozhni. Terminy ta vyznachennia poniat [Transport structures. Highway bridges. Terms and definitions]. Kyiv, 2018. [in Ukrainian].
3. DBN V.2.3-6:2009. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennia i vyprobuvannia [Transport structures. Bridges and culverts. Inspection and testing]. Kyiv, 2009. [in Ukrainian].
4. Strakhova N. Tekhnichna ekspluatatsiia mostovykh sporud [Technical operation of bridge structures]. Kyiv: Transport, 2015. 320 p. [in Ukrainian].
5. Mosty i sporudy na avtomobilnykh dorohakh. Chastyna 1 [Bridges and structures on highways. Part 1]. Kyiv: NTU, 2012. 412 p. [in Ukrainian].
6. SOU 45.2-00018112-051:2011. Sporudy transportu. Kontrol yakosti materialiv i konstruktsii zalizobetonnykh mostiv [Transport structures. Quality control of materials and reinforced concrete bridge structures]. Kyiv, 2011. [in Ukrainian].
7. Mosty i sporudy na avtomobilnykh dorohakh. Chastyna 2 [Bridges and structures on highways. Part 2]. Kyiv, 2013. 398 p. [in Ukrainian].
8. Bodnar L.P., Panibratets L.H., Zavhorodnii S.S., Borysenko M.A. Dosvid vprovadzhennia analitychnoi ekspertnoi systemy upravlinnia mostamy [Experience of implementation of analytical bridge management system]. *Dorogi i mosti*. 2018. Issue 18. P. 54–69. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2018.18.054> [in Ukrainian].
9. Bezuhlyi O., Kaskiv V., Zavhorodnii S.S. Systema upravlinnia ekspluatatsiinym stanom mostiv na osnovi danykh AESUM [Bridge management system based on AESUM data]. *Dorogi i mosti*. 2020. Issue 21. P. 180–193 [in Ukrainian].
10. Bodnar L.P., Koval P.M., Stepanov S.M. Obstezhennia mostiv ta vdoskonalennia kryteriiv planiv z obstezhen [Bridge inspection and improvement of inspection planning criteria]. *Dorogi i mosti*. 2017. Issue 17. P. 42–53. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2017.17.042> [in Ukrainian].
11. Borysenko D., Zavhorodnii S.S., Kysliuk O. Otsiniuvannia tekhnichnoho stanu mostiv za rezultatamy naturnykh obstezhen [Assessment of bridge technical condition based on field inspections]. *Dorogi i mosti*. 2019. Issue 19. P. 168–176 [in Ukrainian].

12. Redchenko O., Zavhorodnii A. Analiz ekspluatatsiinoho stanu avtodorozhnikh mostiv Ukrainy [Analysis of operational condition of highway bridges in Ukraine]. *Dorogi i mosti*. 2021. Issue 23. P. 293–306 [in Ukrainian].
 13. DSTU 9181:2022. Nastanova z otsiniuvannia ta prohnozuvannia tekhnichnoho stanu avtodorozhnikh mostiv [Guideline for assessment and forecasting of highway bridge condition]. Kyiv, 2022 [in Ukrainian].
 14. DSTU 8908:2019. Avtodorozhni mosty. Kласифікація дефектів [Highway bridges. Classification of defects]. Kyiv, 2019 [in Ukrainian].
 15. Bridge Inspection Manual. Federal Highway Administration. Washington DC, 2019.
 16. Adigun A. The Need for Non-Destructive Tests on Concrete. 2021. Available at: URL: <https://www.linkedin.com/pulse/need-non-destructive-tests-concrete-adigun-akeem> (accessed 08 February 2024) [in English].
 17. Mishra G. Non-Destructive Tests on Concrete – Methods and Applications. Available at: URL: <https://theconstructor.org/practical-guide/non-destructive-testing-of-concrete/5553/> (accessed 08 February 2024) [in English].
 18. DBN V.2.3-22:2025. Mosty i truby. Osnovni vymohy proiektuvannia [Bridges and culverts. Basic design requirements]. Kyiv, 2025 [in Ukrainian].
 19. DSTU 9214:2023. Avtomobilni dorohy. Terminy ta vyznachennia poniat [Highways. Terms and definitions]. Kyiv, 2023 [in Ukrainian].
-

Olena Ivonenko, <https://orcid.org/0000-0003-4234-7419>

Oleh Veretelnikov, <https://orcid.org/0009-0002-4757-0134>

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

PROBLEMS OF MAINTENANCE OF BRIDGE STRUCTURES WITH SPAN STRUCTURES VTP-21

Abstract

Introduction. The article considers the fundamental problem of ensuring the durability of highway bridges under aggressive chloride action. The operational reliability of transport structures is largely determined by the condition of reinforced concrete structures exposed to de-icing agents and cyclic wetting.

Problem Statement. Chloride-induced corrosion of reinforcement is one of the most dangerous degradation factors, leading to a loss of load-bearing capacity and premature failure of bridges. The existing regulatory framework of Ukraine only partially accounts for these processes, necessitating harmonization with international standards.

Objective. Analysis of the causes of deterioration of the technical condition of bridge structures with typical span structures and identification of key factors of operational degradation.

Materials and Methods. The analysis uses the results of instrumental and visual inspections of bridges on public roads in different regions of Ukraine, the AESUM database, and state standards and regulatory documents in force in Ukraine.

Results. The results obtained were analyzed, characteristic defects were recorded, and recommendations were provided to ensure the effective and safe operation of structures.

Conclusions. The results obtained allow us to consider the degradation of VTP-21 span structures as a single operational process and to determine priority measures for the maintenance of bridge structures.

Keywords: AESUM, typical design of VTP-21, inspection, defects of span structures, operational condition, operational maintenance, analysis, bridge.

УДК 625.745

Онищенко А. М., д-р техн. наук, професор, <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>Ворошинов С. М., канд. техн. наук, професор, <https://orcid.org/0000-0003-0642-8289>Рубльов А. В., канд. техн. наук, доцент, <http://orcid.org/0000-0002-4142-1325>Духненко Я. С., <https://orcid.org/0009-0007-8742-7718>

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

ВИМОГИ ДО ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ВОДОПРОПУСКАЛЬНИХ ТРУБ МЕТОДОМ ГІЛЬЗУВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТАЛЕВИХ ГОФРОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Анотація

Вступ. У статті досліджено технологічний процес відновлення водопропускальних труб на автомобільних дорогах за допомогою методу гільзування із використанням металевих гофрованих конструкцій (МГК). Проаналізовано технічні вимоги до секцій МГК, типи бандажних з'єднань та герметизувальних матеріалів. Детально описано послідовність підготовчих та основних монтажних робіт, включаючи використання спеціального обладнання, такого як монтувальні візки та лебідки. Визначено критерії контролю якості та граничні відхилення геометричних параметрів під час будівництва.

Проблематика. Основними дефектами, що потребують ремонту методом гільзування, є порушення гідроізоляції та зміщення елементів труби понад 3 % від її діаметра. Головним викликом є відновлення несної здатності споруди в умовах обмеженого простору без припинення експлуатації дороги, при цьому важливо забезпечити достатню водопропускну здатність після звуження отвору.

Мета роботи. Метою дослідження є обґрунтування технологічних особливостей застосування МГК для гільзування дефектних труб, розробка детального регламенту виконання робіт та визначення вимог до матеріалів, що забезпечать експлуатаційний термін споруди до 50 років.

Матеріали і методи. У роботі досліджуються металеві гофровані конструкції з гарячеоцинкованої сталі (клас Z600) з можливим додатковим полімерним покриттям (ПВЩ). Розглядаються методи гільзування, що базуються на встановленні нових секцій всередину дефектних труб із подальшим бандажним з'єднанням та герметизацією.

Результати. Встановлено, що гільзування дозволяє проводити ремонт без зупинки руху та скорочує термін робіт до двох днів. Визначено оптимальні типи бандажних з'єднань (плоскі, гофровані, напівгофровані стрічки) залежно від діаметра труби (від 0,3 м до понад 0,9 м). Сформовано алгоритм оцінювання стану споруди, що включає натурний огляд, геометрію дефектів та гідрологічні розрахунки.

Висновки. Використання методу гільзування з МГК є економічно вигідним та технологічно ефективним способом відновлення водопропускальної здатності та міцності дефектних труб. Дотримання технологічних операцій, таких як правильний вибір бандажних з'єднань та якісна герметизація, гарантує тривалу надійну експлуатацію транспортних споруд.

Ключові слова: автомобільна дорога, водопропускальна труба, гільзування, металеві гофровані конструкції (МГК), бандажне з'єднання, ремонт.

Вступ

Сучасний стан дорожньо-транспортної інфраструктури України характеризується значним відсотком штучних споруд, що вичерпали свій експлуатаційний ресурс або мають критичні пошкодження. Серед них особливе місце посідають водопропускальні труби, які є найбільш масовими спорудами на автомобільних дорогах. Їхня безперебійна робота безпосередньо впливає на стійкість земляного полотна та безпеку дорожнього руху. Проте тривала експлуатація в умовах

змінного водного режиму, динамічних навантажень від великогазового транспорту та агресивного впливу довкілля призводить до появи таких дефектів, як корозія металу, руйнування стикових з'єднань, вимивання ґрунту за стінками труби та деформація поперечного перерізу.

Традиційні підходи до реконструкції водопропускальних труб зазвичай передбачають повне розриття дорожнього насипу. Це створює низку суттєвих проблем: необхідність повного перекриття руху, будівництво тимчасових об'їзних доріг (що значно здорожчує проєкт), ризик порушення консолідації ґрунтів насипу та тривалі терміни виконання робіт. В умовах дефіциту фінансування та необхідності швидкого відновлення транспортного сполучення, пошук та впровадження малозатратних, але високоефективних безтраншейних технологій стає пріоритетним завданням для дорожньої галузі.

Однією з найбільш перспективних технологій у цьому контексті є метод гільзування (релайнінгу) із використанням металевих гофрованих конструкцій (МГК). Цей метод дозволяє відновити цілісність та несну здатність старої труби шляхом монтажу всередині неї нової конструкції меншого діаметра. Використання гофрованої сталі з високим ступенем антикорозійного захисту (гаряче оцинкування та полімерні покриття типу ПВЩ) забезпечує тривалу довговічність споруди, яка за своїми характеристиками не поступається новим об'єктам.

Особливої уваги потребує вивчення технологічних нюансів цього процесу: від правильного оцінювання гідрологічної придатності звуженого отвору до забезпечення монолітності міжтрубного простору. Попри наявність загальних рекомендацій, алгоритм вибору типів бандажних з'єднань та послідовність операцій у стиснених умовах потребують детального науково-технічного обґрунтування.

У даній статті розглядаються технологічні особливості реалізації методу гільзування, вимоги до матеріалів секцій МГК та регламент виконання монтажних робіт, що дозволяє забезпечити термін експлуатації відновленої споруди до 50 років при мінімальних витратах ресурсів.

Виклад основного матеріалу

Відновлення водопропускальних труб із використанням металевих гофрованих конструкцій проводиться відповідно до проєкту, вимог технологічних регламентів та нормативних документів для забезпечення довготривалого захисту земляного полотна від негативного впливу витрат води, що пропускаються через водопропускальну трубу. Ремонтуванню методом гільзування піддаються труби, звуження отвору яких не вплине на пропуск потрібного водного потоку, що не втратили несної здатності та мають такі дефекти: порушення гідроізоляції; відхилення геометричного положення елементів труби більш ніж на 3 % від її діаметра. Мінімальний отвір відремонтованої водопропускальної труби має бути не менше ніж 0,3 м.

Метод гільзування дозволяє: проводити ремонтувальні роботи без зупинки руху транспортних засобів автомобільною дорогою (без влаштування тимчасових об'їздів); розв'язати проблему ремонтування водопропускальних труб у стиснених умовах; зменшити строки ремонтування (до двох робочих днів); зменшити вартість ремонтування; збільшити міцнісні та експлуатаційні характеристики дефектної труби; гарантувати строки експлуатування до 50 років згідно з ВБН В.2.3-218-198 [4]; усунути протікання труби; відновити водопропускальну здатність дефектної труби.

Під час вибору діаметра секцій МГК потрібно забезпечити мінімальне звуження внутрішнього аварійного діаметра споруди.

Бандажні з'єднання використовують для з'єднання секцій МГК, збереження рівності конструкції, запобігання роз'єднанню, запобігання роз'єднанню та проникненню ґрунтів і матеріалів засипки.

Вимоги до металевих гофрованих конструкцій:

1. Конструкції із металевих гофрованих елементів мають відповідати вимогам ВБН В.2.3-218-198 [4], комплекту проєктної документації на виготовлення, комплекту робочих

креслень марки КМД згідно з ДСТУ 9243.4 та технологічному регламенту заводу-виготовлювача на об'єкт, де вони використовуються.

2. Механічні властивості та хімічний склад деяких сталей для МГК вказано в [6].

3. Секції рекомендується застосовувати з вуглецевої та низьковуглецевої гарячеоцинкованої сталі з класом покриття не нижче ніж Z600 та класом за міцністю не нижче ніж 245 МПа згідно з ДСТУ EN 10025-1, а також з аналогічного прокату з додатковим полімерним покриттям ПВЩ, нанесеним поверх шару цинку, товщиною не менше ніж 300 мкм згідно з ДСТУ EN 10169.

4. Секції МГК стикують за допомогою бандажного з'єднання, що виступають за зовнішній діаметр труби не більше ніж на 200 мм.

Вимоги до бандажного з'єднання:

1. Бандажне з'єднання рекомендується виготовляти з матеріалу ідентичному металевим гофрованим конструкціям.

2. Бандажне з'єднання може бути виготовлено з плоскої стрічки, гофрованого металу зі спіральним чи кільцевим розташуванням гофр, напівгофрованої стрічки, універсальна стрічка з заглибленнями [11].

3. Плоска стрічка, що застосовується для бандажного з'єднання має бути цільною. Плоскі стрічки можна використовувати на спіральних або кільцевих гофрах. Плоскі стрічки рекомендовано застосовувати на трубах діаметром (0,3 – 1,0) м.

4. Бандажне з'єднання з гофрованої стрічки може складатися з двох або трьох частин. Гофроване розширювальне внутрішнє бандажне з'єднання переважно складається з двох частин та застосовується для труб діаметром не менше ніж 900 мм. Бандажне з'єднання з гофрованої стрічки застосовується на трубах будь-якого розміру.

5. Напівгофроване бандажне з'єднання застосовується для труб діаметром не менше ніж 900 мм.

6. Універсальну стрічку з заглибленнями можна використовувати на спіральних або кільцевих гофрах.

7. Бандажне з'єднання має забезпечувати герметичність конструкції.

8. Найпоширеніші типи бандажного з'єднання наведено **рис. 1–7**.

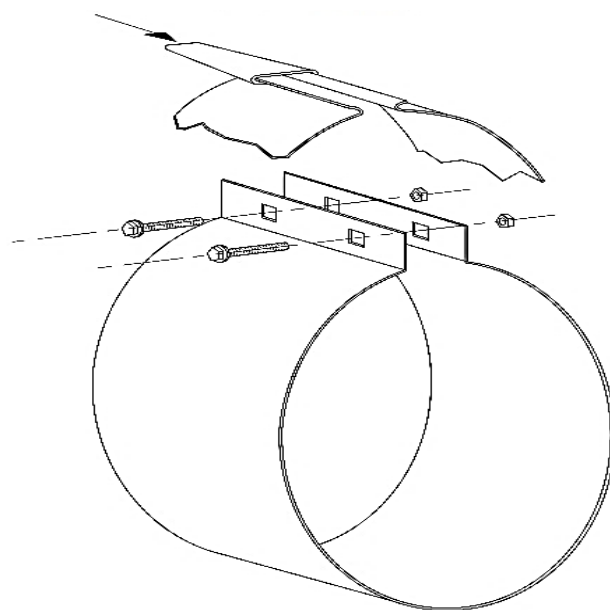


Рисунок 1 — Бандажне з'єднання за допомогою плоскої стрічки

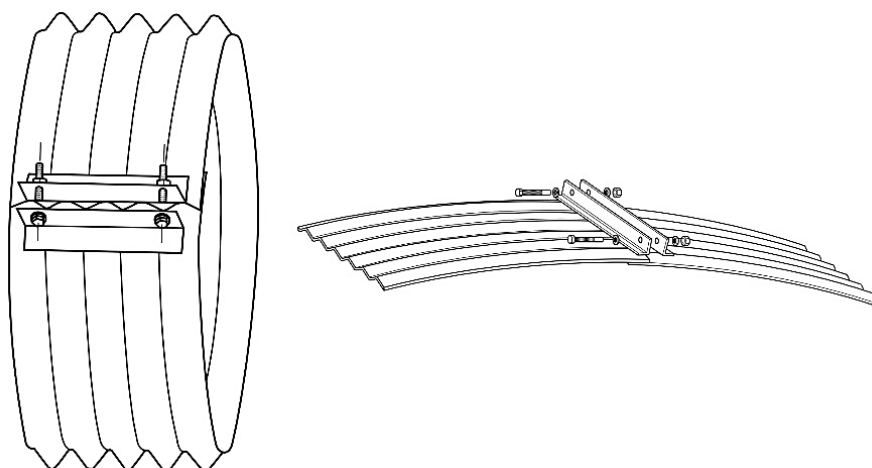


Рисунок 2 — Бандажне з'єднання за допомогою плоскої стрічки (зовнішнє з'єднання)

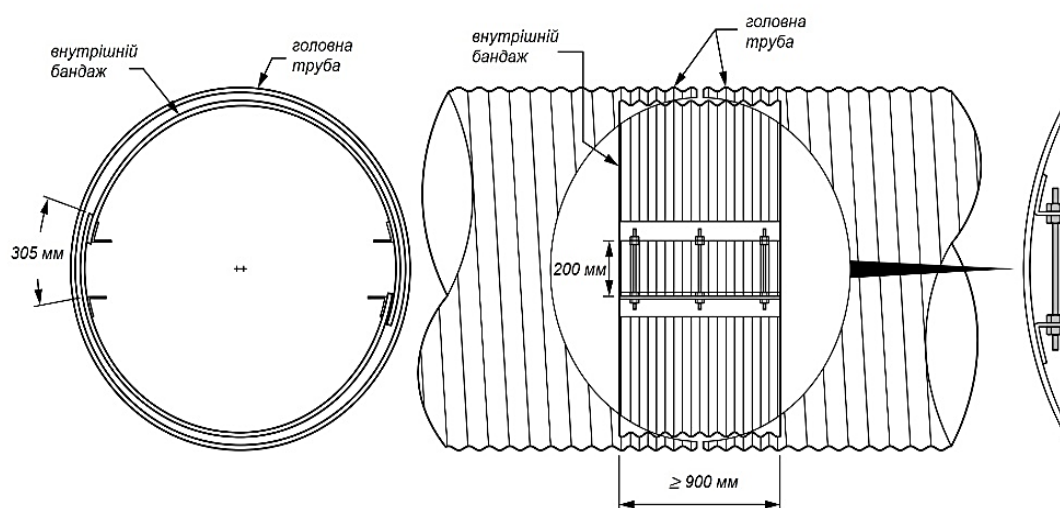


Рисунок 3 — Бандажне з'єднання за допомогою плоскої стрічки (внутрішнє з'єднання)

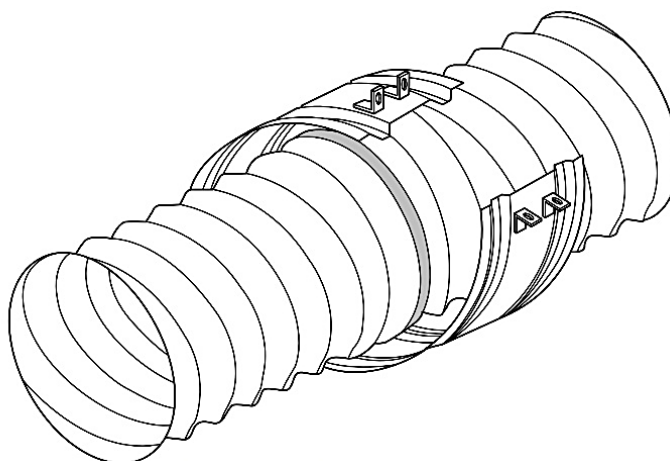


Рисунок 4 — Бандажне з'єднання за допомогою гофрованої стрічки (зовнішнє з'єднання)

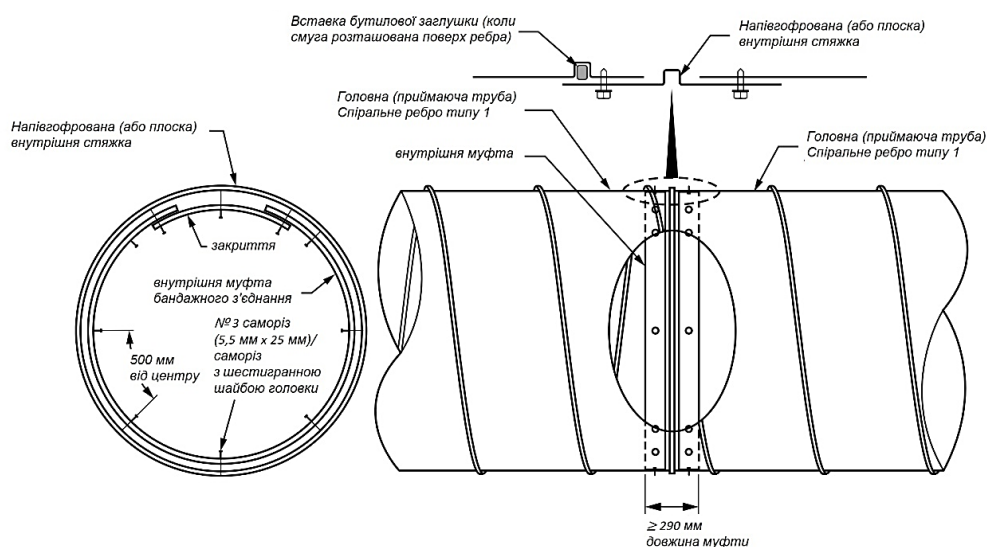


Рисунок 5 — Бандажне з'єднання за допомогою гофрованої стрічки (внутрішнє з'єднання)

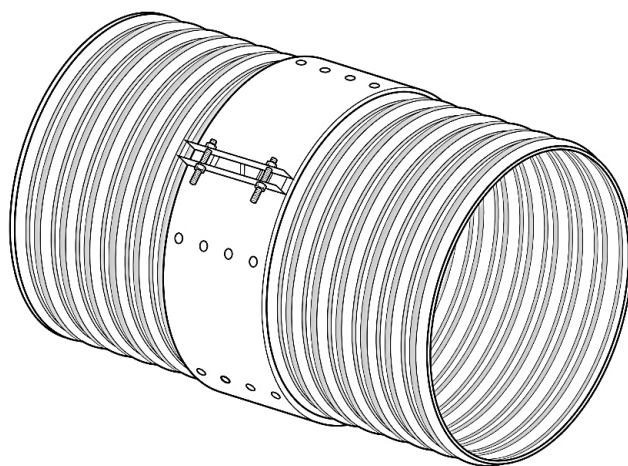


Рисунок 6 — Бандажне з'єднання за допомогою напівгофрованої стрічки (зовнішнє з'єднання)

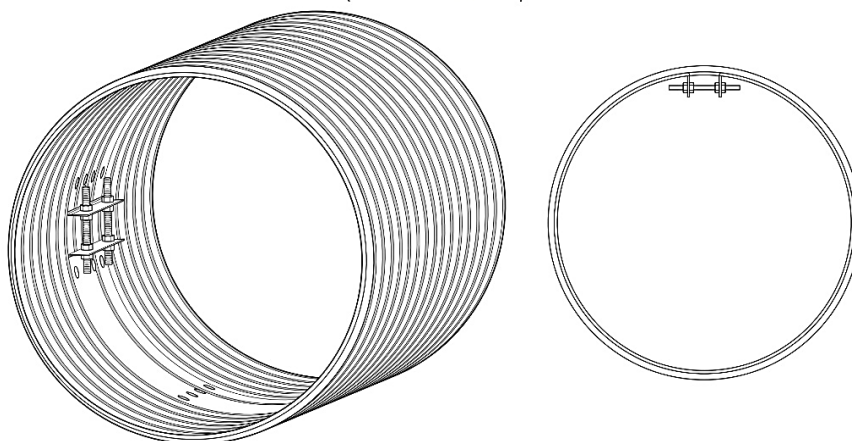


Рисунок 7 — Бандажне з'єднання за допомогою напівгофрованої стрічки (внутрішнє з'єднання)

Вимоги до герметизуючого матеріалу:

1. Мاستики гідроізоляційні мають відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-79, ДСТУ Б В.2.7-101, ДСТУ Б В.2.7-108.

2. Гумові ущільнювачі мають мати властивості: діапазон температури експлуатування від мінус 40 °С до 120 °С; стійкість до контакту з легким маслом, кислотами та лугами; стійкість до деградації та старіння під впливом сонячного світла та озону; стійкість до абразивного впливу; тривалий строк служби; висока еластичність (до 400 %) та відповідати вимогам ДСТУ EN 681-1, [7 – 10].

Організування і технологія виконання робіт з відновлення водопропускальних труб

Перед початком проєктування відновлення водопропускальних труб потрібно провести оцінювання стану водопропускальної труби, що підлягає ремонтуванню. Оцінювання має містити такі етапи: збір інформації, що є в технічній документації та документації на проведення ремонтувальних робіт; натурний огляд; вимірювання геометричних розмірів оголовків і поперечного перерізу труби, її довжини, а також величин дефектів та деформацій; уточнення стану та характеристик ґрунту за межами труби; визначення характеристик міцності матеріалу труби (за потреби); виконання інженерно-геологічних робіт з дослідження насипу та основи; проведення гідрологічних розрахунків з урахуванням звуження отвору труби.

До ремонтувальних робіт дозволяється приступати за наявності проєктної та робочої документації, розробленої відповідно до вимог, та виконаного на її основі ПВР.

До складу основних робіт під час відновлення водопропускальних труб відносяться роботи, що складаються з наступних технологічних операцій: комплекс підготовчих робіт; монтування секцій внутрішньої труби загальною довжиною до 30 м, за довжини труби понад 30 м з використанням внутрішніх розпірних бандажів або іншого способу стикування секцій.

Установку секції у проєктне положення здійснюють розклинюванням або за допомогою розпірних болтів; після затвердіння цементобетонної суміші внутрішній бандаж дозволено зняти [11 – 13]; далі виконують омоноличування міжтрубного простору; та влаштування лотка.

Секції МГК для відновлювання водопропускальних труб стикують одна з одною за допомогою з'єднувальних бандажів, які не виступають за зовнішній діаметр труби.

На будівельний майданчик МГК і бандажі для з'єднання потрібно поставляти скомплектованими. Рекомендовано щоб бандажі були заздалегідь змонтовані на одному з кінців труби. З'єднувальні бандажі виготовляють з оцинкованої сталі.

Бандажі для забезпечення герметичності мають мати ущільнювальну манжетку з мастик гідроізоляційних згідно з ДСТУ Б В.2.7-108, бутилкаучукові і бітумно-бутилкаучукові згідно з ДСТУ Б В.2.7-79, ущільнювач з гуми ЕПДМ, СБК [7 – 10] або інший матеріал, що забезпечує герметичність. Організування ремонтування, підготовка до нього, будівельні роботи, а також контролювання якості виконують з дотриманням вимог нормативних документів. Роботи потрібно виконувати в теплий період року за температури від 5 °С до 40 °С. Особливості виконання робіт у зимовий період мають бути додатково обумовлені у ПВР. Після завершення відновлювальних робіт потрібно ліквідувати всі тимчасові споруди та проведена передбачена проєктом рекультивація (ліквідування допоміжних споруд, призначених для відведення води; планування та зміцнення русла; зміцнення укосів насипу біля оголовків труб; благоустрій території).

На етапі підготовчих робіт виконують наступні заходи: ізолювання зони робіт від води, що протікає (можуть влаштовуватися ґрунтові дамби з тимчасовим водосховищем, водозбірні котловани перед вхідним оголовком, тимчасові трубопроводи для відведення або перекачування води за межі труби); очищення або за потреби промивка відновлювальної труби від сміття та бруду, видалення з неї води, закладення тріщин, відкритих стиків та місць інфільтрації ґрунтових вод (конкретний перелік місць з дефектами та деформаціями труби, а також перелік виконуваних робіт

визначають проектом); створення умов для безперешкодного протягування секцій внутрішньої труби: влаштування настилу, направляючих, вирівнювання дна труби відповідно до проекту.

Монтування секцій внутрішньої труби виконується у наступній технологічній послідовності.

Установлення в трубі, що ремонтується, напрямних для протягування секцій МГК (мінімальна висота 50 мм) відповідно до проекту щодо осьової та висотної розбивок. За потреби захистити покриття геотекстилем. Надання проектного похилу труби за допомогою нівеліра та клинів. Виготовляють напрямні з дерева, полімерних труб або металопрокату. Закріплення напрямних дозволено як на трубі, що ремонтується, так і на секції МГК із забезпеченням вільного проходження цементобетонної суміші через них. У разі рівної лоткової частини труби (за відсутності виступів, що перешкоджають просуванню секції) напрямні дозволено не встановлювати.

Прокладання в наявній трубі троса для протягування секцій МГК із розривним навантаженням не менше загальної маси ремонтувальних ланок.

Протяжка каната з натуральних чи штучних волокон з розривним навантаженням не менше ніж 500 кг для подальшого протягування шланга для бетонування (кінці каната закріплюють (прив'язують) біля вхідного та вихідного оголовків, під час монтування секцій потрібно стежити, щоб канат залишався у міжтрубному просторі та не був затиснутий).

Встановлення першої секції МГК за допомогою автокрана біля входу існуючої труби, кінцем з бандажем або розтрубом в напрямку від оголовка.

Можливе застосування монтувального візка з домкратами всередині першої секції так, щоб домкрати перебували в обох кінцях секції, в такому разі потрібно підняти домкрати упорами у верхній звід секції та секцію труби на домкратах на висоту (5 – 7) см для її переміщення всередині існуючої труби.

Закріплення на торці першої секції МГК троса для протягування труби за допомогою струбцин або заздалегідь підготовлених вушок.

Приєднання до лебідки або іншого буксированого засобу другого кінця троса.

Протягування секції МГК, залишивши зовні частину розміром не менше ніж 500 мм для встановлення бандажа.

Під час застосування монтувального візка закотити вручну на візку першу секцію внутрішньої труби до протилежного краю існуючої труби.

Потрібно виставити першу секцію МГК в існуючій трубі за допомогою домкратів у відповідності до проекту щодо осьової і висотної розбивок згідно з ДБН В.1.3-2 [2]. Встановити проектний похил за допомогою нівеліра та за допомоги домкратів.

Розклинити першу секцію в чотирьох місцях кожного торця за допомогою дерев'яних клинків по колу (рис. 8).

Перевірити положення першої секції внутрішньої труби відповідно з осьовою і висотною розбивкою, а також перевірити похил за допомогою нівеліра;

Установлення наступної секції МГК за допомогою автокрана рекомендовано торцем з бандажним з'єднанням назовні від оголовка.

Під час застосування монтувального візка з домкратами виконати його переміщення у початкове положення (до вхідного оголовка). Встановити монтувальний візок з домкратами всередині другої секції так, щоб домкрати перебували в обох торцях. Для цього потрібно: підняти домкрати упорами у верхній звід секції; встановити упор на торці з муфтою на висоті 1/3 діаметра секції для стягування першої та другої секції внутрішньої труби за допомогою лебідки з ланцюговим тросом; на домкратах підняти другу секцію на висоту (5 – 7) см для її переміщення всередині існуючої труби.

Перемістити другу секцію до бандажа першої секції в існуючій трубі.

За допомогою домкратів поєднати по осях та висоті вільний кінець другої секції внутрішньої труби з бандажем першої секції.

Установити упор на висоті 1/3 діаметра секції на вільному кінці першої секції для з'єднання першої та другої секцій за допомогою лебідки з ланцюговим тросом.

Установити дві ручні лебідки з ланцюговими тросами всередині секцій, в такому разі лебідки застропити на упорі вільного краю першої секції, а гаки ланцюгових тросів — на упорі другої секції.

Очистити від бруду місця з'єднання першої та другої секцій з допомогою волосяної щітки та ганчір'я.

Нанести змащувальний засіб на внутрішню поверхню з'єднувального бандажа та зовнішню поверхню торця другої секції, яка стикується (в якості мастильного засобу можна використовувати рідке мило, технічний вазелін або спеціальне мастило, що замовляють у постачальника труб).

Завести за допомогою лебідок вільний край другої секції в з'єднувальний бандаж першої секції до проходження ним червоної лінії на муфті (**рис. 8**).

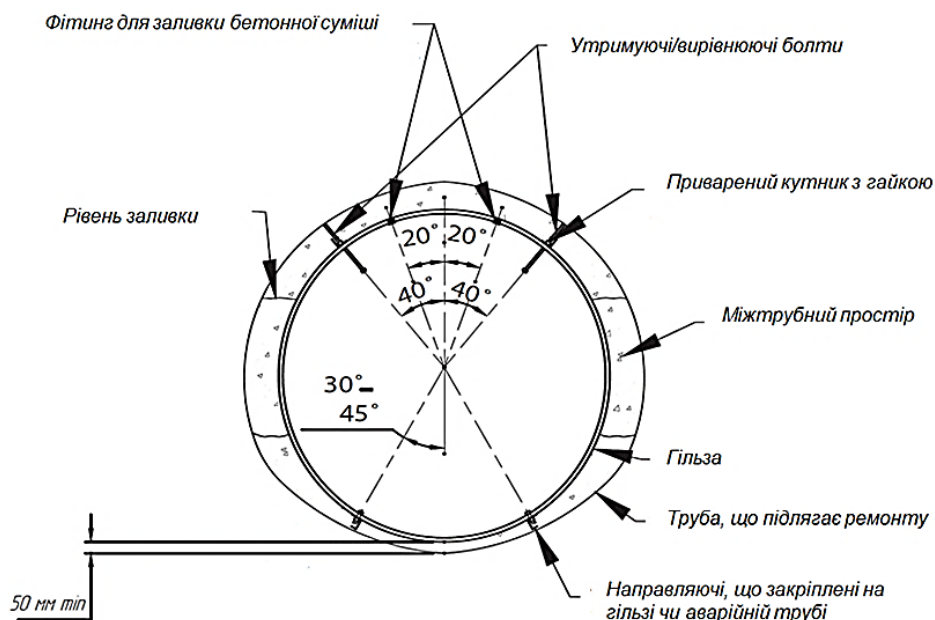


Рисунок 8 — Приклад розташування секції в трубі, що ремонтується

Виставити за допомогою домкратів торець із з'єднувальним бандажем другої секції відповідно до проєкту щодо осьової і висотної розбивок, у такому випадку вільний торець другої секції не повинен вийти за червону лінію в бандажі першої секції.

Розклинити за допомогою дерев'яних клинків торець з бандажем другої секції відповідно до **рис. 8**, перевірити положення другої секції внутрішньої труби.

Під час застосування монтувального візка виконати переміщення монтувального візка з домкратами у початкове положення (до вхідного оголовка).

Інші секції внутрішньої труби з МГК в існуючій трубі змонтувати аналогічно вищенаведеним технологічним операціям дотримуючись певних умов: за роботи з ланками не дозволяти механічних і хімічних ушкоджень матеріалу секцій труби з МГК; застосовувати інвентар і пристосування, які розподіляють навантаження по периметру секції, не дозволяючи точкових навантажень.

Дозволено застосування іншого методу монтування секцій МГК, якщо це передбачено проєктом на проведення відновлювальних робіт.

Вимоги до якості виконання робіт

Контролювання й оцінювання якості робіт під час виконання відновлення водопропускальних труб із використанням МГК виконують у відповідності до вимог будівельних норм і нормативних документів (ДБН А.3.1-5 [1], ДБН В.2.3-6 [3], ДСТУ Б В.2.3-24 та ДСТУ-Н Б В.2.3-34).

Контролювання якості виконаних робіт здійснюють фахівці або спеціальні служби, оснащені технічними засобами, що забезпечують потрібну достовірність і повноту контролювання. Контролювання якості покладається на керівника виробничого підрозділу (виконроба, майстра), що виконує роботи [5].

Операційне контролювання здійснюється вимірним методом (за допомогою вимірних інструментів і приладів) та технічним оглядом під керівництвом виконроба (майстра). Інструментальне контролювання виконання робіт із відновлення водопропускальних труб із застосуванням МГК здійснюють систематично від початку до його завершення.

Результати операційного контролювання фіксуються в Журналі операційного контролювання якості робіт згідно з СОУ 42.1-37641918-087.

Перелік видів робіт під час відновлення водопропускальних труб з МГК, що підлягають контролюванню, методи і способи його проведення, а також перелік контрольованих параметрів та критеріїв їх оцінювання наведено в **табл. 1**.

Таблиця 1**Схеми операційного контролювання якості виконання робіт**

Найменування контрольованих показників	Допустимі граничні відхилення	Метод контролювання	Кількість і місце проведення контролювання	Хто здійснює контролювання
Монтування першої секції внутрішньої труби	співвісність з геодезичною розбивкою похил ± 3 мм	Геодезична розбивка, нівелір	Під час монтування	Виконроб Геодезист
Розклинювання першої секції змонтованої труби в існуючій	стійкість секції труби похил ± 3 мм	Візуально, нівелір	Кожне місце	Виконроб Геодезист
Монтування наступної секції внутрішньої труби	співвісність з попередньою секцією труби заведення за червону лінію попередньої секції труби похил ± 3 мм	Геодезична розбивка, візуально, нівелір	Під час монтування	Виконроб Геодезист
Розклинювання наступної секції змонтованої труби в існуючій	стійкість секції труби похил ± 3 мм	Візуально, нівелір	Кожне місце	Виконроб Геодезист
Омонолічування міжтрубного простору	щільність укладеного цементобетону (об'єм не заповненого простору не більше ніж 1 %)	Об'єм витраченої суміші, простукування	Під час омонолічування	Виконроб

Висновки

Під час дослідження технологічних особливостей відновлення водопропускальних труб методом гільзування із застосуванням МГК було зроблено такі висновки:

1. Доведено, що метод гільзування є найбільш раціональним рішенням для відновлення труб у високих насипах та на ділянках з інтенсивним рухом, оскільки він мінімізує втручання в конструкцію дороги та дозволяє завершити основний цикл робіт протягом 2–3 робочих днів.

2. Використання металевих гофрованих конструкцій зі сталі класу Z600 та додатковим полімерним покриттям ПВЩ забезпечує високу стійкість до агресивного середовища та абразивного зносу. Правильний вибір типу бандажного з'єднання (плоского чи гофрованого) гарантує герметичність стиків та монолітність нової конструкції.

3. Встановлено, що ключовими факторами при виборі цієї технології є результати гідрологічних розрахунків (з урахуванням зменшення робочого перерізу труби) та оцінка геометричних відхилень наявної споруди (не більше 3 % від діаметра).

4. Оптимізація витрат досягається шляхом відсутності потреби у важкій техніці для земляних робіт, відмови від влаштування об'їздів та зменшення витрат на матеріали завдяки використанню легких гофрованих секцій.

5. Запорукою тривалої експлуатації є якісне заповнення міжтрубного простору цементобетонною сумішшю, що забезпечує спільну роботу старої та нової конструкцій, а також належна підготовка основи (видалення наносів, вирівнювання дна) перед початком монтажу.

Впровадження запропонованих технологічних регламентів дозволить значно підвищити міжремонтні терміни експлуатації штучних споруд на автомобільних дорогах.

Список літератури

1. ДБН А.3.1-5:2016 Організація будівельного виробництва, Київ, 2016. 111 с. (Інформація та документація).
2. ДБН В.1.3-2:2010 Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві, Київ, 2010. 32 с. (Інформація та документація).
3. ДБН В.2.3-6:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування. Київ, 2009. 48 с. (Інформація та документація).
4. ВБН В.2.3-218-198:2007 Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд із металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2007. 104 с. (Інформація та документація).
5. ТТК 37641918/03450778-210:2016 Типова технологічна карта на ремонт водопропускних труб методом релайнінгу на автомобільних дорогах. Київ, 2016. 31 с. (Інформація та документація).
6. Посібник до ВБН В.2.3-218-198:2007 Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд із металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2007. 142 с.
7. ISO 1043-1:2011. Plastics - Symbols and abbreviated terms. Part 1: Basic polymers and their special characteristics. Geneva, Switzerland, 2011. 11 p. (Інформація та документація).
8. ISO 1629:2013. Rubber and latices - Nomenclature. Geneva, Switzerland, 2013. 12 p. (Інформація та документація).
9. ISO 18064:2022. Thermoplastic elastomers - Nomenclature and abbreviated terms. Geneva, Switzerland, 2022. 24 p. (Інформація та документація).
10. ASTM D1418-22. Standard Practice for Rubber and Rubber Latices - Nomenclature. West Conshohocken, PA, USA, 2022. 6 p. (Інформація та документація).
11. CAN/CSA Standard G401-14. Corrugated steel pipe products. Toronto, Canada, 2014. 86 p. (Інформація та документація).
12. Онищенко А. М., Гаркуша М. В. Аналіз перспективи застосування ремонту, методом гільзування, водопропускних труб, як різновиду гідротехнічних споруд транспортного будівництва.

Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії: зб. наук. пр. Херсон:, 2021. № 3. С. 147–150.

13. Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Клименко М. І., Гаркуша І. Ю. Дослідження та аналіз технології відновлення гідротехнічних споруд транспортного будівництва з дорожніх водопропускних труб методом гільзування. *Дороги і мости*. Київ, 2023. Вип. 28. С. 203–220.

References

1. DBN A.3.1-5:2016. Orhanizatsiia budivelnoho vyrobnytstva (State Building Norms (DBN A.3.1-5:2016) Organization of construction production). Kyiv, 2016. 111 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

2. DBN V.1.3-2:2010. Systema zabezpechennia tochnosti heometrychnykh parametriv u budivnytstvi. Heodezychni roboty u budivnytstvi (State Building Norms (DBN V.1.3-2:2010) System for ensuring the accuracy of geometric parameters in construction. Geodetic works in construction). Kyiv, 2010. 32 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

3. 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, 2010. 48 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

4. VBN V.2.3-218-198:2007. Sporudy transportu. Proektuvannia ta budivnytstvo sporud iz metalevykh hofrovanykh konstrukttsii na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia (Departmental Building Norms (VBN V.2.3-218-198:2007) Transport structures. Design and construction of structures made of metal corrugated structures on public roads). Kyiv, 2007. 104 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

5. TTK 37641918/03450778-210:2016 Typova tekhnolohichna karta na remont vodopropusknykh trub metodom relaininhu na avtomobilnykh dorohakh (Typical technological map for the repair of culverts by the relining method on highways). Kyiv, 2016. 31 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

6. Posibnyk do VBN V.2.3-218-198:2007 Sporudy transportu. Proektuvannia ta budivnytstvo sporud iz metalevykh hofrovanykh konstrukttsii na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia (Manual for VBN V.2.3-218-198:2007 Transport structures. Design and construction of structures made of metal corrugated structures on public roads). Kyiv, 2007. 142 p. [in Ukrainian].

7. ISO 1043-1:2011. Plastics - Symbols and abbreviated terms. Part 1: Basic polymers and their special characteristics. Geneva, Switzerland, 2011. 11 p. [in English].

8. ISO 1629:2013. Rubber and latices — Nomenclature. Geneva, Switzerland, 2013. 12 p. [in English].

9. ISO 18064:2022. Thermoplastic elastomers — Nomenclature and abbreviated terms. Geneva, Switzerland, 2022. 24 p. [in English].

10. ASTM D1418-22. Standard Practice for Rubber and Rubber Latices — Nomenclature. West Conshohocken, PA, USA, 2022. 6 p. [in English].

11. CAN/CSA Standard G401-14. Corrugated steel pipe products. Toronto, Canada, 2014. 86 p. [in English].

12. Onyshchenko A. M., Harkusha M. V. Analiz perspektyvy zastosuvannia remontu, metodom hilzuvannia, vodopropusknykh trub, yak riznovydu hidrotekhnichnykh sporud transportnoho budivnytstva (Analysis of the prospects for the use of repair by the relining method of culverts as a type of hydraulic structures for transport construction). *Suchasni tekhnolohii ta dosiahnennia inzhenernykh nauk v haluzi hidrotekhnichnoho budivnytstva ta vodnoi inzhenerii : zb. nauk. pr.* Kherson, 2021. No. 3. P. 147–150 [in Ukrainian].

13. Onyshchenko A. M., Harkusha M. V., Klymenko M. I., Harkusha I. Yu. Doslidzhennia ta analiz tekhnolohii vidnovlennia hidrotekhnichnykh sporud transportnoho budivnytstva z dorozhnikh vodopropusknykh trub metodom hilzuvannia (Research and analysis of the technology for the restoration of hydraulic structures of transport construction from road culverts by the relining method). *Dorogy i mosti*. Kyiv, 2023. Issue 28. P. 203–220 [in Ukrainian].

Artur Onyshchenko, D.Sc., Professor, <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

Serhii Voroshnov, Ph.D., Professor, <https://orcid.org/0000-0003-0642-8289>

Andriy Rublev, Ph.D., Associate Professor, <http://orcid.org/0000-0002-4142-1325>

Yana Dukhnenko, <https://orcid.org/0009-0007-8742-7718>

National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

REQUIREMENTS FOR CULVERT REHABILITATION TECHNOLOGY USING THE SLIP-LINING METHOD WITH CORRUGATED METAL STRUCTURES

Abstract

Introduction. The article investigates the technological process of restoring culverts on highways using the relining method with corrugated metal structures (CMS). Technical requirements for CMS sections, types of band connections, and sealing materials are analyzed. The sequence of preparatory and main installation works, including the use of special equipment such as mounting trolleys and winches, is described in detail. Quality control criteria and maximum deviations of geometric parameters during construction are determined.

Problem Statement. The main defects requiring repair by the relining method are waterproofness failure and displacement of pipe elements exceeding 3% of its diameter. The main challenge is to restore the structural load-bearing capacity in confined space conditions without stopping road operation, while ensuring sufficient water discharge capacity after the opening narrows.

Purpose. The aim of the study is to substantiate the technological features of using CMS for relining defective pipes, develop a detailed work execution regulation, and determine material requirements that ensure an operational lifespan of the structure up to 50 years.

Materials and methods. The study examines corrugated metal structures made of hot-dip galvanized steel (class Z600) with an optional additional polymer coating (HDPE). Relining methods based on the installation of new sections inside defective pipes followed by band connection and sealing are considered.

Results. It has been established that relining allows for repairs without stopping traffic and reduces the work duration to two days. Optimal types of band connections (flat, corrugated, semi-corrugated bands) are determined depending on the pipe diameter (from 0.3 m to over 0.9 m). An algorithm for assessing the condition of the structure has been formed, which includes field inspection, defect geometry analysis, and hydrological calculations.

Conclusions. The use of the relining method with CMS is an economically viable and technologically efficient way to restore the water discharge capacity and strength of defective pipes. Adherence to technological operations, such as the correct choice of band connections and high-quality sealing, guarantees the long-term reliable operation of transport structures.

Keywords: road, culverts, relining, corrugated metal structures (CMS), band connection, repair.

ДОПОВНЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ МОСТОВИХ СПОРУД З ГОФРОВАНОГО МЕТАЛУ З УРАХУВАННЯМ УМОВ КРІПЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ДО ФУНДАМЕНТУ

Анотація

Вступ. Викладено результати досліджень і розробок щодо доповнення методики розрахунку мостових споруд з гофрованого металу на автомобільних дорогах з урахуванням реальних умов кріплення конструкцій до фундаменту. Розглянуто споруди у формі напівкруглої арки з прогонами 8 – 18 м, які найбільш придатні для використання замість малих мостів з типових масивних конструкцій.

Проблематика. Недостатньо повні та не досконалі чинні нормативно-методичні документи стосовно використання досить раціональних за своїми техніко-економічними показниками дорожніх споруд з гофрованого металу ускладнюють проектування таких споруд, зокрема розрахунки і не сприяють їх поширенню в практику транспортного будівництва. Найбільше це стосується аркових мостових споруд з прогонами понад 8 м, для проектування яких діючі норми не містять майже нічого, особливо у частині розрахунків.

Мета і завдання. Розроблення пропозицій до удосконалення відповідної нормативної бази, доповнення методики аналітичного розрахунку мостових споруд, зокрема аркових з урахуванням особливостей конструкції опорних вузлів — є метою і завданням даної роботи.

Методи досліджень і результати. Методичною основою даної роботи є розрахунково-теоретичні дослідження з числовим моделюванням за методом скінчених елементів (МСЕ) для розроблення доповнення методів аналітичного розрахунку аркових систем, аналіз взаємодії гнучких аркових конструкцій з гофрованого металу з ґрунтом дорожнього насипу. Для розрахунку споруд з урахуванням умов кріплення конструкцій до фундаменту, розрахунковою схемою яких є двошарнірна арка, викладено отримані дані про розподіл згинального моменту і поздовжньої сили у перерізах арки залежно від рівномірно розподіленого вздовж прогону вертикального навантаження і від її радіуса. Показано можливість і зручності використання для практичних розрахунків ліній впливу зусиль і прогину арки. Надано типові лінії впливу для арок різного радіуса і форми гофрів і чиселовий приклад розрахунку.

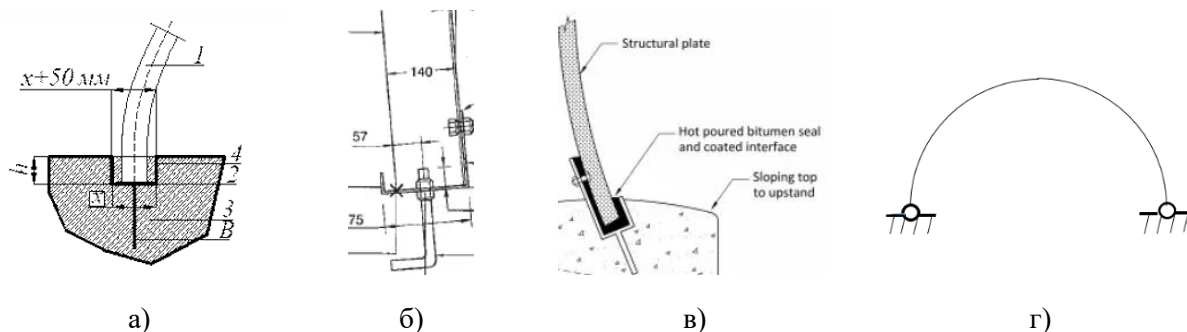
Висновки. Надано пропозиції до доповнення аналітичного розрахунку розглянутих споруд з урахуванням реальних умов кріплення конструкцій до фундаменту. Показана можливість розроблення методики практичного розрахунку мостових споруд з гофрованого металу в рамках загальноприйнятих закономірностей статички споруд і механіки ґрунтів з використанням відомих методів будівельної механіки та простих зрозумілих розрахункових схем.

Ключові слова: двошарнірна арка, зусилля, лінії впливу мостова споруда, прогин, розрахункова схема.

Вступ

У попередніх статтях автора з питань розрахунків дорожніх споруд з гофрованого металу [1, 2] розглянуті напівкруглі арки з кріпленням конструкцій до фундаменту, яке відповідає схемі безшарнірної арки. Однак конструктивні рішення опорних вузлів за нормативними

документами нашої країни [3], США, Канади [4] і Великої Британії [5] більше відповідають або шарнірному (за схемою двошарнірної арки), або нежорсткому (проміжному між безшарнірним і двошарнірним) кріпленню конструкцій до фундаменту (**рис. 1**).



- а) згідно з [3];
- б) згідно з [4];
- в) згідно з [5];
- г) розрахункова схема.

Рисунок 1 — Існуючі конструкції кріплення арки до фундаменту і розрахункова схема

Конструкції опорних вузлів арки на **рис. 1** немає підстав вважати за жорстке кріплення — бетонування гофрованого елемента у межах відносно малої висоти полиць швелера не достатньо для цього (**рис. 1, а**); також не достатньо для цього і кріплення гофрованого елемента болтами тільки на його зовнішніх гребнях (**рис. 1, б, в**), тому адекватною розрахунковою схемою для арок з таким кріпленням слід вважати двошарнірну арку (**рис. 1, г**).

У даній статті відображені результати досліджень і розробок щодо доповнень методики розрахунку аркових мостових споруд з прогоном 8 – 18 м і з конструкцією опорних вузлів розрахунковою схемою яких є саме двошарнірна арка.

Основна частина

Основні вихідні передумови розрахунку, надані в попередніх статтях автора, у стислому викладі такі:

- розрахункове вертикальне навантаження на арку не повинно перевищувати її несної здатності у допустимому деформованому стані (при її допустимому прогині);
- несна здатність арки складається з її власної (поза ґрунтом) несної здатності й опору ґрунту переміщенням стінок арки як умовному механізму з шарнірами у місцях максимальних напружень, геометричну незмінність якого забезпечує опір ґрунту;
- допустимий прогин приймається меншим за умов не перевищення осідання поверхні дорожнього покриття над аркою граничного значення і за умов недопущення у конструкціях напружень вищих за розрахунковий опір матеріалу арки.

Основна розрахункова умова:

$$p_n + p_m \leq (q_0 + q_c)m, \quad (1)$$

де $p_n + p_m$ — рівномірно розподілене вздовж прогону арки розрахункове (з відповідними коефіцієнтами надійності) навантаження — постійне p_n (від ваги ґрунту над спорудою та від ваги конструкцій) і тимчасове p_m , або $p_{m,eq}$ (від транспортного засобу НК-100 або НК-80, відповідно, для доріг I-III та інших категорій);

$(q_0 + q_2)m$ — несна здатність (граничне навантаження) арки, яка розглядається, поза ґрунтом, q_0 і її несна здатність q_2 від опору ґрунту переміщенням арки, як механізму з шарнірами у місцях максимальних напружень, з урахуванням коефіцієнта умов роботи $m = 0,9$.

Величину p_m визначають залежно від висоти ґрунту насипу h над спорудою і товщини дорожнього покриття h_n , м, [6] за формулами:

— при висоті h ґрунту над спорудою $h > 1,646 - 2,733h_n$:

$$p_m = \frac{980}{ab_1}; \quad (2)$$

— при висоті h ґрунту над спорудою $h \leq 1,646 - 2,733h_n$:

$$p_m = \frac{490}{ab_2}, \quad (3)$$

де a, b_1, b_2 — параметри, що визначають за формулами:

$$a = 3,8 + 2h_n + 1,16(h - h_n); \quad (4)$$

$$b_1 = 3,5 + 2h_n + 1,16(h - h_n); \quad (5)$$

$$b_2 = 1,1 + 2h_n + 1,16(h - h_n). \quad (6)$$

Якщо довжина a розподіленого тимчасового навантаження менша за довжину прогону арки, замість p_m приймають еквівалентне тимчасове навантаження $p_{m,eq}$ за формулою:

$$p_{m,eq} = \frac{M_{max}}{\omega_{M,\Sigma}}, \quad (7)$$

де M_{max} — максимальний момент стінки напівкруглої двошарнірної арки (у перерізі з кутовою координатою 25° від рівня п'ят), який визначають за лінією впливу M_{max} для таких арок (рис. 2);

$\omega_{M,\Sigma}$ — сумарна площа всієї лінії впливу M_{max} з урахуванням позначок (вище за горизонтальну лінію «+», нижче — «-»).

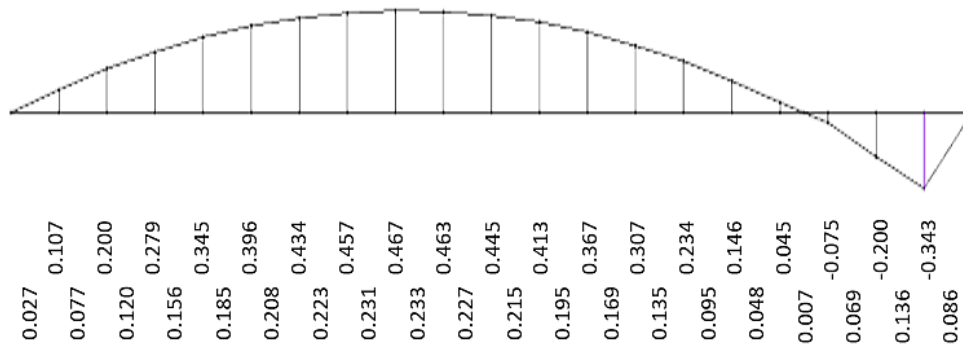


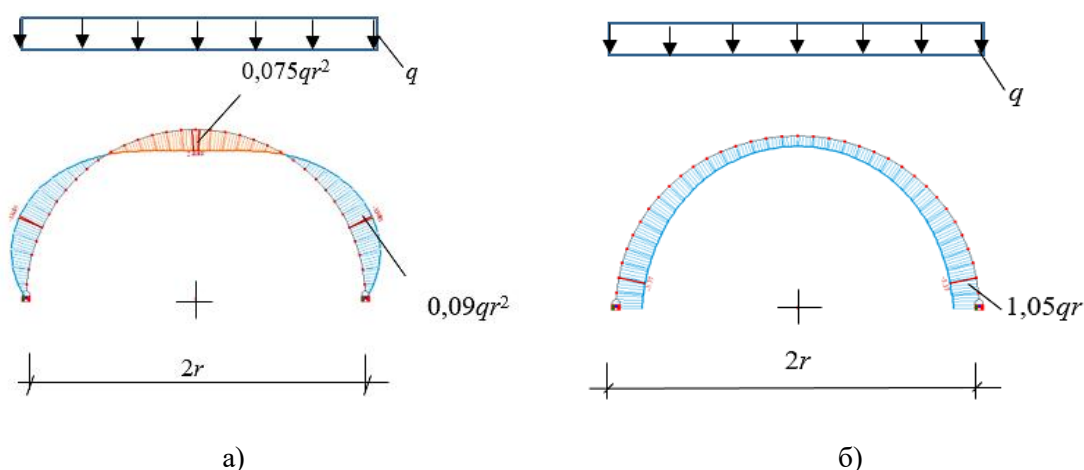
Рисунок 2 — Лінія впливу максимального моменту M_{max} (у перерізі стінки арки з кутовою координатою 25° від рівня п'ят) для напівкруглих двошарнірних арок різного радіуса r , її ординати y_i (верхній рядок, множити на $0,2 r$) з кроком $0,1r$ і площі ω_i ділянок між суміжними ординатами (нижній рядок, множити на $0,02r^2$)

Величину $M_{\max}$ при фактичній довжині a (меншій за довжину прогону арки), тимчасового навантаження p_m , центр якого розміщується над центром верхіву даної лінії впливу (рис. 2) визначають за формулою:

$$M_{\max} = p_m \omega_M, \quad (8)$$

де ω_M — площа лінії впливу $M_{\max}$ у межах фактичної довжини a тимчасового навантаження p_m при вказаному його розміщенні (рис. 2);

Величину q_o для напівкруглої двохарнірної арки радіусом r поза ґрунтом у пружній стадії її роботи визначають з урахуванням встановленої розрахунками залежності моменту M і поздовжньої сили N від q і r . Для такої арки $M_{\max} = 0,09 qr^2$ в перерізі з кутовою координатою 25° і $M = 0,075 qr^2$ у верхній точці та $N_{\max} = 1,05qr$ (рис. 3).



- а) згинального моменту;
б) нормальної сили.

Рисунок 3 — Епюри зусиль у напівкруглих двохарнірних арках залежно від q і r

Зважаючи на відомі правила обчислень напружень за вигину при стиску, величину q_o визначають за формулою:

$$q_o = \frac{R_{CT}}{\frac{0,09r^2}{W} + \frac{1,05r}{A}}, \quad (9)$$

де R_{CT} — розрахунковий опір матеріалу арки (сталі);
 W і A — відповідно, момент опору і площа перерізу стінки арки одиничної ширини, наприклад 1 м, (за умовами плоскої задачі).

Величина q_o може бути визначена за умовою статичної рівноваги елементів верхньої частини арки (яка переміщується всередину), як механізму з шарнірами [1, 2] в найбільш напружених перерізах двохарнірної арки (з кутовою координатою 25° і у верхній точці) або за умови рівноваги

вузла схеми арки (як механізму з шарнірами) з вказаною кутовою координатою при дії R і двох сил N (рис. 4).

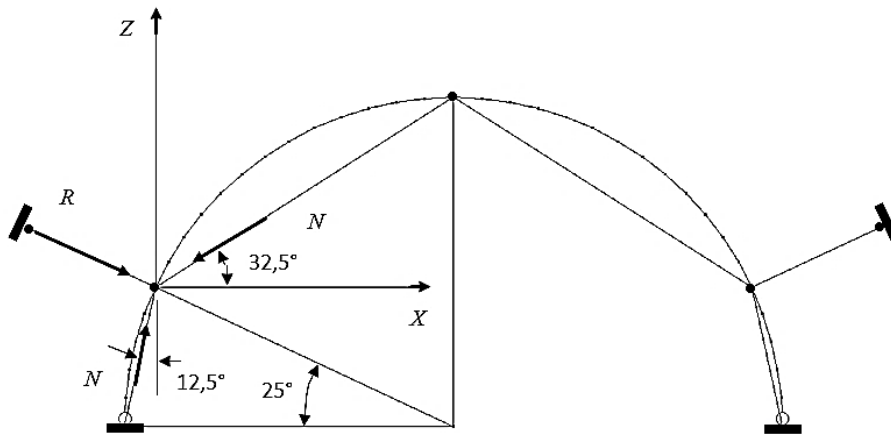


Рисунок 4 — Схема до визначення q_z з умов рівноваги вузла з кутовою координатою 25° двошарнірної напівкруглої арки

За умови рівності нулю суми проєкцій на вісь координат (наприклад, на горизонтальну вісь X) поздовжніх зусиль N і рівнодіючої опору ґрунту R в стані рівноваги розглянутого вузла, використовуючи відомий метод вирізання вузлів і встановлену залежність зусиль N від q і r , $N = 1,05qr$ (рис. 3), що близько до $N = qr$, як прийнято у [4, 5], маємо рівняння:

$$\Sigma X = R \cos 25^\circ + 1,05q_z r \sin 12,5^\circ - 1,05q_z r \cos 32,5^\circ = 0, \quad (10)$$

звідки після відповідних обчислень, перетворень і скорочень отримаємо таку формулу:

$$q_z = 1,377 \frac{R}{r}. \quad (11)$$

Рівнодіючу опору ґрунту R визначають за формулою:

$$R = A_z k = A_z \frac{E}{(1 + \mu)r}, \quad (12)$$

де A_z — об'єм (для арки шириною 1 м теж саме, що й площа) епюри переміщень арки у бік ґрунту;

$k = \frac{E}{(1 + \mu)r}$ — коефіцієнт постелі (пружності) ґрунту з модулем деформації E і коефіцієнтом Пуассона μ (формула Б. Г. Гальоркіна).

Величину A_z , зважаючи на встановлені дослідженнями її залежність від переміщень стінок арки з максимальним значенням $\delta_{\max}$, яке пов'язано з граничним допустимим прогином f_{cp} , ($\delta_{\max} = 0,667 f_{cp}$, що визначено розрахунками), і від радіуса r і визначають як суму результатів множення ординат епюри переміщень на $0,0872 r$, згідно зі схемою на рис. 5, за формулою:

$$A_z = 0,405 f_{cp} r = 0,607 \delta_{\max} r. \quad (13)$$

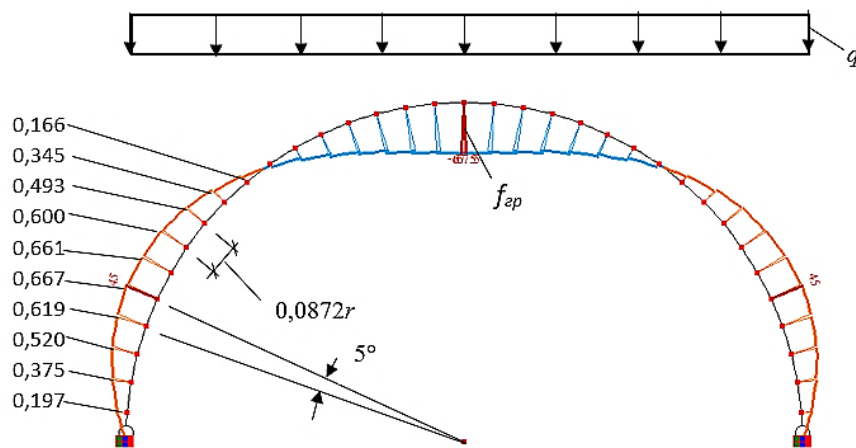


Рисунок 5 — Епюра переміщень арки від рівномірно розподіленого вертикального навантаження з ординатами в частках від f_{ep}

Величину граничного прогину арки f_{ep} приймають меншою з двох значень, визначених за формулами:

— за умовою не перевищення осіданням дорожнього покриття граничного значення S_{ep} [7]:

$$f_{ep} = 1,15S_{ep} \left(0,87 + \left(\frac{h}{r} + 0,5 \right) 0,67 \right); \quad (14)$$

— за умовою не перевищення напружень в конструкціях розрахункового опору матеріалу арки:

$$f_{ep} = q_o \omega_{f,\Sigma}, \quad (15)$$

де $\omega_{f,\Sigma}$ — сумарна, з урахуванням позначок (вище за горизонтальну лінію «+», нижче «-») площа лінії впливу прогину арки, приклад якої показано на **рис. 6**.

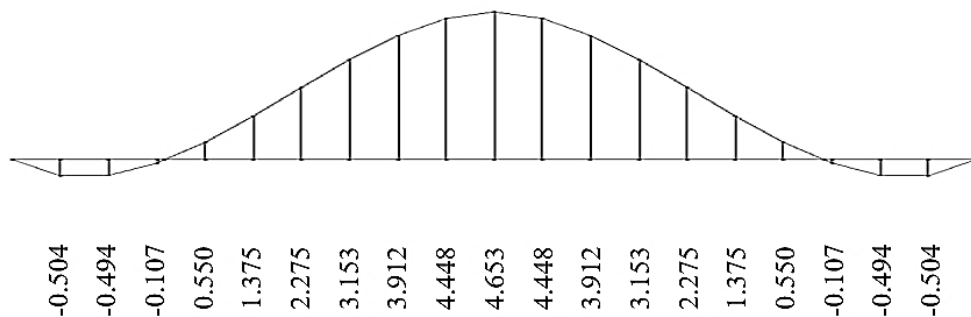


Рисунок 6 — Приклад лінії впливу прогину для напівкруглої двошарнірної арки радіусом 5 м з гофрами $380 \times 140 \times 7$ (відповідно, довжина хвилі, її висота і товщина металу, мм) з ординатами (мм) через 0,5 м

Для практичних розрахунків арок різних радіусів і розмірів гофрів величину повної площі $\omega_{f,\Sigma}$ лінії впливу прогину можна приймати за даними, отриманими за результатами серії розрахунків за МСЕ напівкруглих двошарнірних арок з різною товщиною металу t , радіусом від 4 м до 9 м з інтервалом 0,5 м і за даними аналізу залежності величини $\omega_{f,\Sigma}$ від геометричних параметрів гофрів. Для проміжних значень радіусів арок можна використовувати інтерполяцію (**табл. 1**).

Таблиця 1

Площі лінії впливу прогину для напівкруглих двошарнірних арок, м²

Розмір гофрів, мм	За радіусу арки, м, множити на $7/t$										
	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0
$400 \times 150 \times t$	0,006	0,010	0,015	0,022	0,030	0,043	0,058	0,077	0,099	0,126	0,159
$380 \times 140 \times t$	0,007	0,011	0,017	0,025	0,035	0,048	0,065	0,086	0,111	0,142	0,178
$200 \times 55 \times t$	0,052	0,083	0,125	0,148	0,261	-	-	-	-	-	-

Повинна виконуватись, крім умови (1), умова обмеження напружень σ в перерізах арки від моменту M з урахуванням формули (15), даних **табл. 1** і **рис. 3** за навантаження, яке відповідає прогину f_{ep} , за якою активується опір ґрунту, який унеможливило подальший згин зі збільшенням M і від поздовжньої сили N за навантаження $p_n + p_m$ (або $p_n + p_{m,eq}$):

$$\sigma = \frac{M}{W} + \frac{N}{A} = \frac{0,09r^2 \frac{f_{ep}}{\omega_f} \cdot \frac{6}{7}}{W} + \frac{1,05r(p_n + p_{m,eq})}{A} \leq R_{cm}. \quad (16)$$

Приклад. Перевіримо, чи придатна мостова споруда у формі напівкруглої арки радіусом $r = 7,5$ м з опорними вузлами як на **рис. 1, а**, з гофрованого металу $380 \times 140 \times 6$ (відповідно, довжина хвилі, її висота і товщина металу t , мм) з розрахунковим опором сталі $R_{cm} = 230$ МПа для використання під насипом (над спорудою) висотою $h = 3$ м автомобільної дороги другої категорії (товщина покриття $h_n = 0,15$ м). Модуль деформації, коефіцієнт Пуассона і питома вага ґрунту насипу, відповідно, $E = 30$ МПа, $\mu = 1,35$, $\gamma = 18$ кН/м³. Момент опору і площа перерізу стінки арки на 1 м її ширини, відповідно, $W = 275,8$ см³/м, $A = 83,8$ см²/м. Тимчасове навантаження НК-100. Коефіцієнти надійності для навантаження від ваги ґрунту, ваги конструкцій і від НК-100, відповідно 1,3; 1,05 і 1,1.

Граничний прогин приймаємо (при $S_{ep} = 4$ см [7]) меншим з отриманих за формулами (14), (15) і (9):

$$f_{ep} = 1,15 \cdot 4 \left(0,87 \left(\frac{3}{7,5} + 0,5 \right) 0,67 \right) = 6,7 \text{ см},$$

$$f_{ep} = \frac{2300}{\frac{0,09 \cdot 750^2}{275,8} + \frac{1,05 \cdot 750}{83,8}} \cdot 0,1 \cdot 0,086 \cdot 7 / 6 = 0,1196 \text{ м} = 11,96 \text{ см}.$$

Об'єм (площа при ширині 1 м) епюри переміщень арки у бік ґрунту за формулою (13):

$$A_z = 0,405 \cdot 7,5 \cdot 0,0677 \cdot 1 = 0,205 \text{ м}^3 \text{ (0,205 м}^2\text{)}.$$

Рівнодіюча опору ґрунту за формулою (12):

$$R = 0,205 \frac{3000}{1,35 \cdot 7,5} = 60,74 \text{ тс} = 607,4 \text{ кН.}$$

Несна здатність арки шириною 1 м від опору ґрунту за формулою (11):

$$q_z = 1,377 \frac{60,74}{7,5} = 11,152 \text{ т/м} = 111,52 \text{ кН/м.}$$

Власна (поза ґрунтом) несна здатність арки в пружній стадії роботи за формулою (9):

$$q_0 = \frac{2300}{\frac{0,09 \cdot 750^2}{275,8} + \frac{1,05 \cdot 750}{83,8}} = 11,92 \text{ кг/см} = 1,192 \text{ т/м} = 11, \text{кН/м.}$$

Розрахункове тимчасове навантаження на арку шириною 1 м за формулами (2), (4) і (5):

$$p_m = \frac{100}{7,406 \cdot 7,106} = 1,90 \text{ т/м} = 19,0 \text{ кН/м.}$$

Оскільки довжина тимчасового навантаження $a = 7,604$ м менше за довжину прогону арки, 15 м, приймаємо еквівалентне тимчасове навантаження при площі $\omega_M = 2,151 \text{ м}^2$ лінії впливу на **рис. 2** у межах довжини навантаження a , розміщеного над верхом лінії впливу, та при сумарній її площі, $\omega_{M,\Sigma} = 2,5267 \text{ м}^2$, за формулами (8) і (7):

$$M_{\max} = 1,90 \cdot 2,151 = 4,0869 \text{ т/м} = 40,869 \text{ кН/м,}$$

$$p_{m,eq} = \frac{4,0869}{2,5267} = 1,6175 \text{ т/м} = 16,175 \text{ кН/м.}$$

Розрахункове навантаження на споруду за осередненої ваги конструкцій арки шириною 1 м, на 1 м довжини прогону 0,103 т/м:

$$p_n + p_{m,eq} = 1,8 \cdot 3 \cdot 1,3 + 0,103 \cdot 1,05 + 1,6175 \cdot 1,1 = 8,907 \text{ т/м} = 89,07 \text{ кН/м.}$$

Основна розрахункова умова (1) виконується:

$$8,907 \text{ т/м} = 89,07 \text{ кН/м} < (1,192 + 11,152) \cdot 0,9 = 11,11 \text{ т/м} = 111,1 \text{ кН /м.}$$

Умова (16) обмеження напружень σ в арці величиною розрахункового опору металу, R_{cm} , враховуючи, що при активації опору ґрунту на арку з прогином $f_{zp} = 6,77$ см поздовжня сила N від розрахункового навантаження $p_n + p_{m,eq} = 8,907 \text{ т/м}$ збільшується, порівняно з її значенням від навантаження $q = 0,0677 / (0,086 \cdot 7 / 6) = 0,675 \text{ т/м}$ перед активацією опору ґрунту, а момент не збільшується через те, що опір ґрунту унеможливує подальші переміщення арки у бік ґрунту після навантаження понад 0,675 т/м, також виконується:

$$\sigma = \frac{0,09 \cdot 0,675 \cdot 7,5^2}{0,0002758} + \frac{1,05 \cdot 8,907 \cdot 7,5}{0,00838} = 20760 \text{ т/м}^2 = 207,60 \text{ МПа} < R_{cm} = 230 \text{ МПа.}$$

Висновки

За результатами розрахунково-теоретичних досліджень викладено доповнення до методики аналітичного розрахунку аркових мостових споруд з гофрованого металу з урахуванням реальних умов кріплення конструкцій до фундаменту, розрахунковою схемою яких є двошарнірна арка. Показана можливість розроблення методики практичного розрахунку розглянутих транспортних об'єктів в рамках загальноприйнятих закономірностей статички споруд і механіки ґрунтів з використанням відомих методів будівельної механіки, зокрема теорії ліній впливу та простих зрозумілих розрахункових схем.

Аналогічний підхід можливий і для розрахунку дорожніх споруд з гофрованого металу інших форм отвору.

Список літератури

1. Абрамов В. М. Розрахунок несної здатності аркової дорожньої споруди аналітичним способом. *Дороги і мости*. 2024. Вип. 30. Київ. С. 345–352. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.345>.
2. Абрамов В. М. Аналітичні і скінчено-елементні розрахунки дорожніх споруд різних форм з гофрованого металу за деформаційним критерієм. *Дороги і мости*. Київ, 2025. Вип. 31. С. 234–243. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2025.31.234>.
3. ВБН В.2.3-218:2007 Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд з металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2007. 49 с. (Інформація і документація).
4. Handbook of Steel Drainage and Highway Construction Products. American Iron and Steel Institute. Washington, DC, USA. Canadian Edition. Corrugated Steel Pipe Institute. Cambridge, Ontario, Canada, 2010. 470 p.
5. Highway Structures and Bridges Design. CD 375 Design of corrugated steel buried structures. Highway England. London. 2020. 42 p.
6. Абрамов В. М. Про тимчасове навантаження на аркові споруди з гофрованого металу під дорожнім насипом. *Дороги і мости*. 2024. Вип. 30. Київ. С. 338–344. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.338>.
7. 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/vt1202312>.

References

1. 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 metod). *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2024. Issue 30. P. 345–351. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.345> [in Ukrainian].
2. Abramov V. M. Analitychni i ckincheno-elementni rozrahunky dorozhnikh sporud riznykh form z hofrovanoho metalu za deformatsyinyim kryteriem. (Analytical and finite element calculations of road structures of different forms from corrugated metal according to the deformation criterion). *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2025. Issue 31. P. 234–243. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2025.31.234> [in Ukrainian].
3. VBN V.2.3-218-198:2007 Sporudy transportu. Proektuvannya ta budivnyctvo sporud z metalevikh hofrovanykh konstrukcy na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannya. (VBN V.2.3-218-198:2007 Transport structures. Design and constraction of structures from metal corrugated structures on public highways). Kyiv, 2007. 49 p. [in Ukrainian].
4. Handbook of Steel Drainage and Highway Construction Products. American Iron and Steel Institute. Washington, DC, USA. Canadian Edition. Corrugated Steel Pipe Institute. Cambridge, Ontario, Canada, 2010. 470 p. [in English].
5. Highway Structures and Bridges Design. CD 375 Design of corrugated steel buried structures. Highway England. London. 2020. 42 p. [in English].

6. 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].

7. Abramov V. M. Hranyichni deformatsiyi dorozhnikh sporud z hofrovanoho metalu (Boundary deformation of road structures made of corrugated metal). *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky: zb. nauk. prats*. Rivne: NUVHP, 2023. Vyp. 1(101). P. 143–149. DOI: <https://doi.org/10.31713/vt12202312> [in Ukrainian].

Volodymyr Abramov, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-6911-5178>

Institute of Architecture and Construction IFNTUNG-DonNABA of Ivano-Frankivsk National University of Oil and Gas, Ukraine

SUPPLEMENT TO THE METHODOLOGY FOR CALCULATING BRIDGE STRUCTURES MADE OF CORRUGATED METAL TAKING INTO ACCOUNT THE CONDITIONS OF FIXING THE STRUCTURES TO THE FOUNDATION

Abstract

Introduction. The results of research and developments on supplementing the methodology for calculating corrugated metal bridge structures on highways, taking into account the actual conditions of fastening structures to the foundation, are presented. Structures in the form of a semicircular arch with spans of 8 – 18 m, which are most suitable for use in return small bridges with typical massive structures, are considered.

Problem Statement. The current regulatory and methodological documents regarding the use of road structures made of corrugated metal, which are quite efficient in terms of their technical and economic indicators, are insufficiently comprehensive and imperfect, complicating the design of such structures, particularly calculations, and do not promote their implementation in highway construction practice. This is especially true for arch bridges with spans over 8 meters, for the design of which the existing standards contain almost nothing, especially in terms of calculations.

Purpose. The development of proposals for improving the relevant regulatory framework, supplementing the methodology for analytical calculation of bridge structures, particular arch bridges, taking into account the specifics of support node designs, in the goal and objective of this work.

Research methods and results. The methodological basis of the work is calculation-theoretical research with numerical modeling using the finite element method (FEM) for the development of supplements to analytical calculation methods for arch systems, and analysis of the interaction of flexible corrugated metal arch structures with the soil of road embankments. For the calculation of structures considering the conditions of fastening the structures to the foundation, whose calculation scheme is a two-hinged arch, the obtained data on the distribution of bending moment and axial force in the arch sections depending on the uniformly distributed vertical load along the span and its radius are presented. The possibility and convenience of using influence lines of forces and arch deflection for practical calculations are shown. Standard influence lines are provided for arches of different radius and corrugation shapes, along with a numerical example of the calculation.

Conclusions. Proposals have been made to supplement the analytical calculation of the structures considered, taking into account the actual conditions of fastening the structures to the foundation. The possibility of developing a practical calculation method for corrugated metal bridge structures within the generally accepted principles of structural statics and soil mechanics, using well-known methods of construction mechanics and simple, understandable calculation schemes, has been demonstrated.

Keywords: two-binged arch, calculation scheme, forces bridge, deflection, lines of influence.

УДК 624.21/.8

Веретельніков О. С., <https://orcid.org/0009-0002-4757-0134>Остапчук В. Ю., <https://orcid.org/0000-0002-3903-6591>

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

АКТУАЛЬНІСТЬ ЗБЕРЕЖЕННЯ НИЖНІВСЬКОГО МОСТУ ЯК ПАМ'ЯТНИКА МОСТОБУДУВАННЮ

Анотація

Вступ. Ця стаття розкриває історичну та архітектурну цінність мостів віком понад 100 років на прикладі моста у селі Нижнів Івано-Франківської області. У статті наведено загальний опис споруди, дані про її технічний стан на основі результатів обстеження 2023 року; підкреслено важливість збереження даного мосту після майбутнього закриття по ньому автомобільного руху та будівництва нової сучасної споруди; висвітлено світовий досвід збереження історичних мостів зі зміною їх початкової функції як автомобільних чи залізничних мостів; надано пропозиції балансоутримувачам щодо експлуатаційних заходів зі збереження історичних мостів як об'єктів атракції.

Проблематика. Відсутність в Україні механізмів та попиту на збереження історично цінних мостів після виведення їх з експлуатації як автомобільних чи залізничних та перетворення їх в об'єкти атракції як пам'ятники мостобудуванню.

Мета. Наголосити на необхідності збереження старого Нижнівського моста з перетворенням його на об'єкт атракції. Висвітлити світовий досвід у даному контексті. Надати пропозиції балансоутримувачам щодо створення умов для збереження історичних мостів.

Матеріали та методи. Для висвітлення проблеми збереження та ревіталізації старого Нижнівського мосту проведено аналіз світового досвіду збереження історичних мостів та перетворення їх в туристичні об'єкти.

Результати. Визначено шляхи збереження історичних мостів відповідно до світового досвіду.

Висновки. Вивчено світовий досвід збереження історично цінних мостів, які виведені з експлуатації як автомобільні чи залізничні мости та пристосування їх до нової функції. Запропоновано масштабувати світовий досвід на історично цінні мости в Україні.

Ключові слова: арка, архітектурна виразність, вантажопідйомність, відновлення, габарит, історична спадщина, капітальний ремонт, міст, обстеження, ферма.

Виклад матеріалу

Фермовий міст через р. Дністер у с. Нижнів (**рис. 1** і **рис. 2**). Міст побудовано у 1908-1910 рр. Він є прикладом транспортної споруди часів панування Австрії на цих землях. Складається з 13 прогонів. Дев'ять прогонів перекриті малими фермами з паралельними поясами з трикутними ґратками й додатковими підвісками (стійками) довжиною 26,87 м. По довжині кожна ферма розбита на шість панелей (нижній пояс). Чотири руслові прогони перекриті великими полігональними фермами з їздою понизу трикутними ґратками довжиною 50,07 м. По довжині кожна ферма розбита на дванадцять панелей (на обох поясах). Металеві ферми пофарбовані в буро-червоний колір, що надає їм непересічного вигляду. Дугоподібна форма полігональних руслових ферм збагачує образ споруди. Масивні опори виконані з великих кам'яних блоків і залізобетону та мають заокруглені торці. Споруда розташована на відкритій місцевості та чудово проглядається з розташованого неподалік пляжу.



Рисунок 1 — Вид на малі ферми з паралельними поясами



Рисунок 2 — Вид на великі полігональні ферми

Останнє обстеження споруди було виконане співробітниками ДП «ДерждорНДІ» (зараз ДП «НІРІ») у 2023 році. У результаті обстеження було виявлено ряд проблем мосту: по всій довжині споруди зафіксовані викривлення стійок, розкосів та поперечних вітрових зв'язків верхніх поясів ферм унаслідок ударів транспортних засобів; значне корозійне зношення елементів поперечного з'єднання головних ферм; за результатами розрахунку вантажопідйомності прогонових будов, визначено їхні фактичні значення. Оскільки міст було побудовано у 1908-1910 роках (та ще й за нормам країни, яка уже не існує) його розрахункове рухоме навантаження невідоме. Проте, згідно з ДБН В.2.3-22 [1], для мостів, які збудовані до 1957 року, навантаження приймають Н-13, НГ-60. Металеві мости, що побудовані під таке розрахункове навантаження здатні пропускати транспортні засоби з масою: 19 тонн для загального режиму руху в колоні, вага однієї осі 12 тонн та для одиничного великовагового транспортного засобу за спеціальними умовами руху – 60 тонн. Така вантажопідйомність навіть при справному стані споруди не відповідає сучасним вимогам, тим

більше з урахуванням дефектів, які знижують вантажопідйомність мосту. Сьогодні нові мости на автомобільних дорогах загального користування державного значення проєктують під розрахункове навантаження А15, НК-100 (відповідно до ДБН В.1.2-15) [2], яке забезпечує пропуск спорудою у справному стані автомобільного транспорту масою: 46 тонн для загального руху в колоні, вага однієї осі 15 тонн та 100 тонн для одиничного великовагового транспортного засобу за спеціальними умовами руху.

Зважаючи на всі проблеми даної споруди, а саме: недостатній габарит проїзду та неможливість його збільшення у зв'язку з особливостями конструкції ферми з їздою понизу, невідповідність вантажопідйомності мосту сучасним вимогам, значна корозія поперечних балок, очевидним є факт, що рано чи пізно стане актуальним питання будівництва нового мосту на важливому логістичному шляху.

У такому випадку постає питання що робити з наявним мостом. Відповідь очевидна – зберегти його, оскільки він є цінним та досить рідкісним для України екземпляром історичного мосту віком понад 100 років. Дана споруда пережила дві світові війни (хоч і не без руйнувань), проте була відновлена в первісному вигляді. Тому міст заслуговує бути збереженим як пам'ятник мостобудуванню в Україні. Так, він не спроможний повноцінно пропускати сучасне автомобільне навантаження, проте він без проблем може стати велопішохідним мостом і це розповсюджена практика у світі.

Світових прикладів збереження історичних мостів не за їх прямим призначенням є дуже багато і ось деякі з них.

1. Залізний міст в Англії 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 [3]. Він дійсно є унікальною спорудою, яка є пам'ятником технічному прогресу та мостобудуванню в Англії та повністю заслужено став об'єктом атракції.

2. Міст Валентре у Франції є черговим прикладом збереження історичного мосту як пішохідного. Міст збудовано у 1308-1378 роках у готичному стилі. Споруду виконано з 6 прогонів з кам'яних стрільчастих готичних арок. Руслові опори обладнані льодорізами. На двох опорах влаштовано високі оборонні вежі [4].

3. Міст Сен-Бенезе у Франції споруджений у 1355 році. Споруда виконана з кам'яних арок та прикрашена каплицею на одній з опор. Міст зазнавав багатьох руйнувань протягом століть. Насьогодні споруда є частково розібраною та складається з 4 прогонів. У зв'язку із цим міст не перетинає річку повністю та слугує оглядовим майданчиком з видом на річку й місто Аваньйон [5].

4. Залізничний міст у м. Хо Чи Мінг у В'єтнамі побудований у 1902 році. Виконаний зі сталевих полігональних ферм з їздою понизу. У 2020 році споруду було розібрано, а два прогони залишили як пам'ятник цьому мосту [6].

5. Залізничний міст через р. Дніпро в м. Канів побудований у першій половині ХХ століття (точний час будівництва невідомий, але скоріш за все, 1930-ті роки). За конструкцією це споруда з металевих полігональних ферм. На теперішній час міст частково розібраний, проте нині збережено три прогони та вісім опор. Міст чудово проглядається з обох берегів Дніпра та є чудовим нагадуванням про історію мостобудування в Україні [5].

6. Металевий міст через річку Дністер у Галичі був зведений ще за Австрійських часів, протягом 1906-1910 років. 6-прогоновий металевий міст довжиною 312 м виконаний з ажурних металевих ферм перемінної висоти з підвищеннями над проміжними опорами. Споруда зазнавала багатьох руйнувань, проте щоразу її відновлювали у первісному вигляді. У 1981 році паралельно зі старим мостом було споруджено новий, а існуючий міст перетворили в пішохідний. У 2006 та у 2014 роках виконували капітальний ремонт. У теперішній час міст функціонує як пішохідний об'єкт інженерної інфраструктури та забезпечує прокладання трубопроводу [8].

7. Мабуть одним з найбільш видовищних прикладів збереження старого мосту зі зміною його основної функції є естакада High Line Park у місті Нью-Йорк. Залізничну естакаду було

відкрито у 1934 році, проте до 1980 року ця залізнична гілка припинила своє функціонування та була закинута протягом 30 років. У 2011 році було відкрито першу чергу парку High Line, який влаштований на естакаді над вулицями міста. Даний парк заслужено вважається одним з найунікальніших у світі. Успішна реалізація цього проєкту дала поштовх до появи схожих ідей і концепцій по всьому світу [9].

8. Walnut Street Bridge у місті Чатануга в США побудований у 1890 році. Виконаний з металевих полігональних ферм з їздою понизу на високих залізобетонних опорах з облицюванням каменем. У 1978 році міст було закрито для автомобілів, проте згодом його було перетворено у пішохідний. У 1990 році споруду було додано до Національного реєстру історичних місць [10].

Отже, світова практика утримання історичних мостів показує, що тенденція щодо їхнього збереження після виведення з експлуатації є поширеною. Україна також не є винятком у цьому плані, проте цей процес можна зробити загальноприйнятим. Збереження Нижнівського мосту стане вагомим прикладом поважного ставлення до цінної історичної транспортної споруди.

Серед розглянутих вище варіантів експлуатаційних заходів щодо історичних мостів, можна виділити основні напрямки їхнього збереження як цінних об'єктів: повне збереження споруди зі зміною її призначення на пішохідний або велопішохідний міст; також збереження декількох його прогонів та опор як пам'ятника мостобудуванню, проте такий варіант частіше використовують при руйнуванні частини його конструкцій з різних причин, не пов'язаних з організованим демонтажем.

Найкращим серед перерахованих вище варіантів, вочевидь, є переведення моста у вело-пішохідний, як це зробили у Галичі, Англії, Франції чи Сполучених штатах Америки. Проте є деякі перешкоди, що ускладнюють таке рішення: додаткова вартість його ремонту та подальшого утримання; також доцільність влаштування велопішохідного моста за межами населеного пункту. На відміну від Галича, де споруда розташована в самому місті. Хоча цілком можливим є варіант влаштування велошляху між селами в майбутньому. Проте збереження Нижнівського моста має й ряд позитивних моментів: крім його історичної цінності та естетичної привабливості, він також слугує як трубопровід. Тому під час будівництва нового моста не потрібно буде передбачати перенесення існуючої труби.

Прикладом одночасного використання та обслуговування паралельних пішохідного та автомобільного мостів є місто Могилів-Подільський у Вінницькій області, де старий арковий міст 1939 року побудови пропускає виключно автомобілі, у той час як для руху пішоходів у 2021 році було споруджено окремих міст.

У такому контексті, під час проєктування нового моста в селі Нижнів можна передбачити лише один службовий прохід, тим самим знизивши вартість нового мосту.

Збереження старого Нижнівського мосту стане визначним прикладом дбайливого ставлення до історичної спадщини. Першим кроком на шляху до цього може стати надання статусу пам'ятки архітектури (навіть місцевого значення) цій споруді та низці подібних історичних мостів по всій Україні. У світлі цього пропонується балансоутримувачам визначити мости, які можуть претендувати на даний статус та виконати відповідні процедури. Це дасть можливість, хоч і не зараз, а в майбутньому, отримати додаткове фінансування на їхнє утримання, навіть після того як вони перестануть виконувати свою функцію як автомобільні мости.

Старі мости, які мають історичну та архітектурну цінність, можуть та мусять мати право жити другим життям як об'єкти атракції та пам'ятники технічному прогресу.

Висновки

У статті описано стан і проблеми старого моста в селі Нижнів Івано-Франківської області на основі останнього обстеження споруди у 2023 році, розглянуто світовий досвід збереження історичних мостів, які більше не можуть пропускати автомобільний і залізничний транспорт або втратили свою актуальність внаслідок зміни транспортних шляхів. Найбільш поширені експлуатаційні заходи передбачають заборону руху по мосту автомобільного чи залізничного

транспорту з переведенням споруди у велопішохідну, також збереження окремих частин споруди з доступом до них людей або без доступу — як пам'яток мостобудуванню. Наведені заходи можуть бути застосовані для українських історичних мостів. Запропоновано балансоутримувачам мостів визначити мости, які можуть претендувати на статус пам'яток архітектури та виконати відповідні процедури.

Список літератури

1. ДБН В.2.3-22:2025 Мости і труби. Основні вимоги проектування. Київ, 2025. 40 с (Інформація та документація).
2. ДБН В.1.2-15:2009 Споруди транспорту. Навантаження та впливи. Мости та труби. Київ, 2009. 66 с (Інформація та документація).
3. Залізний міст (Англія) URL: <https://uk.wikipedia.org/> Залізний міст (Англія) (дата звернення: 04.04.2025).
4. Pont Valentré URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Pont_Valentré (дата звернення: 04.04.2025).
5. Pont Saint-Bénézet URL: https://simple.wikipedia.org/wiki/Pont_Saint-Bénézet (дата звернення: 04.04.2025).
6. Ho Chi Minh City allowed to preserve watchtower, 2 spans of century-old railway bridge URL: <https://tuoitrenews.vn/news/society/20240924/ho-chi-minh-city-allowed-to-preserve-watchtower-2-spans-of-centuryold-railway-bridge/82113.html> (дата звернення: 04.04.2025).
7. Залишки залізничного моста | руїни URL: <http://wikimapia.org/10486136/uk/Залишки-залізничного-моста> (дата звернення: 16.04.2025).
8. Галицький міст URL: <https://galych.com.ua/istoriia-halycha/arkhitektura/item/571-halytskyi-mist> (дата звернення: 16.04.2025).
9. 5 сучасних парків на місці занедбаних залізниць (фото) URL: <https://vsviti.com.ua/collections/23599> (дата звернення: 23.01.2026).
10. Walnut Street Bridge (Chattanooga) URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Walnut_Street_Bridge_\(Chattanooga\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Walnut_Street_Bridge_(Chattanooga)) (дата звернення: 23.01.2026).

References

1. DBN B.2.3-22:2025 Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannia [State Building Norms (DBN B.2.3-22:2025) Bridges and pipes. Basic design requirements]. Kyiv, 2009. 40 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
2. DBN B.1.2-15:2009 Sporudy transportu. Navantazhennya i vplyvy. Mosty ta truby. [State Building Norms (DBN B.1.2-15:2009) Transport structures. Loads and impacts. Bridges and pipes]. Kyiv, 2009. 66 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
3. The Iron Bridge URL: <https://uk.wikipedia.org/> Залізний міст (Англія) (Last accessed: 04.04.2025) [in Ukrainian].
4. Pont Valentré URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Pont_Valentré (Last accessed: 04.04.2025) [in English].
5. Pont Saint-Bénézet URL: https://simple.wikipedia.org/wiki/Pont_Saint-Bénézet (Last accessed: 04.04.2025) [in English].
6. Ho Chi Minh City allowed to preserve watchtower, 2 spans of century-old railway bridge URL: <https://tuoitrenews.vn/news/society/20240924/ho-chi-minh-city-allowed-to-preserve-watchtower-2-spans-of-centuryold-railway-bridge/82113.html> (Last accessed: 04.04.2025) [in English].
7. Remains of a railway bridge | ruins URL: <http://wikimapia.org/10486136/uk/> Залишки залізничного-моста (Last accessed: 16.04.2025) [in Ukrainian].
8. Halych bridge URL: <https://galych.com.ua/istoriia-halycha/arkhitektura/item/571-halytskyi-mist> (Last accessed: 16.04.2025) [in Ukrainian].

9. 5 modern parks instead of the abandoned railways (photo) URL: <https://vsviti.com.ua/collections/23599> (Last accessed: 23.01.2026) [in Ukrainian].

10. Walnut Street Bridge (Chattanooga) URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Walnut_Street_Bridge_\(Chattanooga\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Walnut_Street_Bridge_(Chattanooga)) (Last accessed: 04.04.2025) [in English].

Oleh Veretelnikov, <https://orcid.org/0009-0002-4757-0134>

Vitalii Ostapchuk, <https://orcid.org/0000-0002-3903-6591>

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

THE RELEVANCE OF PRESERVING THE NIZHNIV BRIDGE AS A MONUMENT OF BRIDGEBUILDING

Abstract

Introduction. This article reveals the historical and architectural value of bridges over 100 years old using the example of a bridge in the village of Nyzhniv, Ivano-Frankivsk region. The article will provide a general description of the structure, data on its technical condition based on the results of a 2023 inspection; emphasize the importance of preserving this bridge after the future closure of it to road traffic and the construction of a new modern structure; highlight the world experience of preserving historical bridges with a change in their original function as road or railway bridges; provide proposals to balance holders regarding operational measures to preserve historical bridges as attractions.

Problem Statement. The lack of order and demand for the preservation of historically valuable bridges in Ukraine after they stop functioning as automobile or railway bridges and their transformation into attractions as monuments to bridge construction.

Purpose. Emphasize the need to preserve the old Nyzhniv Bridge and turn it into an attraction. Highlight world experience in this context. Provide proposals to balance holders on creating conditions for the preservation of historical bridges.

Materials and methods. An analysis of world experience in preserving historical bridges and transforming them into tourist attractions was conducted to highlight the problem of preserving and revitalization of the old Nyzhniv Bridge.

Results. Ways to preserve historic bridges have been identified in accordance with world experience.

Conclusions. The world experience of preserving historically valuable bridges that have been decommissioned as automobile or railway bridges and adapting them to a new function has been studied. It is proposed to scale the world experience to historically valuable bridges in Ukraine.

Keywords: bridge, historical heritage, architectural expression, inspection, restoration, major repairs, arch, truss, passage dimensions, load capacity.

УДК 69.05:006.07

Новак Є. В., канд. техн. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-8512-6344>Галунка О. Д., канд. екон. наук, <https://orcid.org/0000-0002-3437-2553>*Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, м. Чернівці, Україна*

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ БУДІВНИЦТВА ПІД ЧАС ПЕРЕХОДУ ДО ЄВРОПЕЙСЬКОЇ СИСТЕМИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ

Анотація

Вступ. Перехід будівельної галузі України до європейської системи стандартизації на основі EN та гармонізованих технічних специфікацій спричиняє глибоку трансформацію організаційно-технологічних процесів і механізмів управління якістю. Актуальність цього процесу зумовлена вимогами інтеграції до єдиного ринку ЄС та необхідністю підвищення конкурентоспроможності будівельних підприємств.

Проблематика. Попри інституційну інтеграцію положень Регламенту (ЄС) № 305/2011 до національного законодавства, практична адаптація будівельних організацій стикається з низкою труднощів: модернізація виробничих процесів, впровадження процедур оцінювання відповідності, забезпечення економічної ефективності та гармонізація технологічних рішень із новими нормативними вимогами.

Мета. Метою дослідження є комплексний аналіз організаційних, технологічних та економічних аспектів управління якістю в будівництві в умовах переходу до європейської системи стандартизації та визначення оптимальних моделей адаптації підприємств.

Матеріали і методи. Методологічну основу становлять аналіз нормативно-правових актів України та ЄС, сучасних наукових джерел з питань стандартизації, методики оцінювання відповідності, процесного управління та економічної ефективності. Застосовано системний, порівняльний, функціональний та економіко-аналітичний підходи.

Результати. У статті обґрунтовано взаємозв'язок між гармонізацією нормативної бази, цифровізацією контролю якості, впровадженням ризик-орієнтованих підходів та економічними механізмами забезпечення ефективності. Визначено ключові бар'єри переходу до EN, розкрито роль технічної оцінки та маркування CE, узагальнено наукові підходи до оптимізації організаційних процесів у контексті євроінтеграції.

Висновки. Комплексна модернізація системи управління якістю є необхідною умовою сталого розвитку будівельної галузі. Ефективне впровадження європейських стандартів потребує узгодженості нормативних вимог, технологічного оновлення та економічного обґрунтування управлінських рішень.

Ключові слова: будівництво, євроінтеграція, організаційно-технологічні процеси, організація будівництва, оцінювання відповідності, Регламент (ЄС) № 305/2011, стандарти EN, система управління якістю, технічна прийнятність, цифровізація, управління якістю.

Вступ

Глибинні трансформації, що відбуваються у будівництві під впливом інтеграційних процесів та необхідність адаптації національної нормативно-технічної бази до вимог ЄС призвели до того, що перехід до європейських стандартів EN та гармонізованих технічних специфікацій стає не лише обов'язковою умовою зовнішньоекономічної діяльності, але й ключовим чинником підвищення конкурентоспроможності українських будівельних підприємств на внутрішньому й міжнародному ринках. У таких умовах управління якістю набуває системного характеру, оскільки поєднує

організаційні рішення, сучасні технології виробництва будівельної продукції та економічні механізми забезпечення ефективності будівельних процесів.

Європейська система стандартизації ґрунтується на принципах прозорості, інтегрованості та орієнтації на життєвий цикл об'єкта, що вимагає від вітчизняних підприємств не тільки формального впровадження нових норм, а й трансформації організаційно-технологічних процесів: переходу до методів управління ризиками, цифровізації контролю якості, запровадження процедур відповідності матеріалів і процесів вимогам директив ЄС та маркування СЕ. Економічний складник цих змін також є критичним, оскільки інтеграція сучасних стандартів якості потребує оптимізації витрат, переорієнтації інвестицій, зміни системи фінансового планування та доведення економічної ефективності впровадження нових технологій.

Аналіз сучасних нормативних, наукових і методичних джерел свідчить про те, що проблематика організаційно-технологічного та економічного забезпечення якості у будівництві в умовах інтеграції до європейського простору є однією з ключових у науково-практичній дискусії. Центральним нормативним документом виступає Регламент (ЄС) № 305/2011, який визначає гармонізовані умови для функціонування ринку будівельної продукції, включаючи вимоги до оцінки та перевірки стабільності показників, маркування СЕ та забезпечення технічної відповідності [1]. Національне законодавство, представлене Законом України «Про надання будівельної продукції на ринку» [2], а також постановами Кабінету Міністрів України № 596 [3], № 89 [4], № 1458 [5] та процедурою розроблення національних документів з визначення прийнятності [6], демонструє системну інтеграцію положень Регламенту (ЄС) № 305/2011 у правове поле України. Це створює нову інституційну рамку, у межах якої управління якістю у будівництві набуває структурно змінених функцій і процедур.

У науковій літературі питання гармонізації стандартів та впровадження систем управління якістю розглядаються крізь призму міжнародних вимог, зокрема положень ДСТУ ISO 9000:2015 [7]. Дослідники наголошують, що ефективна адаптація нових норм неможлива без переосмислення організаційних моделей та технологічних процесів. Так, у працях [9-22] розкрито проблемні аспекти сертифікації дорожньо-будівельних матеріалів відповідно до ДСТУ EN ISO/IEC 17065:2019 та вимог Закону України «Про надання будівельної продукції на ринку» [8]. У роботах [9], [10], [13] презентовано підходи до вдосконалення організаційних систем у будівництві, планування виробничих програм і оцінювання технологічних процесів, що відображає інтеграцію управління якістю у загальну модель управління підприємством.

Значний обсяг літератури присвячено формуванню системи визначення технічної прийнятності та оцінювання відповідності інноваційної будівельної продукції. Праці [11, 12] розкривають методичні засади створення національних документів з визначення прийнятності та впровадження європейських підходів ЕТА / EAD. Дослідження [17] надають порівняльний аналіз досвіду країн Європи й Азії щодо технічної оцінки, що дозволяє краще зрозуміти можливості адаптації цих механізмів у національну систему. Окремі аспекти процедур обстеження виробництва в процесі сертифікації матеріалів розглянуто у роботах [21], тоді як застосування європейських документів для визначення прийнятності конкретних категорій продукції висвітлено у дослідженні [22].

Економічний вимір питань управління якістю, зокрема методи оцінювання ефективності регуляторної політики та фінансової безпеки підприємств, розкрито у статтях [14], [15], а також у монографіях [16, 18]. Ці дослідження доводять необхідність інтеграції економетричних моделей, фінансових механізмів та інструментів оцінювання ризиків у систему управління якістю. Окремо питання аналітичних інструментів фінансової безпеки представлено в роботі [19]. Методологічні підходи до побудови систем запобігання руйнуванню діяльності учасників будівництва, що безпосередньо впливають на загальну якість виробничих процесів, запропоновано у статті [20].

Сучасний науковий дискурс щодо організаційно-технологічних та економічних аспектів управління якістю у будівництві формується на перетині трьох взаємопов'язаних напрямів: нормативно-правової гармонізації з європейськими вимогами [1-6], розвитку технологічних і

процедурних механізмів оцінювання відповідності та технічної прийнятності [8, 11, 12, 17, 21, 22], а також економічного забезпечення системи управління якістю на рівні підприємства й галузі [13–16, 18–20]. Синтез цих напрямів вказує на необхідність комплексного підходу до модернізації системи управління якістю в умовах євроінтеграції та підтверджує актуальність подальших досліджень у цьому науковому полі.

З огляду на це, дослідження взаємозв'язку організаційних, технологічних і економічних аспектів управління якістю в період переходу до європейської системи стандартизації є вкрай важливим для формування науково обґрунтованих підходів до модернізації будівництва. Воно дозволяє визначити оптимальні моделі адаптації підприємств, підвищити результативність систем процесного управління, забезпечити узгодженість між нормативними вимогами й виробничими можливостями та створити підґрунтя для сталого розвитку будівельного сектору в умовах інтеграції до європейського економічного простору.

Основна частина

Управління якістю в будівництві характеризується багаторівневістю, охоплює планування, організацію, контроль і забезпечення відповідності продукції встановленим вимогам. Важливою методологічною основою є міжнародні стандарти серії ISO 9000, включно з ДСТУ ISO 9000:2015 [7], які визначають принципи процесного підходу, орієнтації на споживача, системності та постійного вдосконалення.

Сучасна наукова думка підкреслює, що якість будівельної продукції формується на перетині організаційних рішень, технологічних процесів та економічного забезпечення підприємства [9, 10]. При цьому ключова роль належить здатності системи управління реагувати на нормативні зміни та інтегрувати інноваційні підходи до оцінювання відповідності й виробничого контролю.

Регламент (ЄС) № 305/2011 [1] визначає гармонізовані умови для розміщення будівельної продукції на ринку ЄС та встановлює вимоги до основних характеристик продукції, систем оцінки та перевірки стабільності показників (AVCP), маркування CE, ролі нотифікованих органів. Європейські технічні документи, такі як EN-стандарти та EAD, створюють єдине інформаційне поле, у межах якого оцінюється технічна прийнятність продукції. Українська система повинна забезпечити сумісність власних процедур із цими принципами.

Технічна оцінка (ETA) та маркування CE відіграють ключову роль у забезпеченні доступу будівельної продукції до європейського ринку. Європейська технічна оцінка (ETA) є документом, що підтверджує придатність продукції до використання на основі єдиних технічних специфікацій EAD, розроблених Європейською організацією з технічного оцінювання (EOTA). Наявність ETA дає можливість виробнику декларувати характеристики продукції згідно з CPR та використовувати CE-маркування, яке засвідчує відповідність продукції встановленим у ЄС вимогам.

CE-маркування є не лише ідентифікаційним знаком, а й інструментом прозорості ринку, оскільки надає користувачам повну інформацію про стабільність технічних показників продукції та її призначення. Технічна оцінка дозволяє інтегрувати на ринок інноваційні будівельні матеріали, які не мають гармонізованих стандартів EN, що особливо важливо для технологічного розвитку галузі. Крім того, на основі ETA виробник формує Декларацію експлуатаційних характеристик (DoP), яка гарантує простежуваність і відповідальність за якість продукції.

Отже, інститут технічної оцінки виступає мостом між інноваціями й регуляторними вимогами, а CE-маркування — ключовим механізмом інтеграції на європейський ринок і підтвердження довіри до продукції.

Національне законодавство останніх років зазнало суттєвої модернізації. Прийняття Закону України № 850-IX [2], Постанов КМУ № 596 [3], № 1458 [5], № 89 [4], а також затвердження процедури створення національних документів з визначення прийнятності (НДВП) [6] сформували систему, яка структурно наближається до європейських підходів. Ці документи визначають структуру AVCP-систем в Україні, процедури технічної оцінки та видачі документів про прийнятність, вимоги до інспектування виробництва, компетентність органів оцінки відповідності.

Наукові дослідження вітчизняних авторів підтверджують необхідність формування чіткої й прозорої інституційної моделі, яка б забезпечувала узгодженість між національним і європейським регуляторним полем [11, 12, 17].

Перехід до європейської системи стандартів впливає на всі стадії виробничого циклу будівельної продукції. До ключових змін належать:

1. Підвищення технологічної дисципліни — необхідність стабільності характеристик продукції згідно з AVCP [3, 5].
2. Посилення виробничого контролю — запровадження системи Factory Production Control (FPC), що потребує документування, вимірювання та простежуваності.
3. Інноваційність виробництва — розробка нових матеріалів і технологій пов'язана з процедурою технічної оцінки (ETA / EAD), що вимагає відповідного методичного забезпечення [11, 22].
4. Інспектування виробництва — як елемент сертифікації та підтвердження стабільності якості [21].

Таким чином, організаційно-технологічна складова управління якістю не може бути відокремлена від нормативних вимог і потребує інтегрованого підходу. Гармонізація стандартів створює як додаткові витрати, так і значні конкурентні переваги. Дослідники наголошують, що ефективне управління якістю сприяє:

- підвищенню ринкової довіри до продукції [14];
- зменшенню втрат від браку;
- підвищенню ефективності виробничої програми [10];
- зміцненню фінансової безпеки підприємства [19];
- оптимізації інвестицій у модернізацію технологій [15; 18].

Економетричні моделі дозволяють оцінити доцільність упровадження AVCP-систем та нових методів контролю якості, що є важливим для стратегічного планування на підприємствах [20].

На основі аналізу джерел сформовано концептуальний підхід до побудови інтегрованої моделі забезпечення якості будівництва, що поєднує три ключові компоненти (**табл. 1**): *нормативно-правовий компонент*, який забезпечує відповідність CPR та національному законодавству; *організаційно-технологічний компонент*, орієнтований на стабільність характеристик, простежуваність, інноваційність та виробничий контроль; *економічний компонент*, спрямований на оптимізацію витрат, підвищення фінансової стійкості та забезпечення конкурентних переваг.

Такий підхід дозволяє ідентифікувати критичні точки процесу управління якістю та забезпечує системний характер модернізації галузі.

Запропонована інтегрована система організаційно-технологічного та економічного забезпечення якості у будівництві об'єднує три ключові групи елементів — нормативно-правові, організаційно-технологічні та економічні, — які у своїй взаємодії формують цілісну систему забезпечення якості відповідно до вимог європейського ринку. Взаємодія цих компонентів дозволяє забезпечити не лише відповідність будівельної продукції чинним нормам, але й підвищити технологічний рівень виробництва, ефективність управління та конкурентоспроможність підприємств.

Нормативно-правовий компонент виступає базовою структурною основою моделі, оскільки визначає рамкові умови, у яких функціонує система управління якістю. У його межах здійснюється гармонізація національного законодавства із Регламентом (ЄС) № 305/2011 та стандартами EN, що забезпечує правову сумісність національного ринку будівельної продукції з європейським. Цей компонент охоплює формування системи AVCP, механізмів оцінювання відповідності, діяльність органів технічної оцінки, а також створення національних документів з визначення прийнятності. Саме він задає правила взаємодії між виробниками, органами сертифікації та системою ринкового нагляду, забезпечуючи прозорість і довіру до процесів підтвердження якості.

Організаційно-технологічний компонент відображає внутрішню структуру процесів, пов'язаних із забезпеченням якості на рівні підприємств. Основним його елементом є система виробничого контролю (Factory Production Control), яка гарантує простежуваність характеристик продукції та стабільність технологічних процесів. У межах цього компонента формуються механізми технологічної модернізації, впроваджуються інструменти лабораторного контролю, цифрові технології моніторингу та методи технічної оцінки інноваційних матеріалів. Організаційно-технологічний блок також забезпечує відповідність виробництва вимогам AVCP-систем, що є критично важливим для виходу продукції на європейський ринок.

Таблиця 1

Складові інтегрованої системи організаційно-технологічного та економічного забезпечення якості у будівництві

Нормативно-правовий компонент	Організаційно-технологічний компонент	Економічний компонент
- Гармонізація українського законодавства з Регламентом (ЄС) № 305/2011 та європейськими стандартами EN. - Упровадження систем оцінки та перевірки стабільності показників будівельної продукції (AVCP). - Формування і функціонування національної системи документів з визначення прийнятності (НДВП) згідно з вимогами ETA / EAD. - Регулювання діяльності органів оцінки відповідності, технічних оцінок і ринкового нагляду. - Нормативне забезпечення процесів сертифікації, інспектування виробництва та маркування продукції.	- Запровадження системи виробничого контролю (FPC) з повною простежуваністю характеристик продукції. - Забезпечення стабільності технологічних процесів відповідно до AVCP-вимог. - Інтеграція сучасних технологій контролю якості, лабораторних випробувань, цифрових систем моніторингу. - Адаптація виробничої інфраструктури до вимог європейських стандартів. - Технічна оцінка інноваційної продукції, інспектування виробництва та оцінювання відповідності.	- Економічне оцінювання витрат і вигод від упровадження стандартів ЄС. - Забезпечення фінансової стійкості та безпеки підприємства в умовах ринкових змін. - Оптимізація виробничих і управлінських процесів для зниження витрат на брак і дефекти. - Застосування економетричних моделей для прогнозування ефективності систем управління якістю. - Посилення конкурентоспроможності компанії через сертифікацію та відповідність вимогам CPR.

Економічний компонент забезпечує можливість реального впровадження нормативних і технологічних вимог, визначаючи економічну доцільність, ефективність та стратегічні вигоди модернізації. Він включає оцінювання витрат, пов'язаних із переходом на стандарти ЄС, аналіз інвестиційних потреб, вплив контролю якості на зменшення виробничих втрат та бракованої продукції, а також визначення економічного ефекту від підвищення конкурентоспроможності підприємства. Значну роль у цьому компоненті відіграють економетричні моделі та ризик-орієнтовані підходи до управління фінансовою безпекою, які дають змогу виробникам приймати обґрунтовані рішення щодо впровадження нових технологій та процедур оцінювання відповідності.

Узгоджена взаємодія трьох зазначених компонентів створює умови для ефективного функціонування системи управління якістю у будівництві. Нормативно-правовий блок забезпечує регуляторну визначеність, організаційно-технологічний — надійність та стабільність виробничих процесів, економічний — можливість сталого розвитку та адаптацію підприємств до вимог сучасного ринку. Інтеграція цих елементів дозволяє формувати цілісну, збалансовану та адаптивну систему, здатну забезпечити високу якість будівельної продукції та успішне функціонування галузі в умовах переходу до європейської системи стандартизації.

Перехід на європейські стандарти (EN) супроводжується низкою суттєвих бар'єрів, що одночасно мають нормативний, технічний, інституційний та економічний характер. Однією з базових перешкод є невідповідність національної нормативно-технічної бази вимогам Регламенту (ЄС) № 305/2011, зокрема у частині структуризації технічних характеристик продукції, процедур виробничого контролю та механізмів оцінювання відповідності. Значна частина чинних ДСТУ має радянське походження й не забезпечує необхідного рівня гармонізації з європейськими стандартами EN, що ускладнює пряме застосування системи AVCP.

Другим суттєвим бар'єром є недостатній рівень оснащення випробувальних лабораторій та виробничих майданчиків, через що виробники не завжди можуть забезпечити повну простежуваність характеристик продукції або відповідність вимогам EAD. Існує також дефіцит фахівців, підготовлених до роботи в умовах європейського регуляторного поля, що знижує якість технічної документації та виробничих процедур.

Серйозною проблемою залишається інституційна невизначеність у сфері технічного регулювання, включаючи становлення органів технічної оцінки, сертифікації та ринкового нагляду. Нерідко наявні процедури дублюються або суперечать одна одній, що створює додаткові труднощі для виробників. Нарешті, вагомим бар'єром є високі витрати бізнесу, пов'язані з модернізацією виробництва, оновленням обладнання, навчанням персоналу та проходженням процедур оцінювання відповідності.

Наукові дослідження свідчать, що оптимізація організаційних процесів в умовах переходу до стандартів ЄС потребує системного поєднання управлінських, технологічних та економічних інструментів. Сучасні підходи передбачають впровадження процесного менеджменту, орієнтованого на стандарти ISO 9000, а також адаптацію виробничих процесів до вимог системи AVCP, що забезпечує стабільність характеристик продукції.

Важливим напрямом є цифровізація системи контролю якості — інтеграція електронних журналів виробництва, автоматизованих засобів моніторингу та лабораторних систем управління даними (LIMS). Це підвищує точність вимірювань, забезпечує простежуваність даних та мінімізує людський фактор.

Науковці підкреслюють значення моделювання виробничих процесів у контексті оптимізації планування, підвищення ефективності ресурсів і зменшення витрат на брак. Ефективним є використання економетричних моделей для оцінювання впливу якості на фінансові показники підприємства та для прогнозування ефективності інвестицій у модернізацію.

Також важливою складовою є формування компетентнісної моделі персоналу, що охоплює підготовку спеціалістів з AVCP, технічної оцінки, аудиту виробництва та сертифікації. Наукові дослідження доводять, що без зміни корпоративної культури й управлінських підходів жодна технічна модернізація не забезпечить якісних результатів.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що оптимізація організаційних процесів у контексті євроінтеграції ґрунтується на таких ключових елементах:

- процесний підхід і системи менеджменту якості;
- цифровізація виробництва;
- моделювання та оптимізація технологічних процесів;
- економічний аналіз ефективності впровадження стандартів;
- розвиток компетенцій персоналу;
- структурна інтеграція вимог CPR у корпоративне управління.

Висновки

Узагальнення нормативних документів та наукових праць засвідчує, що формування ефективної системи управління якістю у будівництві в умовах європейської інтеграції потребує комплексної трансформації галузі. Гармонізація українського законодавства з положеннями Регламенту (ЄС) № 305/2011 забезпечує перехід до єдиних європейських принципів оцінювання

відповідності та технічної прийнятності, що змінює вимоги до організації виробництва, сертифікації та контролю будівельної продукції. Наукові дослідження підтверджують, що ці зміни неможливо реалізувати лише через оновлення нормативної бази: вони потребують модернізації управлінських підходів, впровадження сучасних технологічних рішень, переосмислення організаційної структури підприємств і застосування економічних інструментів підвищення ефективності.

Особливого значення набуває створення національної системи документів із визначення прийнятності та удосконалення процедур оцінювання інноваційних матеріалів, оскільки технологічний розвиток галузі безпосередньо залежить від прозорості та ефективності таких механізмів. Економічний аспект управління якістю розглядається в сучасних роботах як необхідна складова функціонування підприємств у конкурентному середовищі, що вимагає інтеграції фінансових, економетричних і ризик-орієнтованих підходів.

Перехід до європейської системи стандартизації формує нову парадигму управління якістю у будівництві — системну, технологічно обґрунтовану та економічно вмотивовану. Це визначає потребу в подальших дослідженнях, спрямованих на інтеграцію організаційних, технічних і економічних рішень у єдину модель розвитку галузі, здатну забезпечити її відповідність сучасним європейським вимогам.

Комплексний аналіз організаційних, технологічних і економічних аспектів управління якістю у будівництві свідчить про те, що перехід до європейської системи стандартизації формує нову парадигму розвитку галузі. Європейські вимоги задають високий рівень прозорості, контрольованості та стабільності характеристик будівельної продукції, що потребує суттєвого перегляду підходів до організації виробництва й управління підприємствами. Українське законодавство створює необхідні передумови для імплементації цих вимог, а наукові дослідження демонструють широке коло проблем і перспектив упровадження інновацій, технічної оцінки та економічного обґрунтування контролю якості.

Отримані результати підтверджують, що ефективне управління якістю можливе лише за умови інтеграції нормативно-правових, технологічних і економічних механізмів у єдину систему. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розроблення прикладних моделей упровадження АВСР, удосконалення системи технічної оцінки та формування дієвих економічних інструментів підвищення конкурентоспроможності підприємств у контексті європейської інтеграції.

Список літератури

1. Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC. *Official Journal of the European Union*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32011R0305> (дата звернення: 04.02.2026).
2. Про надання будівельної продукції на ринку: Закон України від 02.09.2020 № 850-IX (ред. від 12.05.2022 № 2254-IX). *Законодавство України / Верховна Рада України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/850-20#Text> (дата звернення: 04.02.2026).
3. Про затвердження систем оцінки та перевірки стабільності показників будівельної продукції: Постанова Кабінету Міністрів України від 9 червня 2021 р. № 596. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/596-2021-%D0%BF#Text> (дата звернення: 04.02.2026).
4. Про затвердження Правил визначення вартості робіт з розроблення національних документів України з визначення прийнятності, видачі висновку про технічну прийнятність та порядку розподілу коштів, отриманих від замовника, між відповідним органом з визначення технічної прийнятності та національною організацією органів з визначення технічної прийнятності: Постанова Кабінету Міністрів України від 26 січня 2024 р. № 89. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/89-2024-%D0%BF#Text> (дата звернення: 04.02.2026).

5. Деякі питання надання будівельної продукції на ринку: Постанова Кабінету Міністрів України від 23 грудня 2021 р. № 1458. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1458-2021-%D0%BF#Text> (дата звернення: 04.02.2026).
6. Порядок розроблення та прийняття національних документів України з визначення прийнятності URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1458-2021-%D0%BF#n84> (дата звернення: 04.02.2026).
7. ДСТУ ISO 9000:2015 «Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2005, IDT)». Чинний з 01.07.2016 р. (Інформація та документація).
8. Каськів В. І., Скрипник А. Л., Вирожемський 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. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.244>.
9. Менеджмент якості в будівництві та виробничі організаційні системи: монографія / Лівінський О. М. та ін.. Київ: Центр учбової літератури, 2018. 230 с
10. Принципи планування виробничої програми будівельного підприємства і методи нормування її параметрів: монографія / А. Ф. Гойко [та ін.]; Київський національний ун-т будівництва і архітектури. Київ: КНУБА, 2007. 56 с.
11. Скаун В. А., Запечна Ю. О., Богатюк Д. В., Галунка О. Д. Методичний підхід до розроблення та прийняття національних документів України з визначення прийнятності інноваційної будівельної продукції. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2023. № 56. С. 165–172. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.56.165-172>.
12. Скрипник А. Л., Ячник М. В. Оцінювання відповідності інноваційних будівельних матеріалів і виробів у контексті впровадження регламенту (ЄС) № 305/2011 (CPR). *Дороги і мости*. Київ, 2025. Вип. 32. С. 154–166. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2025.32.154>.
13. Зельцер Р. Я. Інноваційні моделі і методи організації, управління і економічної оцінки технологічних процесів будівельного виробництва: монографія. Київ: «МП Леся». 2018. 208 с.
14. Вербівська Л. В. Функціональне значення сертифікації, стандартизації та управління якістю продукції в сучасних бізнес-процесах. *Економіка та суспільство*. Одеса, 2023. Вип. 54. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-54-78>.
15. Барзилович Д., Буравченко С., Лагунова І., Дмитрук О., Середюк С., Підгорецький Ю. Системний перегляд якості державного регулювання надання будівельної продукції на ринок: зелена книга. Офіс ефективного регулювання. Київ. 2017. 120 с.
16. Organizational and technological model engineering in the construction industry : collective monograph / P. Ye. Hryhorovskiy et. al. Lviv – Toruń : Liha-Pres, 2019. 128 p. (дата звернення: 04.02.2026).
17. Беленкова О., Цифра Т., Казьмін О. (2023). Система визначення технічної прийнятності будівельної продукції – досвід Європи та Азії. *Управління розвитком складних систем*, (56). С. 123–130. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.56.123-130>.
18. Technical and economic aspects of real estate properties: collective monograph / Nikolaiev V. P. et. al. Lviv-Toruń: Liha-Pres, 2019. 124 p. (дата звернення: 04.02.2026).
19. Сорокіна, Л. В.; Стеценко, С. П.; Гойко, А. Ф.; Ізмайлова, К. В.; Моголівець, А. А.; Цифра, Т. Ю. Оліферук, С. Л.; Економетричний інструментарій управління фінансовою безпекою будівельного підприємства: монографія. Київ: КНУБА, 2023. 426 с.
20. Malykhin, M. (2025). Methodological approach to construction of a system for detection and prevention of destruction of the activities of construction participants. *Baltic Journal of Economic Studies*. 11(3). 230-238. DOI: <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2025-11-3-230-238>.
21. Каськів В. І., Скрипник А. Л., Ячник М. В. Методичні підходи до обстеження виробництва в процесі сертифікації продукції та атестування виробництва. *Дороги і мости*. Київ, 2025. Вип. 31. С. 134–14. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2025.31.134>.

22. Белоконь О., Фаренюк Г., Гах Н. Застосування європейських документів з визначення прийнятності за визначеними категоріями будівельної продукції. *Наука та будівництво*. 2023. № 3(37). DOI: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2023-4>.

References

1. Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC. *Official Journal of the European Union*. Available at: URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32011R0305> (Accessed: 04 February 2026) [in English].
2. Verkhovna Rada of Ukraine. (2020) Zakon Ukrainy No. 850-IX “Pro nadannia budivelnoi produktsii na rynku” [Law of Ukraine No. 850-IX «On the Provision of Construction Products on the Market»] (as amended 12.05.2022 No. 2254-IX). Available at: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/850-20#Text> (Accessed: 04 February 2026) [in Ukrainian].
3. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2021) Postanova No. 596 «Pro zatverdzhennia system otsinky ta perevirky stabilnosti pokaznykiv budivelnoi produktsii» [Resolution No. 596 «On Approval of Systems for Assessment and Verification of Constancy of Performance of Construction Products»]. Available at: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/596-2021-%D0%BF#Text> (Accessed: 04 February 2026) [in Ukrainian].
4. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2024) Postanova No. 89 «Pro zatverdzhennia Pravyl vyznachennia vartosti robit z rozroblennia natsionalnykh dokumentiv Ukrainy z vyznachennia pryiniatnosti, vydachi vysnovku pro tekhnichnu pryiniatnist ta poriadku rozpodilu koshtiv, otrymanykh vid zamovnyka, mizh vidpovidnym orhanom z vyznachennia tekhnichnoi pryiniatnosti ta natsionalnoiu orhanizatsiieiu orhaniv z vyznachennia tekhnichnoi pryiniatnost» [On approval of the Rules for determining the cost of work on the development of national documents of Ukraine for determining acceptability, issuing a conclusion on technical acceptability and the procedure for distributing funds received from the customer between the relevant body for determining technical acceptability and the national organization of bodies for determining technical acceptability]. Available at : URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/89-2024-%D0%BF#Text> (Accessed: 04 February 2026) [in Ukrainian].
5. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2021) Postanova No. 1458 «Deiaki pytannia nadannia budivelnoi produktsii na rynku» [Resolution No. 1458 «Certain Issues of Provision of Construction Products on the Market»]. Available at: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1458-2021-%D0%BF#Text> (Accessed: 04 February 2026) [in Ukrainian].
6. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2021) Poriadok rozroblennia ta pryiniattia natsionalnykh dokumentiv Ukrainy z vyznachennia pryiniatnosti [Procedure for developing and adopting national documents of Ukraine for determining eligibility]. Available at: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1458-2021-%D0%BF#n84> (Accessed: 04 February 2026) [in Ukrainian].
7. DSTU ISO 9000:2015 (2016) «Systemy upravlinnia yakistiu. Osnovni polozhennia ta slovnyk terminiv (ISO 9000:2005, IDT)» (Information and documentation) [in Ukrainian].
8. Kaskiv, V. I., Skrypnyk, A. L., Vyrozhemskyi, V. K., Yachnyk, M. V. and Zelenovskyi, V. A. (2024) ‘Problemni pytannia zabezpechennia yakosti dorozhnio-budivelnykh materialiv ta vyrobiv u 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 certification in Ukraine under DSTU EN ISO/IEC 17065:2019 and the Law of Ukraine «On the Provision of Construction Products on the Market»]’. *Dorohy i mosty (Roads and Bridges)*. 30. P. 244–252. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.244> [in Ukrainian].

9. Livinskyi O. M. (2018). Menedzhment yakosti v budivnytstvi ta vyrobnychi orhanizatsiini systemy [Quality management in construction and production organizational systems]: monohrafiia. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury. 230 p. [in Ukrainian].
10. Hoiko A. F. (2007) Pryntsypy planuvannia vyrobnychoi prohramy budivelnoho pidpriemstva i metody normuvannia yii parametriv. [Principles of planning the production program of a construction enterprise and methods of normalizing its parameters]. monohrafiia. Kyivskiy natsionalnyi un-t budivnytstva i arkhitektury. Kyiv: KNUBA, 56 p. [in Ukrainian].
11. Skakun V. A., Zapiechna Yu. O., Bohatiuk D. V., Halunka O. D. (2023). Metodychnyi pidkhid do rozroblennia ta pryiniattia natsionalnykh dokumentiv Ukrainy z vyznachennia pryiniatnosti innovatsiinoi budivelnoi produktsii. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*. No. 56. P. 165–172, DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.56.165-172> [in Ukrainian].
12. Andrii Skrypnyk, Mariia Yachnyk. (2025). Assessment of the compliance of innovative construction materials and products in the context of the implementation of regulation (EU) No. 305/2011 (CPR). *Dorogi i mosti* [Roads and bridges]. Kyiv, 2025. Issue 32. P. 154–166 DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2025.32.154> [in Ukrainian].
13. Zeltser R. Ya. (2018). Innovatsiini modeli i metody orhanizatsii, upravlinnia i ekonomichnoi otsinky tekhnolohichnykh protsesiv budivelnoho vyrobnytstva [Innovative models and methods of organization, management and economic evaluation of technological processes in construction production]: monohrafiia. Kyiv: «MP Lesia», 208 p. [in Ukrainian].
14. Verbivska L. V. Funktsionalne znachennia sertyfikatsii, standartyzatsii ta upravlinnia yakistiu produktsii v suchasnykh biznes-protsesakh (Functional significance of certification, standardization and product quality management in modern business processes). *Economy and society*. 2023. Issue 54. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-54-78> [in Ukrainian].
15. Barzylovych D., Buravchenko S., Lahunova I., Dmytruk O., Serediuk S., Pidhoretskyi Yu. Systemnyi perehliad yakosti derzhavnogo rehuliuвання nadання budivelnoi produktsii na rynek: zelena knyha. (Systematic review of the quality of state regulation of the supply of construction products to the market: a green book). Office of Effective Regulation. Kyiv. 2017. 120 p. [in Ukrainian].
16. Hryhorovskiy P. Ye. Organizational and technological model engineering in the construction industry. Lviv – Toruń : Liha-Pres, 2019. 128 p. (Accessed: 04 February 2026) [in English].
17. Bielienskova O., Tsyfra T., Kazmin O. Systema vyznachennia tekhnichnoi pryiniatnosti budivelnoi produktsii – dosvid Yevropy ta Azii. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*, (56), 123–130. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.56.123-130> (Accessed: 04 February 2026) [in Ukrainian].
18. Nikolaiev V.P. Technical and economic aspects of real estate properties: collective monograph. Lviv-Toruń: Liha-Pres, 2019. 124 p. (Accessed: 04 February 2026) [in English].
19. Sorokina, L. V.; Stetsenko, S. P.; Hoiko, A. F.; Izmailova, K. V.; Moholivets, A. A.; Tsyfra, T. Yu.... Oliferuk, S. L.; Ekonometrychni instrumentarii upravlinnia finansovoiu bezpekoiu budivelnoho pidpriemstva: monohrafiia. Kyiv: KNUBA, 2023. 436 p. [in English].
20. Malykhin, M. Methodological approach to construction of a system for detection and prevention of destruction of the activities of construction participants. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2025. 11(3), 230-238. DOI: <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2025-11-3-230-238> [in English].
21. Kaskiv V. I., Skrypnyk A. L., Yachnyk M. V. Metodychni pidkhody do obstezhennia vyrobnytstva v protsesi sertyfikatsii produktsii ta atestuvannia vyrobnytstva. *Dorogi i mosti* [Roads and bridges]. Kyiv. 2025. Issue 31. P. 134–14. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2025.31.134> [in Ukrainian].
22. Belokon, O., Farenjuk, H. and Hakh, N. (2023) ‘Application of European documents for assessing acceptability by defined categories of construction products’. *Nauka ta budivnytstvo (Science and Construction)*. 3(37). DOI: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2023-4> [in Ukrainian].

Yevheniia Novak, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-8512-6344>

Oksana Halunka, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-3437-2553>

ORGANIZATIONAL, TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF CONSTRUCTION QUALITY MANAGEMENT DURING THE TRANSITION TO THE EUROPEAN STANDARDIZATION SYSTEM

Abstract

Introduction. The transition of the construction industry of Ukraine to the European standardization system based on EN and harmonized technical specifications causes a deep transformation of organizational and technological processes and quality management mechanisms. The relevance of this process is due to the requirements of integration into the EU single market and the need to increase the competitiveness of construction enterprises.

Problem statement. Despite the institutional integration of the provisions of Regulation (EU) No. 305/2011 into national legislation, the practical adaptation of construction organizations faces a number of difficulties: modernization of production processes, implementation of conformity assessment procedures, ensuring economic efficiency and harmonization of technological solutions with new regulatory requirements.

Objective. The purpose of the study is a comprehensive analysis of organizational, technological and economic aspects of quality management in construction in the context of the transition to the European standardization system and determination of optimal models of adaptation of enterprises.

Materials and methods. The methodological basis is the analysis of regulatory legal acts of Ukraine and the EU, modern scientific sources on standardization, conformity assessment methods, process management and economic efficiency. Systemic, comparative, functional and economic analytical approaches were applied.

Results. The article substantiates the relationship between the harmonization of the regulatory framework, digitalization of quality control, the implementation of risk-based approaches and economic mechanisms for ensuring efficiency. The key barriers to the transition to EN are identified, the role of technical assessment and CE marking is revealed, and scientific approaches to optimizing organizational processes in the context of European integration are summarized.

Conclusions. Comprehensive modernization of the quality management system is a necessary condition for the sustainable development of the construction industry. Effective implementation of European standards requires consistency of regulatory requirements, technological updating and economic justification of management decisions.

Keywords: quality management, European integration, construction, construction organization, EN standards, Regulation (EU) No. 305/2011, quality management system, technical acceptability, conformity assessment, digitalization, organizational and technological processes.

УДК 69.05

Дубінін Д. В., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-2044-0631>Клис М. В., канд. техн. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0001-6790-8281>*Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА), м. Київ, Україна*

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ BIM-ПРОЄКТУВАННЯ

Анотація

Вступ. У сучасному будівництві цифровізація процесу проєктування стає ключовим чинником підвищення ефективності та конкурентоспроможності. Технології Building Information Modeling (BIM) забезпечують комплексне управління даними на всіх етапах життєвого циклу об'єкта, однак їх потенціал може бути значно розширений завдяки інтеграції інструментів штучного інтелекту (ШІ).

Проблематика. Попри широке впровадження BIM, значна частина проєктних рішень залишається трудомісткою та схильною до помилок через необхідність опрацювання великих обсягів інформації вручну. Низька якість вихідних даних, недосконалість координації між виконавцями та недостатня автоматизація аналітичних операцій призводять до затримок, зростання вартості та ризиків у проєктуванні.

Мета. Дослідити можливості застосування алгоритмів штучного інтелекту для підвищення точності, швидкості та надійності BIM-проєктування, а також визначити ефективні підходи до інтеграції ШІ у стандартні проєктні бізнес-процеси.

Матеріали і методи. У роботі використано методи теоретичного узагальнення й аналізу наукових публікацій, порівняння практичного досвіду застосування нейронних мереж у моделюванні та обробці даних, а також порівняльну оцінку інструментів машинного навчання щодо їх здатності автоматизувати рутинні операції BIM-проєктів. Досліджено кейси використання ШІ в автоматичній класифікації елементів, пошуку колізій, прогнозуванні показників ефективності будівельних систем.

Результати. Виявлено, що алгоритми глибинного навчання підвищують точність моделювання шляхом автоматичного виправлення помилок, оптимізації параметричних рішень та інтелектуальної координації між різними дисциплінами. Застосування ШІ дозволить скоротити час на виконання окремих проєктних операцій, а також підвищити якість даних, що використовуються під час моделювання та аналізу.

Висновки. Інтеграція штучного інтелекту у BIM-проєктування є перспективним напрямом розвитку цифрових технологій будівництва, що сприяє автоматизації процесів, зменшенню кількості помилок і оптимізації проєктних рішень. Застосування інтелектуальних алгоритмів дозволяє підвищити якість моделювання та ефективність взаємодії учасників проєкту, формуючи підґрунтя для впровадження більш гнучких та інноваційних підходів у будівельній індустрії.

Ключові слова: автоматизація, BIM, машинне навчання, оптимізація проєктування, організаційно-технологічні процеси, організація будівництва, система управління якістю, якість будівництва, якість проєктних рішень, штучний інтелект, цифрове будівництво, цифрова модель.

Вступ

Стрімка цифровізація будівельної галузі зумовлює переосмислення традиційних підходів до проєктування та управління інформацією на всіх етапах життєвого циклу будівельних об'єктів. У цьому контексті технології інформаційного моделювання будівель (BIM) стали ключовим інструментом інтегрованого проєктування, забезпечуючи багатовимірне представлення об'єкта, узгодження міждисциплінарних рішень та підвищення точності проєктної документації. Однак

зростання масштабу BIM-моделей, збільшення обсягів даних та ускладнення процесів координації призводять до значного навантаження на фахівців і створюють ризики допущення помилок, що проявляються у вигляді колізій, невідповідностей вимогам норм чи неякісних проєктних рішень.

У світовій практиці одним із найперспективніших шляхів вирішення цих проблем є інтеграція методів штучного інтелекту (ШІ) у процеси BIM-проєктування. Використання алгоритмів машинного навчання, нейронних мереж, обробки природної мови та інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень відкриває можливості для автоматизації контролю якості, оптимізації проєктних рішень, прогнозування експлуатаційних параметрів та зменшення людського чинника у складних процесах моделювання. ШІ забезпечує високий рівень аналізу структурно-просторових взаємодій, дозволяє виявляти закономірності у великих масивах BIM-даних та формує нову парадигму цифрового моделювання — від ручної перевірки до інтелектуального, самонавчального середовища проєктування.

Особливої актуальності це набуває в умовах глобального переходу до автоматизованого контролю відповідності (Automated Code Checking), цифрових нормативних платформ та підвищення вимог до прозорості й стандартизації будівельних процесів. Штучний інтелект у BIM відкриває можливість створення самостійних модулів валідації, які здатні інтерпретувати нормативні вимоги, аналізувати геометрію та параметри елементів, формувати пропозиції щодо оптимізації рішень і моделювати наслідки інженерних змін. Таким чином, інтелектуалізація BIM не лише підвищує якість проєктування, але й сприяє формуванню нових інструментів для управління ризиками, скорочення витрат та забезпечення відповідності вимогам безпеки й надійності.

Вивчення можливостей ШІ у BIM-процесах є надзвичайно важливим для наукової та інженерної спільноти, оскільки дає змогу визначити ефективні моделі інтеграції інтелектуальних алгоритмів у цифрове проєктування, оцінити їхній вплив на якість проєктних рішень та розробити методологію майбутнього розвитку будівельної галузі в умовах повної цифрової трансформації.

Основна частина

Аналіз наукових джерел свідчить, що інтеграція штучного інтелекту (ШІ) у методологію BIM стала одним із провідних напрямів цифрової трансформації будівельної галузі. Сучасні дослідники підкреслюють зростання ролі інтелектуальних алгоритмів у підвищенні ефективності моделювання, оптимізації проєктних рішень, автоматизації робочих процесів і зменшенні людського впливу на рутинні операції. У першу чергу, увага наукової спільноти зосереджена на автоматизації виявлення та класифікації колізій, вдосконаленні процесів семантичної обробки BIM-даних та розвитку інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Одним із новаторських підходів у сфері автоматизованого управління колізіями є концептуальна система пріоритизації, розроблена в [1]. У цій роботі автори пропонують алгоритмічну платформу, здатну не лише виявляти конфлікти всередині BIM-моделі, але й здійснювати їх тріаж — фільтрацію, групування та оцінювання за ступенем важливості, що дозволяє значно зменшити інформаційне перевантаження BIM-координаторів, яке виникає у великих проєктах. Подібний підхід представлено у дослідженні [2], де аналізується інтеграція глибокого навчання й машинних алгоритмів у процеси виявлення колізій та оптимізації проєктних рішень. Авторка підкреслює, що алгоритми ШІ здатні навчатися на історичних даних, виявляючи складні кореляції та пропонуючи ефективні варіанти їх усунення.

Питання практичної реалізації інтелектуальних методів у BIM-процесах розкрито також у аналітичному огляді EuroSia BIM [3], де показано, що ШІ значно підвищує точність автоматичної ідентифікації колізій, забезпечує фільтрацію «помилкових» або несуттєвих конфліктів і дає можливість формувати прогнозні моделі для оцінки ризиків. У розвиток цього напрямку у роботі [4] пропонується поєднання машинного навчання та онтологічного моделювання, що дозволяє стандартизувати опис BIM-елементів та автоматизувати класифікацію як «жорстких», так і «м'яких» колізій, а перевірка методики на реальному проєкті продемонструвала високу точність визначення критичності конфліктів.

Проблематика автоматичної класифікації елементів BIM-моделі знайшла відображення в роботі [5]. Автори доводять ефективність використання TF-IDF і логістичної регресії для аналізу метаданих та структурування даних, що є вкрай важливим у великих інфраструктурних проєктах. Дослідники наголошують, що автоматизована класифікація суттєво зменшує кількість помилок і створює технологічну основу для подальшої оптимізації моделі. Практичне застосування інтелектуальних алгоритмів у відстеженні колізій інженерних мереж розглядають у [6], які демонструють системний підхід до мінімізації конфліктів на стадії проєктування інженерних систем.

У ширшому контексті цифрової трансформації будівництва окремі дослідники звертають увагу на організаційні та комунікаційні аспекти. Так, в роботі [7] автор аналізує чинники, що впливають на ефективність взаємодії між замовником, підрядником та інженером, підкреслюючи значення цифрових інструментів у підвищенні прозорості та узгодженості процесів. Дослідження [8] демонструє використання BIM як інструмента підвищення якості архітектурного проєктування на основі стандартизованих процедур перевірки. Особливу увагу науковці приділяють також цифровим двійникам, що розширюють можливості BIM-моделювання. У роботі [9] показано ефективність BIM-орієнтованих цифрових двійників у управлінні відходами демонтажу, що набуває особливого значення у контексті стійкого розвитку.

Цифрові методології управління організаційно-технологічними процесами проєктування та будівництва всебічно представлені у публікації [10], де автори обґрунтовують доцільність цифровізації як засобу оптимізації параметрів проєкту та підвищення продуктивності. Свою чергою, у [11] автори розробляють інтегровану систему підтримки рішень для досягнення третього рівня зрілості BIM, що передбачає глибоку інтеграцію інтелектуальних інструментів. Теоретичні основи забезпечення якості у будівництві, необхідні для впровадження цифрових рішень, висвітлені у колективній монографії [12].

У рамках цифрової трансформації підприємств у [13] представлена модель цифрової зрілості, придатну для адаптації в умовах будівельної галузі. Значний практичний інтерес становлять також роботи [14; 15], присвячені цифровізації організації та фінансування будівельних проєктів, а також [16] доповнює ці напрями, розкриваючи можливості цифрової трансформації логістики будівельних ресурсів. Роботи [17] наголошують на значущості роботизації та автоматизації у будівництві, а огляд [18] систематизує наявні інструменти оцінювання цифрової зрілості галузі. Нарешті, дослідження [19] демонструє можливість використання BIM для реформування системи ціноутворення в інфраструктурних проєктах.

Таким чином, огляд літератури підтверджує, що сучасні наукові напрацювання формують комплексну основу для інтеграції ІІІ та цифрових технологій у BIM-процеси. Домінуючими напрямками є інтелектуалізація виявлення та аналізу колізій, автоматизація класифікації елементів, розвиток цифрових двійників, роботизація, удосконалення організаційно-технологічного управління й підтримка прийняття рішень на основі даних.

Порівняльний аналіз сучасних інструментів машинного навчання, застосовуваних для автоматизації рутинних операцій у BIM-процесах, дав змогу виявити їхні ключові функціональні особливості, обмеження та потенціал інтеграції у середовище будівельного інформаційного моделювання (**табл. 1**). Узагальнення отриманих даних показало, що ефективність конкретного методу значною мірою залежить від типу даних та характеру завдань.

У групі класичних алгоритмів машинного навчання методи ансамблевого типу, зокрема Random Forest та Gradient Boosting (XGBoost, LightGBM), демонструють найвищі показники точності під час роботи з табличними та атрибутивними BIM-даними. Ці моделі виявилися особливо придатними для таких задач, як автоматизована класифікація конструктивних елементів, матеріалів, виробів і комплектів, прогнозування відхилень специфікацій від проєкту та контроль якості.

Таблиця 1

Порівняльна оцінка інструментів машинного навчання для автоматизації BIM-процесів

Інструмент / Метод	Основні можливості	Типові операції BIM, що автоматизуються	Переваги	Обмеження	Рівень придатності для BIM
Random Forest	Класифікація та регресія на основі ансамблю дерев	Автоматична класифікація елементів моделі; оцінка вартості та часу	Висока точність, стійкість до шумів, проста інтерпретація	Важкий для великих моделей; менш точний у складних геометричних задачах	Високий
Support Vector Machines (SVM)	Класифікація з високою точністю	Виявлення колізій; сортування елементів за типами	Ефективний при невеликих обсягах даних; точний	Падає ефективність на великих вибірках; потребує нормалізації	Середній
k-Nearest Neighbors (k-NN)	Проста модель для класифікації / пошуку схожості	Розпізнавання компонентів, пошук аналогів конструктивних рішень	Легко реалізувати; інтуїтивна логіка	Дуже повільний на великих моделях; чутливий до масштабів	Середній
Convolutional Neural Networks (CNN)	Обробка зображень, хмар точок та геометрії	Сегментація хмар точок; автоматичне розпізнавання елементів за 2D / 3D даними	Висока точність у геометричних задачах; ідеально для сканування	Потребує великих наборів даних і GPU	Дуже високий
Recurrent Neural Networks / LSTM	Аналіз часових даних	Прогнозування вартості, термінів, навантажень інженерних систем	Добре працює з трендами та динамікою проєктів	Важко навчати; не підходить для геометрії	Середній
Gradient Boosting (XGBoost / LightGBM)	Потужна ансамблева модель	Автоматичний контроль якості; прогноз відхилень у проєкті	Найвища точність на табличних даних; швидке навчання	Потребує ретельного налаштування	Високий
AutoML-системи	Автоматичний підбір моделей	Швидкий аналіз BIM-даних, автоматична класифікація дефектів	Автоматизує ML без глибоких знань	Обмежена гнучкість; залежність від платформи	Високий
Графові нейронні мережі (GNN)	Робота зі структурованими елементами моделей	Виявлення конфліктів між системами; аналіз зв'язків між компонентами	Дуже перспективні для BIM як графів відношень	Технологія ще розвивається; складність навчання	Дуже високий (перспективний)
NLP-моделі (BERT, GPT-класу)	Обробка тексту	Автоматичне читання проєктної документації, витяг даних, перевірка відповідностей	Висока якість обробки специфікацій та норм	Менш ефективні для геометрії	Високий

Стійкість подібних моделей до шумів і здатність обробляти великі множини ознак забезпечує їхнє практичне застосування в системах аналітичної підтримки проєктних рішень. Водночас потреба у ретельному налаштуванні гіперпараметрів (для бустингових моделей) та збільшення обчислювальних витрат із ростом обсягу даних залишаються суттєвими обмеженнями.

Алгоритми Support Vector Machines (SVM) та k-NN продемонстрували середню придатність до BIM-середовища. SVM виявив ефективність у задачах класифікації, наприклад у виявленні колізій та групуванні елементів, однак його продуктивність помітно знижується на великих вибірках. Метод k-NN є інтуїтивним та корисним для пошуку схожих рішень або розпізнавання компонентів, але характеризується низькою швидкістю при роботі з великими моделями та високою чутливістю до розмірності простору ознак.

Найкращі перспективи у сфері аналізу просторово-геометричних BIM-даних продемонстровані методами глибинного навчання. Зокрема, згорткові нейронні мережі (CNN) мають значну ефективність у задачах сегментації хмар точок, інтерпретації 3D-сканів та автоматичного розпізнавання елементів на основі графічних даних. Завдяки своїй здатності формувати високорівневі ознаки з візуальної інформації вони є ключовим інструментом для інтеграції BIM із технологіями лазерного сканування та комп'ютерного зору. Основним обмеженням CNN залишається потреба у великих обсягах навчальних даних і високих обчислювальних ресурсах.

Графові нейронні мережі (GNN) були ідентифіковані як найбільш перспективний інструмент для аналізу внутрішніх залежностей і просторової структури BIM-моделей, оскільки такі моделі природно описуються у вигляді графів. Результати дослідження засвідчили, що GNN можуть забезпечити якісно новий підхід до автоматичного виявлення міждисциплінарних конфліктів, аналізу топологічних зв'язків та підвищення координації між проєктними розділами. Попри складність їхнього навчання, ці методи демонструють високий потенціал щодо подальшого розвитку.

У сфері аналізу часових рядів найвищий потенціал у рекурентних нейронних мережах (RNN / LSTM), які можуть забезпечити ефективне прогнозування динаміки будівельних процесів, зміни навантажень інженерних систем, термінів виконання робіт та інших параметрів, що змінюються з часом. Проте їх застосування є обмеженим для задач, пов'язаних із просторовою геометрією.

Отримані результати засвідчують, що найбільш перспективними інструментами для автоматизації BIM-процесів є CNN і GNN — для просторово-геометричних задач, моделі Gradient Boosting і Random Forest — для роботи з атрибутивними даними, а NLP-моделі — для інтелектуального аналізу текстових документів. Комплексне використання цих підходів створює основу для формування інтегрованих інтелектуальних систем, здатних забезпечити значне підвищення якості, точності та ефективності BIM-проєктування.

Висновки

Проведене дослідження комплексно підтверджує, що інтеграція штучного інтелекту у BIM-процеси є одним із ключових напрямів цифрової трансформації сучасної будівельної галузі. Аналіз теоретичних засад, методологічних підходів та практичних кейсів засвідчив, що інтелектуальні алгоритми здатні суттєво розширити функціональні можливості BIM, перетворивши його з інструмента інформаційного моделювання на повноцінну платформу підтримки управлінських і проєктних рішень.

У межах дослідження виявлено, що використання методів машинного навчання для автоматичної класифікації елементів моделі дає змогу значно зменшити трудомісткість рутинних операцій та підвищити вірогідність і структурованість BIM-даних. Застосування алгоритмів на основі TF-IDF, логістичної регресії, нейронних мереж та інших моделей забезпечує значне зниження відсотка помилок у порівнянні з ручними методами класифікації. Це закладає фундамент для більш точного моделювання, коректної параметризації та ефективної міждисциплінарної координації.

Найбільшого ефекту інтеграція ІІІ досягає у сфері автоматизованого виявлення та управління колізіями. На відміну від традиційних інструментів, які лише фіксують факти зіткнень між елементами, інтелектуальні моделі здатні аналізувати контекст взаємодії систем, групувати повторювані конфлікти, здійснювати їх пріоритизацію та пропонувати оптимальні варіанти вирішення. Це дозволяє різко знизити інформаційне перевантаження спеціалістів, підвищити точність прийняття рішень та мінімізувати кількість виправлень на пізніх етапах проєкту. Застосування онтологічних моделей у поєднанні з машинним навчанням продемонструвало особливо високий потенціал у розширенні семантичних можливостей ВІМ та подоланні проблеми неоднозначності трактування колізій.

Окрему увагу приділено застосуванню ІІІ у прогнозуванні ефективності будівельних систем. Використання прогнозних моделей, заснованих на методах глибинного навчання та аналітиці історичних даних, забезпечує можливість попереднього оцінювання імітаційних сценаріїв, прогнозування технічних і економічних ризиків, виявлення потенційних відхилень у графіках, бюджетах чи роботі інженерних систем. Це сприяє підвищенню надійності проєктних рішень, зменшенню ймовірності помилок та оптимізації експлуатаційних характеристик будівель.

Загалом результати дослідження підтверджують, що імплементація алгоритмів штучного інтелекту в ВІМ-орієнтовану діяльність є стратегічно важливим чинником розвитку будівельної галузі. AI-інструменти забезпечують суттєве скорочення трудових витрат та часових ресурсів, підвищення точності моделювання та якості вихідних даних, удосконалення процесів координації між проєктними командами, підвищення прозорості та обґрунтованості управлінських рішень, зменшення ризиків, пов'язаних із людським фактором та складністю.

Науково-практичне значення проведеного аналізу полягає у формуванні системного бачення того, як штучний інтелект може трансформувати процеси планування, проєктування, координації та експлуатації об'єктів будівництва. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення інтегрованих платформ, що поєднують алгоритми ІІІ з цифровими двійниками, онтологічними моделями та інструментами автоматизованої валідації проєктних рішень. Такий підхід розкриє нові можливості для впровадження повністю автоматизованих інтелектуальних ВІМ-систем, що забезпечать якісно новий рівень ефективності та стійкості будівельних процесів.

Список літератури

1. Borkowski, A. S., Kubrat, A. A Conceptual AI Based Framework for Clash Triage in Building Information Modeling (BIM): Towards Automated Prioritization in Complex Construction Projects. Buildings. 2025. Vol. 16. No. 4. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings16040690>.
2. Luna, A. AI and BIM Fusion: Automating Clash Detection and Design Optimization in Construction Projects. 2025. Режим доступу: URL: <https://surl.li/taafib>.
3. Eurosia BIM. AI Powered Clash Detection and Predictive BIM: A Deep Dive. Bimmodel.co. 2025. Режим доступу: URL: <https://www.eurosia.eu/post/ai-powered-clash-detection-and-predictive-bim-a-deep-dive>.
4. Kim, S., Lee, W., Yu, Y., Jeon, H., Koo, B. Employing Ontology and Machine Learning for Automatic Clash Detection and Classification in Multi-disciplinary BIM Models // International Conference on Construction Engineering and Project Management. 2024. P. 566–569. DOI: <https://doi.org/10.6106/ICCEPM.2024.0566>.
5. Motina, M., Morozenko, A. Classification of Building Components Using Artificial Intelligence Based on Meta-Information in BIM Models // In: Gibadullin, A. (ed.) Digital and Information Technologies in Economics and Management. DITEM 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 942. Cham: Springer, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-55349-3_16.
6. Pogorelskiy, S., Kocsis, I. BIM based collision tracking at the intersections of different building engineering systems at the design stage. International Review of Applied Sciences and Engineering. 2024. Vol. 16. No. 1. DOI: <https://doi.org/10.1556/1848.2024.00833>.

7. Kissabekov, A. Analysis of Factors Influencing Successful Interaction between the Client, Contractor, and Engineer on Construction Sites. *International Journal of Scientific and Management Research*. 2025. Vol. 8. DOI: <http://doi.org/10.37502/IJSMR.2025.8514>.
8. Choi, J. S. and Kim, I. H. Development of a BIM-based architectural design quality assurance checklist. *Korean Journal of Computational Design and Engineering*. 2013. 18(3). P. 177–188. DOI: <https://doi.org/10.7315/CADCAM.2013.177>.
9. Kaewunruen, S., Lin, Y. H., Guo, Y. BIM-driven digital twin for demolition waste management of existing residential buildings. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. 28989. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-13938-9>.
10. Железняк, В., Конончук, Р. Цифрова методологія управління організаційно-технологічними процесами будівництва об'єктів для оптимізації проєктних параметрів. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2024. № 2(54). С. 325–333. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(2\).325-333](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(2).325-333).
11. Abumoeilak, L., Beheiry, S., Atabay, S. An integrated decision support system for BIM level 3 implementation. *Frontiers in Built Environment*. 2025. Vol. 11:1687407. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2025.1687407>.
12. Tugai, O. A., Hryhorovskiy, P. Ye., Khyzhniak, V. O., Stetsenko, S. P., Bielienskova, O. Yu., Molodid, O. S., Chernyshev, D. O. Organizational and technological, economic quality control aspects in the construction industry: collective monograph. Lviv–Toruń: Liha-Pres. 2019. 136 p.
13. Jäkel, J.-I., Fischerkeller, F., Oberhoff, T., Klemm-Albert, K. Development of a Maturity Model for the Digital transformation of companies in the context of Construction Industry 4.0. *Journal of Information Technology in Construction*. 2024. Vol. 29. P. 778–809. DOI: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.034>.
14. Bielienskova, O., Novak, Y., Matsapura, O., Zapiechna, Y., Kalashnikov, D., Dubinin, D. Improving the Organization and Financing of Construction Project by Means of Digitalization. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2022. Vol. 12. No. 8. P. 108–115. DOI: https://doi.org/10.46338/ijetae0822_14.
15. Novykova, I., Bielienskova, O., Kulikov, O., Petrukha, S., Akizhanova, A., Zinchenko, M. Application of the Updated Project Approach for Institutionally Oriented Diversification of Construction Enterprises. 2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST). Astana, 2023. P. 558–566. DOI: <https://doi.org/10.1109/SIST58284.2023.10223510>.
16. Zeltser, R. Ya., Bielienskova, O. Yu., Novak, Ye., Dubinin, D. V. Digital Transformation of Resource Logistics and Organizational and Structural Support of Construction. *Nauka i innovatsii*. 2019. Vol. 15. No. 5. P. 38–51.
17. Davila Delgado, J. M., Oyedele, L., Ajayi, A., Akanbi, L., Akinade, O., Bilal, M., Owolabi, H. Robotics and automated systems in construction: Understanding industry-specific challenges for adoption. *Journal of Building Engineering*. 2019. Vol. 26. Article 100868. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100868>.
18. Ullah, R., Harrington, J., Farea, A., Otreba, M., Carroll, S., McKenna, T. Digital Maturity Assessment Tools for the Construction Industry: A PRISMA-ScR Scoping Review. *Buildings*. 2026. Vol. 16(1). 239 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings16010239>.
19. Цифра Т. BIM як інструмент реформування системи ціноутворення в будівництві (на прикладі дорожньо-будівельних компаній Казахстану). Шляхи підвищення ефективності будівництва, 2021, 2 (47), 167–178. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47\(2\).167-178](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47(2).167-178).

References

1. Borkowski, A. S., & Kubrat, A. (2025). A Conceptual AI-Based Framework for Clash Triage in Building Information Modeling (BIM): Towards Automated Prioritization in Complex Construction Projects. *Buildings*. 16(4). DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings16040690> [in English].
2. Luna, A. (2025). AI and BIM Fusion: Automating Clash Detection and Design Optimization in Construction Projects. Retrieved from <https://surl.li/taafib> (Accessed: 05 January 2026) [in English].

3. Eurosia BIM. (2025). AI Powered Clash Detection and Predictive BIM: A Deep Dive. Retrieved from <https://www.eurosia.eu/post/ai-powered-clash-detection-and-predictive-bim-a-deep-dive> (Accessed: 05 January 2026) [in English].
4. Kim, S., Lee, W., Yu, Y., Jeon, H., & Koo, B. (2024). Employing Ontology and Machine Learning for Automatic Clash Detection and Classification in Multi-disciplinary BIM Models. In Proceedings of the International Conference on Construction Engineering and Project Management. P. 566–569. DOI: <https://doi.org/10.6106/ICCEPM.2024.0566> [in English].
5. Motina, M., & Morozenko, A. (2024). Classification of Building Components Using Artificial Intelligence Based on Meta-Information in BIM Models. In A. Gibadullin (Ed.), Digital and Information Technologies in Economics and Management (DITEM 2023). Lecture Notes in Networks and Systems (Vol. 942). Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-55349-3_16 [in English].
6. Pogorelskiy, S., & Kocsis, I. (2024). BIM-Based Collision Tracking at the Intersections of Different Building Engineering Systems at the Design Stage. International Review of Applied Sciences and Engineering, 16(1). DOI: <https://doi.org/10.1556/1848.2024.00833> [in English].
7. Kissabekov, A. (2025). Analysis of Factors Influencing Successful Interaction between the Client, Contractor, and Engineer on Construction Sites. International Journal of Scientific and Management Research, 8. DOI: <https://doi.org/10.37502/IJSMR.2025.8514> [in English].
8. Choi, J. S., & Kim, I. H. (2013). Development of a Checklist for Quality Verification of Architectural Design Based on BIM. Journal of CAD/CAM Engineering. 18(3). 177–188. DOI: <https://doi.org/10.7315/CADCAM.2013.177> [in English].
9. Kaewunruen, S., Lin, Y. H., & Guo, Y. (2025). BIM-Driven Digital Twin for Demolition Waste Management of Existing Residential Buildings. Scientific Reports. No. 15. 28989. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-13938-9> [in English].
10. Zhelezniak, V., & Kononchuk, R. (2024). Digital Methodology for Managing Organizational and Technological Construction Processes to Optimize Project Parameters. Ways to Increase the Efficiency of Construction. No. 2(54). P. 25–333. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(2\).325-333](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(2).325-333) [in Ukrainian].
11. Abumoeilak, L., Beheiry, S., & Atabay, S. (2025). An Integrated Decision Support System for BIM Level 3 Implementation. Frontiers in Built Environment. No. 11. 1687407. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2025.1687407> [in English].
12. Tugai, O. A., Hryhorovskiy, P. Ye., Khyzhniak, V. O., Stetsenko, S. P., Bielienskova, O. Yu., Molodid, O. S., & Chernyshev, D. O. (2019). Organizational and Technological, Economic Quality Control Aspects in the Construction Industry. Lviv–Toruń: Liha-Pres [in English].
13. Jäkel, J.-I., Fischerkeller, F., Oberhoff, T., & Klemm-Albert, K. (2024). Development of a Maturity Model for the Digital Transformation of Companies in the Context of Construction Industry 4.0. Journal of Information Technology in Construction. Vol. 29. P. 778–809. DOI: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.034> [in English].
14. Bielienskova, O., Novak, Y., Matsapura, O., Zapiechna, Y., Kalashnikov, D., & Dubinin, D. (2022). Improving the Organization and Financing of Construction Projects by Means of Digitalization. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 12(8). P. 108–115. Retrieved from URL: https://ijetae.com/files/Volume12Issue8/IJETAE_0822_14.pdf [in English].
15. Novykova, I., Bielienskova, O., Kulikov, O., Petrukha, S., Akizhanova, A., & Zinchenko, M. (2023). Application of the Updated Project Approach for Institutionally Oriented Diversification of Construction Enterprises. In 2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST). P. 558–566. DOI: <https://doi.org/10.1109/SIST58284.2023.10223510> [in English].
16. Zeltser, R. Ya., Bielienskova, O. Yu., Novak, Ye., & Dubinin, D. V. (2019). Digital Transformation of Resource Logistics and Organizational and Structural Support of Construction. Nauka i Innovatsii. 15(5). P. 38–51 [in English].
17. Davila Delgado, J. M., Oyedele, L., Ajayi, A., Akanbi, L., Akinade, O., Bilal, M., & Owolabi, H. (2019). Robotics and Automated Systems in Construction: Understanding Industry-Specific Challenges

for Adoption. *Journal of Building Engineering*. No. 26. 100868. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100868> [in English].

18. Ullah, R., Harrington, J., Farea, A., Otreba, M., Carroll, S., & McKenna, T. (2026). Digital Maturity Assessment Tools for the Construction Industry: A PRISMA-ScR Scoping Review. *Buildings*. No. 16(1). 239 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings16010239> [in English].

19. Tsyfra, T. Yu. (2021). BIM as a Tool for Reforming the Pricing System: A Case of Road Construction Enterprises in Kazakhstan. Ways to Increase the Efficiency of Construction in the Conditions of the Formation of Market Relations. No. 7(2). P. 168–180. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47\(2\).167-178](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47(2).167-178) [in Ukrainian].

Denis Dubinin, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-2044-0631>

Maksym Klys, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-6790-8281>

Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture (KNUBA), Kyiv, Ukraine

USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO IMPROVE THE QUALITY OF BIM DESIGN

Abstract

Introduction. In modern construction, the digitalization of the design process is becoming a key factor in increasing efficiency and competitiveness. Building Information Modeling (BIM) technologies provide comprehensive data management at all stages of the object's life cycle, but their potential can be significantly expanded through the integration of artificial intelligence (AI) tools.

Problem statement. Despite the widespread implementation of BIM, a significant part of design solutions remains labor-intensive and error-prone due to the need to process large amounts of information manually. Low quality of source data, imperfect coordination between performers, and insufficient automation of analytical operations lead to delays, increased cost, and risks in design.

Objective. To investigate the possibilities of using artificial intelligence algorithms to increase the accuracy, speed, and reliability of BIM design, as well as to identify effective approaches to integrating AI into standard design business processes.

Materials and methods. The paper uses methods of theoretical generalization and analysis of scientific publications, comparison of practical experience in the use of neural networks in modeling and data processing, as well as a comparative assessment of machine learning tools in terms of their ability to automate routine operations of BIM processes. Cases of AI use in automatic classification of elements, collision search, and prediction of performance indicators of building systems were studied.

Results. It was found that deep learning algorithms increase the accuracy of modeling due to automatic error correction, optimization of parametric solutions, and intellectual coordination between different disciplines. The use of AI will reduce the time for performing individual design operations, as well as improve the quality of data used during modeling and analysis.

Conclusions. The integration of artificial intelligence into BIM design is a promising direction in the development of digital construction technologies, which contributes to the automation of processes, reduction of errors, and optimization of design solutions. The use of intelligent algorithms allows to improve the quality of modeling and the efficiency of interaction between project participants, forming the basis for the implementation of more flexible and innovative approaches in the construction industry.

Keywords: BIM, design optimization, digital construction, automation, construction quality, quality of design solutions, artificial intelligence, machine learning, digital model, quality management system, organizational and technological processes, construction organization.

ВПЛИВ ЦИФРОВІЗАЦІЇ НА ОРГАНІЗАЦІЮ БУДІВЕЛЬНОГО ПРОЄКТУВАННЯ

Анотація

Вступ. Питання використання цифрових технологій у будівництві, зокрема при проектуванні об'єктів архітектури, є актуальною науково-практичною задачею. Сучасний етап розвитку галузі характеризується переходом від традиційних методів розробки документації до інтегрованого управління даними. Впровадження інноваційних інструментів, таких як BIM та цифрові двійники, стає базовою умовою для відновлення та модернізації будівельного сектору України, забезпечуючи прозорість та підвищення якості проектних рішень.

Проблематика. Попри очевидні переваги, процес впровадження цифрових технологій в Україні стикається з низкою бар'єрів. До них належать: складність інтеграції даних у реальному часі, питання кібербезпеки та конфіденційності, відсутність єдиних стандартів сумісності та суттєві прогалини у цифровій кваліфікації кадрів. Традиційний послідовний процес («проекткування — тендер — будівництво») часто виявляється неефективним у цифровому контурі, що потребує перегляду контрактних моделей та організаційних структур.

Мета. Метою статті є системний аналіз факторів впливу цифровізації на організацію проектування в Україні, обґрунтування переходу до моделі управління даними як основи підвищення ефективності проектної діяльності.

Матеріали і методи. Методологічну основу дослідження становить системний підхід до аналізу цифрової трансформації будівельної галузі. Використано метод порівняльного аналізу для виявлення переваг BIM над традиційними CAD-системами. Обґрунтування трансформації проектних процесів здійснено на основі моделі Спільного середовища даних. Для класифікації факторів впливу цифровізації застосовано методи групування та логічного моделювання, що дозволило структурувати технологічні, інституційні та економічні вектори розвитку галузі.

Результати. У статті комплексно структуровано фактори цифрової трансформації проектної діяльності в Україні. Дістало подальшого розвитку положення про зміну парадигми проектування: від створення статичної документації до динамічного управління інформаційною моделлю об'єкта протягом його життєвого циклу. Встановлено, що цифровізація трансформує роль проєктувальника з «оператора програмного забезпечення» на розробника інтелектуальних алгоритмів. Ключовим технологічним результатом у цьому контексті є перехід до використання плагінів проектних рішень.

Висновки. Цифровізація трансформує проектування з ізольованого етапу на безперервний процес взаємодії учасників у Спільному середовищі даних. Ключовим вектором розвитку є перехід від управління задачами до управління структурованими даними в межах єдиного державного контуру. Державна політика в Україні створює необхідне правове поле для масштабування BIM-технологій та має бути спрямоване на системний розвиток цифровізації в будівництві. Подальший розвиток галузі залежатиме від здатності проектних організацій адаптувати свою внутрішню культуру та кадровий потенціал до вимог цифрової економіки.

Ключові слова. BIM-технології, проектування, будівництво, цифровізація будівництва, організація проектування, організація будівництва, цифрова трансформація, спільне середовище даних, цифрові двійники, штучний інтелект, машинне навчання, життєвий цикл, параметричне проектування, плагін проектних рішень.

Вступ

Питання використання цифрових технологій в будівництві, в тому числі при проєктуванні об'єктів архітектури є актуальною практичною та науковою задачею, а отже йому присвячено чимало вітчизняних та зарубіжних праць.

У статті здійснено аналіз відмінностей CAD-технології проєктування та BIM, наведено чинники, що зумовлюють складність впровадження BIM-проєктування в Україні, структуровано основні моменти розробки ефективної концепції BIM. Наголошено на необхідності впровадження BIM-технологій як інноваційного та більш ефективного інструмента в питанні реконструкції та відновлення будівель [1].

Автором [2] доведено, що впровадження BIM-моделювання в процеси управління інвестиційними проєктами дозволяє зменшити ризики перевитрат, покращити якість бюджетного планування, уникнути дублювання функцій, підвищити адаптивність управлінських структур до викликів невизначеного середовища, а також створити цифровий фундамент для сталого розвитку будівельної галузі.

У статті представлено поглиблений огляд розробки, впровадження та впливу цифрових двійників у будівельній галузі. Цифрові двійники, що визначаються як цифрові репліки фізичних активів, систем або процесів, інтегрують дані з Інтернету речей, BIM, штучного інтелекту, машинного навчання, хмарних обчислень та великих даних для покращення прийняття рішень, ефективності та проактивного управління проєктами [3]. У статті визначено такі проблеми, як інтеграція даних, обробка в режимі реального часу, безпека, конфіденційність, сумісність та прогалини в кваліфікації робочої сили [3]. Рекомендації для зацікавлених сторін галузі включають інвестування в технології та навчання робочої сили, стандартизацію практик, сприяння співпраці та постійне проведення досліджень і розробок для максимального використання потенціалу цифрових двійників у будівництві [3].

Авторами [4] зазначається необхідність об'єднання всіх учасників процесу, інтелектуальної, програмної та обчислювальної інфраструктури в єдиному цифровому просторі.

Аналізуючи в дослідженні [5] 13 напівструктурованих інтерв'ю з британськими будівельними фахівцями, автор окреслює перешкоди широкого впровадження будівництва на основі моделей у Великій Британії, серед яких: юридичні та контрактні питання, технічні та програмні обмеження, культурні та людські фактори, економічні причини.

Автори [6] ставлять під сумнів панівну риторичу про те, що інтегровані цифрові технології (такі як BIM) є безумовно корисними інструментами, які автоматично підвищують ефективність через покращення координації. Якщо попередні дві статті готують фундамент, описуючи, чому цифровізація складна і які в неї є ризики, то автори статті [7] фокусуються на скандинавському досвіді (зокрема Норвегії), які на прикладі конкретного мосту показують, як подолати ці перешкоди через повну відмову від традиційних методів.

Стаття [8] розглядає технології «захоплення реальності», які дозволяють створити точну цифрову копію фізичного об'єкта, та можливість автоматично порівнювати «як збудовано» (as-built) з «як спроектовано» (as-planned) у BIM-моделі.

Розглядаючи цифровізацію (зокрема BIM) як стратегічний елемент управління в будівництві, автори [9] відзначають заміну традиційного послідовного процесу («проєктування — тендер — будівництво») інтегрованим виконанням проєктів (IPD) із раннім залученням підрядників та постачальників ще на етапі концепції.

В статті [10] автори стверджують, що цифровізація, перетворює процес проєктування з ізольованого етапу на безперервний процес взаємодії з врахуванням інтересу громади, екологічних організацій та майбутніх експлуататорів об'єкта вже на стадії перших ескізів, та дозволяє візуалізувати проєктні рішення для непрофесійних стекголдерів (наприклад, мешканців району) і пришвидшити узгодження проєкту.

Для оцінки спроможності впливу BIM автори [11] пропонують модель (BIM-CAREM), яка дозволяє виміряти, як саме цифровий підхід змінює проєктування.

Вплив цифровізації на процес проєктування в будівництві є багатограним і зумовлений низкою взаємопов'язаних технологічних, економічних та методологічних факторів. Ось ключові фактори, які визначають цей вплив:

Таблиця 1

Перелік основних факторів впливу цифровізації на організацію проєктування об'єктів будівництва в Україні

Фактор	Суть впливу
Технологічні фактори	
Впровадження BIM (Building Information Modeling)	Перетворює 2D креслення на інтегровану 3D-модель, що містить дані про геометрію, матеріали, вартість і життєвий цикл об'єкта. Зменшує кількість колізій і підвищує узгодженість
Розвиток хмарних технологій та спільного середовища даних	Забезпечує спільну роботу всіх учасників проєкту в єдиній базі даних і реальному часі
Автоматизація процесів проєктування	Алгоритмічне та параметричне моделювання, генеративний дизайн скорочують ітерації та трудомісткість
Штучний інтелект (AI) і машинне навчання (ML)	Використовується для автоматичного генерування варіантів проєктів, аналізу енергоефективності, прогнозування ризиків
VR/AR (Віртуальна і Доповнена реальність)	Підвищує якість візуалізації, покращує комунікацію із замовником
Інтернет речей (IoT) і Цифрові двійники (Digital Twins)	Дає змогу проєктувальникам отримувати реальні дані з об'єктів під час експлуатації, а це покращує наступні проєкти.
Нормативно-правові та інституційні фактори	
Впровадження Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва (ЄДЕССБ)	Формує цифрову інфраструктуру галузі: реєстрація проєктів, експертиз, дозволів і даних про об'єкти в електронній формі. Трансформує організацію проєктування з розрізненого створення паперових документів у високотехнологічний процес управління структурованими цифровими даними, що забезпечує повну прозорість, автоматичну валідацію рішень та персональну відповідальність кожного виконавця в єдиному державному реєстрі
Нормативно-правове регулювання	Вимоги щодо розробки проєктної документації виключно в електронному форматі, використання форматів IFC, електронного підпису, єдині правила управління інформаційними моделями
Державна політика цифрової трансформації	Визначає курс на перехід від проєктування як «процесу створення документації» до проєктування як «процесу управління структурованими цифровими даними» в єдиному державному контурі
Економічні фактори	
Зростання конкуренції на ринку проєктних послуг	Змушує компанії впроваджувати цифрові технології для скорочення термінів і вартості робіт, підвищення якості документації
Вимоги міжнародних фінансових інституцій (Світовий банк, ЄБРР)	Для інфраструктурних проєктів фінансування часто передбачає використання BIM і цифрової звітності

Фактор	Суть впливу
Необхідність цифрової координації між проєктувальниками і будівельниками	Перехід до контрактації типу Design-Build / IPD
Зниження витрат при цифровізації	Автоматизація зменшує часові та фінансові втрати, пов'язані з перепроєктуванням і колізіями.
Кадрові і освітні фактори	
Дефіцит BIM-спеціалістів	Обмежує швидкість впровадження цифрових технологій у проєктні організації.
Потреба у нових кваліфікаціях	Формування нових ролей: BIM-менеджер, координатор CDE, Data Engineer, Digital Twin-operator.
Система безперервної освіти (CPD)	Необхідність регулярного підвищення кваліфікації щодо цифрових інструментів проєктування.
Рівень цифрової культури керівників	Визначає готовність організації до впровадження нових технологій.
Організаційно-управлінські фактори	
Перехід до управління даними замість документів	Ключова зміна філософії проєктування: інформаційна модель стає джерелом управління.
Інтеграція учасників проєкту (IPD — Integrated Project Delivery)	Змінює традиційну послідовність «Проектування–Експертиза–Будівництво» на паралельну, інтегровану модель.
Спільне середовище даних (CDE)	Підвищує взаємодію між розділами, скорочує кількість ітерацій і помилок.
Використання аналітики та DevOps-підходів у управлінні проєктами	Забезпечує постійний контроль якості, термінів і витрат через цифрові панелі моніторингу (dashboards).
Соціально-комунікаційні та культурні фактори	
Прозорість і відкритість проєктного процесу	Громадськість, інвестори й замовники отримують доступ до візуалізацій та моделей у режимі реального часу.
Цифрова поведінка користувачів та замовників	Замовники дедалі частіше вимагають 3D-моделі, віртуальні тури, швидкі зміни.
Постковідна адаптація до дистанційної роботи	Онлайн-співпраця через хмарні сервіси стала нормою для архітекторів і інженерів.
Безпекові та інфраструктурні фактори	
Кібербезпека проєктних даних	Необхідність захисту інформаційних моделей і критичних даних від несанкціонованого доступу.
Інфраструктура передачі даних	Доступність швидкісного Інтернету, дата-центрів, національних хмарних сховищ визначає можливість впровадження BIM і CDE.
Цифрова стійкість у воєнний час	Використання цифрових копій (Digital Twins) для збереження даних про зруйновані об'єкти та планування відновлення.

Таким чином цифровізація комплексно впливає на всі процеси організації проєктування, в першу чергу змінює власне модель управління проєктуванням, як на рівні підприємства так і на рівні держави.

При чому вплив частини факторів полягає у створенні для підприємства додаткових конкурентних можливостей, підвищення ефективності його діяльності шляхом застосування цифрових технологій проектування. Застосування BIM-технологій, штучного інтелекту, чи спільного середовища даних — це економічно обґрунтований вибір проектною організацією. Використання ж державних реєстрів даних — це визначена державою необхідність, впливати на яку проектна організація не може.

Вплив цифровізації знаходить своє відображення в різних сферах.

В *організаційно-управлінській сфері* в середині організації це зміна:

- організаційної структури та розподілу обов'язків через появу додаткових ролей, спеціалізацій проектувальників;

- організаційного розпорядку роботи завдяки використанню спільного цифрового середовища для взаємодії замовника, проектувальників, підрядників та можливості дистанційної роботи, онлайн-контролю прогресу, змін і версій документів;

- об'єкта управління — з управління задачами до управління даними.

В *організаційно-технічній сфері*, яка власне включає виробничі процеси проектних робіт, цифровізація оптимізує і автоматизує ключові процеси створення та перевірки проектних рішень. Ця сфера неспинно розвивається. Інструменти, що дозволяють автоматизувати генерацію креслень, специфікацій, виявлення колізій між розділами, параметричне проектування — в перспективі можуть бути доповнені плагінами проектних рішень. Плагіни проектних рішень являються формалізованими алгоритмами, які дозволяють зберегти неявний проектний досвід головного інженера / архітектора. Найбільш перспективним шляхом розвитку такого інструментарію є поєднання систем КВЕ (Knowledge-Based Engineering) та платформ відкритого коду, що дозволяє створювати логічні залежності, а не просто геометричні форми. Впровадження такої моделі змінює статус проектувальника: він перестає бути «креслярем» і стає розробником інтелектуальних систем, створюючи продукти, що мають самостійну ринкову вартість.

В *кадрово-освітній сфері* — поява нових професій (BIM-менеджер, координатор CDE, Digital Twin engineer, Data curator) потребує розвитку системи підготовки персоналу та безперервного професійного розвитку як в середині проектною організацією так і трансформації освіти та підвищення кваліфікації на рівні галузі. Зміна ролей та відповідальності в середині проектною команди має знайти відповідне відображення в існуючих професійних стандартах і кваліфікаційних характеристиках та системі сертифікації відповідальних виконавців у сфері архітектури.

В *економічній та контрактній сфері* цифровізація змінює принципи фінансування, оцінки вартості, розподілу ризиків і відповідальності. При інтегрованому проектуванні вже на ранніх стадіях до розробки проекту залучаються підрядники та спеціалізовані виконавці робіт, що потребує розробки та запровадження нових форм контрактів, які мають врегульовувати розподіл ризиків та відповідальності, авторських прав для такої команди. Фактично йдеться про модифікацію контрактів типу Design-Build. Змінюються підходи до закупівлі таких робіт, адже замовник має не просто скласти завдання на проектування, він має встановити вимоги до BIM-моделі, яка буде результатом. Змінюється підходи до оцінки ефективності проектних рішень — від вибору найбільш ефективного рішення на етапі будівництва до найбільш ефективного рішення протягом всього життєвого циклу об'єкта. Змінюються підходи до визначення вартості проектування, розподілу винагороди в середині проектною команди.

Відповідні зміни відбуваються і в *нормативно-правовій та регуляторній сферах*. За останні роки нормативна база проектування змінилась і продовжує змінюватись, створюючи умови для розвитку цифровізації в будівництві. Важливою віхою стало створення та функціонування Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва (далі — система), завдяки якій оцифровані основні регульовані процеси будівництва, в тому числі проектування та експертиза. Система

охоплює весь процес створення об'єкта — від отримання технічних умов до прийняття в експлуатацію. Система містить інформацію про сертифікованих проєктувальників та експертів, автоматично підтверджує досвід виконання ними робіт. Починаючи з 2025 року проєктна документація подається на експертизу виключно в електронному вигляді через систему. Проєкти будівництва, розроблені в електронній формі, затверджуються розпорядчим документом, на який в системі накладається кваліфікований електронний підпис Замовника будівництва.

Наступним важливим кроком має стати прийняття Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо запровадження будівельного інформаційного моделювання (BIM-технології) на всіх етапах життєвого циклу об'єктів та науково-технічного супроводу об'єктів, удосконалення процедури обстеження об'єктів, прийнятих в експлуатацію в установленому законодавством порядку» (реєстр від 03.12.2021 № 6383), який наразі готується до другого читання. Метою прийняття законопроекту № 6383 є створення правових умов для використання сучасних технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технології) як одного з ключових інструментів для подальшого реформування, модернізації та цифрової трансформації будівельної галузі України.

Системний підхід до реалізації державної політики в сфері цифровізації, не тільки BIM, має бути відображений у відповідному стратегічному документі.

В *інституційній сфері* цифровізація формує нову модель взаємодії держави, проєктних організацій і громадськості. Держава систематизує та накопичує інформацію для створення об'єктів, про об'єкти, про проєктувальників, підрядників, експертів, закупівлю робіт на проєкування та будівництво, реалізацію інвестиційних проєктів. Так, зокрема, розвиваються такі електронні системи як Prozorro (з 2016 року), Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва (з 2020 року), DREAM (з 2022 року). При цьому з метою створення можливості для громадського контролю значна частина інформації з зазначених систем та інших державних реєстрів представлена у форматі відкритих даних.

В *соціально-комунікаційній сфері* широко використовуються інструменти візуалізації проєктних рішень, що значно спрощує комунікацію між усіма учасниками проєкту та іншими зацікавленими особами.

Висновки

Проведене дослідження дозволяє констатувати, що цифровізація будівельної галузі є не просто технічним оновленням інструментарію, а фундаментальною трансформацією всієї філософії та організації проєкування:

1. Цифровізація перетворює проєкування з ізольованого етапу створення паперової документації на безперервний процес управління структурованими даними протягом усього життєвого циклу об'єкта. Впровадження BIM та CDE дозволяє перейти до моделі «єдиного джерела істини», що критично важливо для зменшення колізій та оптимізації витрат.

2. Впровадження Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва в Україні стало визначальним фактором для цифровізації галузі. Система забезпечує не лише прозорість та антикорупційний контроль, а й створює нове регуляторне поле, де електронний формат документів та автоматична валідація рішень стають обов'язковим стандартом.

3. Процес цифровізації зумовлює появу нових кваліфікаційних ролей (BIM-менеджерів, координаторів даних) та вимагає докорінного перегляду системи безперервної освіти. Проєктувальник еволюціонує від «виконавця креслень» до розробника інтелектуальних систем, що використовує алгоритмічне моделювання та елементи штучного інтелекту.

4. Використання цифрових технологій стимулює перехід до інтегрованої реалізації проєктів, де підрядники та експлуататори залучаються вже на етапі концепції. Це потребує розробки нових типів контрактів (модифікований Design-Build), які б чітко регулювали розподіл ризиків та авторських прав у цифровому середовищі.

Перспективи подальших досліджень полягають у деталізації механізмів впровадження систем на основі знань (КБЕ) та адаптації міжнародних контрактних форм до оновленого цифрового законодавства України.

Список літератури

1. Хаустова М., Третякова А. та ін. BIM-технології в будівництві: сучасні виклики для України // *Бізнес Інформ*, № 2, 2024 DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-2-97-104> [URL: https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2024-2_0-pages-97_104.pdf].
2. Третякова А. Цифрове будівництво: bim-моделі в управлінні інвестиціями у післявоєнний період. *Економіка і управління*. Вип. 2 2025 DOI: <https://doi.org/10.32782/2312-7872.2.2025.8> [URL: https://cms.economics-management.e-u.edu.ua/uploads/10_8601137eab.pdf] (дата звернення: 23.05.2024).
3. Dimitrios Sargiotis. Harnessing Digital Twins in Construction: A Comprehensive Review of Current Practices, Benefits, and Future Prospects. *International Journal of Research Publication and Reviews* 6(1): 3806-3837. DOI: <https://doi.org/10.55248/gengpi.6.0125.0527>.
4. Управління будівельними проектами за допомогою інформаційної системи «Цифровий двійник» / Г. Рижаківа, О. Малихін, В. Поколенко та ін. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2022. Vol. 12. Iss. 10. P. 24–33. DOI: https://doi.org/10.46338/ijetae1022_03.
5. Brooks T., Zantinge R., Elghaish F. Investigating the future of model-based construction in the UK. *Smart and Sustainable Built Environment*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1108/SASBE-07-2022-0138> (дата звернення: 23.05.2024).
6. Çıdık M. S., Boyd D. Value implication of digital transformation: the impact of the commodification of information. *Construction Management and Economics*. 2022. Vol. 40. No. 11–12. P. 903–917. DOI: <https://doi.org/10.1080/01446193.2022.2033287> (дата звернення: 23.05.2024).
7. Disney O., Roupé M., Johansson M., Domenico Leto A. Embracing BIM in its totality: a Total BIM case study. *Smart and Sustainable Built Environment*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1108/SASBE-06-2022-0124> (дата звернення: 23.03.2026).
8. Fobiri G., Musonda I., Muleya F. Reality Capture in Construction Project Management: A Review of Opportunities and Challenges. *Buildings*. 2022. Vol. 12. No. 9. Art. 1381. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12091381> (дата звернення: 23.03.2026).
9. Nikmehr B., Hosseini M. R., Martek I., Zavadskas E. K., Antucheviciene J. Digitalization as a Strategic Means of Achieving Sustainable Efficiencies in Construction Management: A Critical Review. *Sustainability*. 2021. Vol. 13. No. 9. Art. 5040. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13095040> (дата звернення: 23.04.2026).
10. Prebanić K. R., Vukomanović M. Realizing the Need for Digital Transformation of Stakeholder Management: A Systematic Review in the Construction Industry. *Sustainability*. 2021. Vol. 13. No. 22. Art. 12690. URL: <https://doi.org/10.3390/su132212690> (дата звернення: 23.04.2026).
11. Yilmaz G., Akcamete A., Demirsors O. BIM-CAREM: Assessing the BIM capabilities of design, construction and facilities management processes in the construction industry. *Computers in Industry*. 2023. Vol. 147. Art. 103861. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103861> (дата звернення: 23.04.2026).

References

1. Khaustova, M., Tretiakova, A., et al. (2024). BIM-tekhnologii v budivnytstvi: suchasni vyklyky dlia Ukrainy [BIM technologies in construction: modern challenges for Ukraine]. *Business Inform.* (2). 97–104. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-2-97-104>. [URL: https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2024-2_0-pages-97_104.pdf] [in Ukrainian].
2. Tretiakova, A. (2025). Tsyfrove budivnytstvo: BIM-modeli v upravlinni investytsiiamy u pisliavoiennyi period [Digital construction: BIM models in investment management in the

post-war period]. *Economy and Management*, (2). DOI: <https://doi.org/10.32782/2312-7872.2.2025.8>. [URL: https://cms.economics-management.e-u.edu.ua/uploads/10_8601137eab.pdf] (Accessed: May 23, 2024) [in Ukrainian].

3. Sargiotis, D. (2025). Harnessing Digital Twins in Construction: A Comprehensive Review of Current Practices, Benefits, and Future Prospects. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 6(1), 3806–3837. DOI: <https://doi.org/10.55248/gengpi.6.0125.0527> [in English].

4. Ryzhakova, H., Malykhin, O., Pokolenko, V., et al. (2022). Upravlinnia budivelnymy proektamy za dopomohoiu informatsiinoi systemy "Tsyfrovyi dviinyk" [Construction project management using the "Digital Twin" information system]. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 12(10), 24–33. DOI: https://doi.org/10.46338/ijetae1022_03 [in Ukrainian].

5. Brooks, T., Zantinge, R., & Elghaish, F. (2022). Investigating the future of model-based construction in the UK. *Smart and Sustainable Built Environment*. DOI: <https://doi.org/10.1108/SASBE-07-2022-0138> (Accessed: May 23, 2024) [in English].

6. Çidık, M. S., & Boyd, D. (2022). Value implication of digital transformation: the impact of the commodification of information. *Construction Management and Economics*, 40(11-12), 903–917. DOI: <https://doi.org/10.1080/01446193.2022.2033287> (Accessed: May 23, 2024) [in English].

7. Disney, O., Roupé, M., Johansson, M., & Domenico Leto, A. (2022). Embracing BIM in its totality: a Total BIM case study. *Smart and Sustainable Built Environment*. DOI: <https://doi.org/10.1108/SASBE-06-2022-0124> (Accessed: March 23, 2026) [in English].

8. Fobiri, G., Musonda, I., & Muleya, F. (2022). Reality Capture in Construction Project Management: A Review of Opportunities and Challenges. *Buildings*, 12(9), 1381. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12091381> (Accessed: March 23, 2026) [in English].

9. Nikmehr, B., Hosseini, M. R., Martek, I., Zavadskas, E. K., & Antucheviciene, J. (2021). Digitalization as a Strategic Means of Achieving Sustainable Efficiencies in Construction Management: A Critical Review. *Sustainability*, 13(9), 5040. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13095040> (Accessed: April 23, 2026) [in English].

10. Prebanić, K. R., & Vukomanović, M. (2021). Realizing the Need for Digital Transformation of Stakeholder Management: A Systematic Review in the Construction Industry. *Sustainability*, 13(22), 12690. DOI: <https://doi.org/10.3390/su132212690> (Accessed: April 23, 2026) [in English].

11. Yilmaz, G., Akcamete, A., & Demirors, O. (2023). BIM-CAREM: Assessing the BIM capabilities of design, construction and facilities management processes in the construction industry. *Computers in Industry*, 147, 103861. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103861> (Accessed: April 23, 2026) [in English].

Dmytro Vakhovych, <https://orcid.org/0009-0008-2976-4203>

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUBA), Kyiv, Ukraine

THE IMPACT OF DIGITALIZATION ON THE ORGANIZATION OF BUILDING DESIGN

Abstract

Introduction. The application of digital technologies in construction, particularly in the design of architectural objects, is a crucial scientific and practical task. The current stage of the industry's development is characterized by a transition from traditional documentation development methods to integrated data management. The implementation of innovative tools, such as BIM and Digital Twins, is becoming a fundamental requirement for the recovery and modernization of Ukraine's construction sector, ensuring transparency and improving the quality of design solutions.

Problem statement. Despite clear advantages, the implementation of digital technologies in Ukraine faces several barriers. These include the complexity of real-time data integration, cybersecurity and privacy concerns, the lack of unified interoperability standards, and significant gaps in the digital skills of the workforce. The traditional sequential process («Design-Bid-Build») often proves ineffective in a digital environment, necessitating a revision of contract models and organizational structures.

Objective. The objective of the article is to conduct a systematic analysis of the factors influencing the digitalization of design organization in Ukraine and to justify the transition to a data management model as a basis for increasing the efficiency of design activities.

Materials and methods. The methodological basis of the study is a systems approach to analyzing the digital transformation of the construction industry. A comparative analysis method was used to identify the advantages of BIM over traditional CAD systems. The transformation of design processes was justified based on the Common Data Environment (CDE) model. To classify the factors of digitalization's impact, grouping and logical modeling methods were applied, allowing for the structuring of technological, institutional, and economic vectors of the industry's development.

Results. The article provides the comprehensive structuring of digital transformation factors for design activities in Ukraine. The proposition regarding the shift in the design paradigm — from creating static documentation to dynamic management of the object's information model throughout its lifecycle — has been further developed. It was established that digitalization transforms the role of the designer from a «software operator» to a developer of intelligent algorithms. A key technological result in this context is the transition to the use of design solution plugins.

Conclusions. Digitalization transforms design from an isolated stage into a continuous process of interaction among participants within a Common Data Environment. The key vector of development is the transition from task management to structured data management within a unified state framework. State policy in Ukraine creates the necessary legal environment for scaling BIM technologies and should be directed toward the systematic development of digitalization in construction. The further development of the industry will depend on the ability of design organizations to adapt their internal culture and human resources to the requirements of the digital economy.

Keywords. BIM technologies, USECSS (Unified State Electronic System in the Construction Sector), Common Data Environment (CDE), construction digitalization, design organization, Digital Twins, information modeling, object lifecycle, parametric design, design solution plugin.

УДК 349.6 504.06:711(438)

Махнюк В. М.^{1,2}, *д-р мед. наук, професор*, <https://orcid.org/0000-0001-6196-4370>

Коврига С. В.², *канд. техн. наук*, <https://orcid.org/0000-0002-0189-4582>

Каськів В. І.³, *канд. техн. наук, доцент*, <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

^{1,2}Українська військово-медична академія, м. Київ, Україна

²ТОВ «НДПІ Будтехекспертиза», м. Кривий Ріг, Україна

³Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ БЛАГОУСТРОЮ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ: ДОСВІД РЕСПУБЛІКИ ПОЛЬЩА

Анотація

Вступ. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю вдосконалення нормативно-правової бази та впровадження сучасних природоохоронних технологій у сфері благоустрою населених пунктів, що забезпечує сталий розвиток і підвищення комфортності міського середовища.

Проблематика. Досвід Республіки Польща становить особливий науковий інтерес, оскільки нормативно-правове регулювання у сфері благоустрою формується з урахуванням вимог європейського законодавства, екологічних директив ЄС та принципів сталого розвитку. Це дає змогу здійснити його оцінювання та визначити можливості адаптації зазначеного досвіду до вітчизняної практики.

Мета. Метою роботи є дослідження польського досвіду правового регулювання благоустрою населених пунктів і визначення можливостей його адаптації до умов України.

Матеріали. У дослідженні використано законодавчі та підзаконні нормативно-правові акти Республіки Польща, а також наукові публікації українських і зарубіжних авторів з проблематики благоустрою територій, екології та містобудування.

Методи. Застосовано порівняльно-правовий аналіз, контент-аналіз джерел і синтез сучасних природоохоронних технологій.

Результати. Встановлено, що в Республіці Польща функціонує комплексна система нормативно-правових актів, яка поєднує загальнодержавні закони з актами органів місцевого самоврядування, документами просторового планування та правилами утримання територій. Основними інструментами є локальні рішення щодо забезпечення чистоти, утримання зелених насаджень та інженерної інфраструктури з інтеграцією екологічної, соціальної та просторової складових. Польський підхід забезпечує формування безпечного, функціонально збалансованого та екологічно врівноваженого міського середовища і сприяє підвищенню рівня екологічної свідомості населення.

Висновки. Модель правового регулювання благоустрою населених пунктів у Республіці Польща характеризується децентралізацією, високим рівнем деталізації та практичною спрямованістю. Вона є релевантною для наукового аналізу та може бути використана для вдосконалення механізмів нормативно-правового регулювання благоустрою в населених пунктах України.

Ключові слова: екологічна безпека, екологічна політика, містобудування, нормативно-правове забезпечення, озеленення територій, планування та просторовий розвиток, природоохоронні технології, Республіка Польща, сталий розвиток, управління відходами.

Вступ

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю вдосконалення нормативно-правового забезпечення у сфері благоустрою населених пунктів як важливої передумови забезпечення сталого

розвитку територій і підвищення якості життя населення. Благоустрій населених пунктів є складовою екологічної політики держави та інструментом реалізації її цілей на місцевому рівні. Ефективне поєднання правових механізмів регулювання з екологічно орієнтованими підходами до планування й благоустрою територій виступає ключовим чинником сталого функціонування міського середовища, зростання його комфортності для населення та підвищення адаптаційної спроможності в умовах зміни клімату.

Розвиток благоустрою населених пунктів у сучасних умовах нерозривно пов'язаний із впровадженням екологічно безпечних технологій у сфері транспортної та інженерної інфраструктури. Необхідність інтеграції екологічних вимог у процеси планування, проектування, будівництва та експлуатації об'єктів благоустрою й транспортної інфраструктури закріплена в положеннях Цілей сталого розвитку ООН до 2030 року, зокрема Цілі 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», Цілі 11 «Сталий розвиток міст і громад» і Цілі 13 «Боротьба зі зміною клімату» [1–3].

Ефективна реалізація зазначених підходів потребує належного нормативно-правового забезпечення, яке визначає екологічні вимоги, технічні стандарти та правові механізми регулювання діяльності у сфері благоустрою населених пунктів. У цьому контексті особливий науковий інтерес становить досвід Республіки Польща, де нормативно-правове регулювання благоустрою формується з урахуванням вимог європейського законодавства, екологічних директив ЄС та принципів сталого розвитку, що дає змогу оцінити його ефективність та визначити можливості адаптації цього досвіду у вітчизняній практиці.

Мета дослідження. Метою дослідження є вивчення нормативно-правового забезпечення у сфері благоустрою населених пунктів на прикладі досвіду Республіки Польща з метою адаптації найкращих практик до українського контексту.

Завданнями дослідження були: проаналізувати нормативно-правове забезпечення у сфері благоустрою населених пунктів в Республіці Польща; визначити ключові елементи та правові механізми реалізації благоустрою населених пунктів як складової державної екологічної політики на місцевому рівні; виявити перспективні практики й механізми інтеграції польського досвіду у систему управління благоустроєм українських населених пунктів.

Матеріали та методи. Матеріали дослідження включали нормативно-правові акти України та Республіки Польща у сфері благоустрою та охорони навколишнього середовища, наукові статті українських та міжнародних авторів, а також статистичні дані щодо стану благоустрою та екологічного стану населених пунктів. Для порівняльного аналізу були відібрані основні закони та підзаконні акти, що регламентують порядок утримання громадських просторів, зелених зон, сміттєзбірних систем, дорожньої інфраструктури та технологій захисту навколишнього середовища.

Методи дослідження включали: **аналіз нормативно-правових документів** — систематизація та порівняння українського та польського законодавства у сфері благоустрою та екологічного захисту; **метод порівняльного правознавства** — визначення відмінностей та спільних підходів у регулюванні благоустрою та охорони навколишнього середовища; **контент-аналіз наукових джерел** — виявлення сучасних технологій, практик та підходів до благоустрою, що сприяють сталому розвитку населених пунктів; **синтез та узагальнення** — інтеграція найкращих практик та нормативних рішень у пропозиції щодо адаптації досвіду Польщі до українського контексту. Дослідження виконано на основі **комплексного міждисциплінарного підходу**, що поєднує правові, екологічні та містобудівні аспекти, що дозволяє оцінити ефективність сучасних технологій захисту навколишнього середовища у системі благоустрою та визначити шляхи їх удосконалення.

Аналіз останніх досліджень. У наукових дослідженнях останніх років значна увага приділяється нормативно-правовому забезпеченню благоустрою територій у вітчизняному правовому полі. Зокрема, у працях Щербини Є.М. (2023; 2025) та Пирога А. (2023) висвітлено

адміністративно-правові механізми регулювання благоустрою, питання просторового планування розвитку землекористування, особливості публічного адміністрування, а також трансформацію застосування нормативних вимог в умовах воєнного стану [4, с. 125], [5, с. 382], [6, с. 237].

Згідно з дослідженням Карамушки та співавт. (2025), військові дії в Україні мали значний негативний вплив на природне середовище, пошкодивши ґрунти, водні ресурси та екосистеми, а також наголошується на необхідності комплексного відновлення довкілля населених місць та міжнародного співробітництва [7, с. 2].

Стаття Navrylenko O. P., Shyshchenko P. H. and Tsyhanok, Y. Y. (2021) присвячена аналізу ролі та значення зеленої інфраструктури в реалізації концепції компактного міста на прикладі м. Києва. Автори досліджують просторову організацію зелених насаджень, їх екологічні функції та вплив на сталий розвиток міського середовища [8, с.275].

У статті Liu, H., Ren, H., Remme, R. P., Nong, H., & Sui, C. (2021) досліджено вплив контакту з елементами міської природи на психічне здоров'я населення на прикладі міста Гуанчжоу. Автори аналізують, як різні форми та інтенсивність озеленення міського середовища пов'язані зі зниженням рівня стресу й покращенням психологічного благополуччя мешканців [9].

Разом із тим у наявних дослідженнях недостатньо систематизовано питання правового забезпечення впровадження екологічних технологій у сфері благоустрою, що зумовлює доцільність звернення до досвіду держав — членів Європейського Союзу, зокрема Республіки Польща, з метою його подальшої адаптації до національних умов.

Основна частина

Реалізація поставленої мети та визначених завдань зумовила необхідність детального аналізу ключових нормативно-правових актів Республіки Польща, що регламентують сферу благоустрою та застосування технологій захисту навколишнього середовища на місцевому рівні.

Особливу увагу у дослідженні приділено законодавчим механізмам, які забезпечують практичну реалізацію екологічних вимог у діяльності органів місцевого самоврядування та формують інституційні умови для впровадження екологічно орієнтованих рішень у благоустрої населених пунктів. У цьому контексті важливе місце посідає **Закон Республіки Польща «Про утримання чистоти і порядку в гмінах»** (Ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminach), який визначає правові, організаційні, економічні та екологічні засади забезпечення належного санітарного стану територій і виступає одним із ключових інструментів реалізації екологічних технологій у сфері благоустрою. Він встановлює обов'язки органів місцевого самоврядування щодо збору, транспортування, переробки та утилізації побутових відходів, а також відповідальність власників нерухомості за санітарний стан земельних ділянок і будівель, регулює утримання територій загального користування, запобігання забрудненню та контроль за дотриманням вимог. Закон спрямований на формування сталої системи управління відходами, підвищення екологічної свідомості населення та забезпечення ефективної взаємодії між владою, суб'єктами господарювання й громадянами, створюючи правову основу для застосування адміністративних і фінансових механізмів підтримки чистоти, порядку та екологічної безпеки на місцевому рівні [10].

У сфері просторового розвитку та формування міського середовища системоутворююче значення має **Закон «Про планування і просторовий розвиток»** (Ustawa «O planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym»). Цей Закон є базовим нормативно-правовим актом у сфері просторового розвитку, який визначає принципи формування впорядкованого та якісного міського середовища, сприяючи раціональному використанню територій, гармонійному поєднанню забудованих і відкритих просторів, а також створенню комфортних, безпечних і естетично привабливих умов проживання. Закон регламентує планування громадських просторів, зелених зон, транспортної та інженерної інфраструктури, а також розміщення об'єктів забудови, щільність та функціональне призначення територій, забезпечуючи запобігання хаотичній забудові і деградації міського середовища та узгодження інвестицій з інтересами громади і принципами сталого розвитку [11].

У частині розміщення та утримання об'єктів, виконання робіт і безпечної експлуатації елементів середовища важливе значення має будівельне законодавство. Закон «Будівельне право» (Ustawa «Prawo budowlane») встановлює правові та організаційні засади будівельної діяльності в Польщі, регламентуючи процес проектування, будівництва, реконструкції та введення об'єктів у експлуатацію. Він визначає права та обов'язки учасників будівельного процесу, зокрема інвесторів, проектувальників, підрядників та органів державного контролю.

Він акцентує увагу на благоустрої та безпеці міського середовища через стандарти якості будівництва, інженерну підготовку територій, охорону довкілля та дотримання пожежних і санітарних норм, забезпечуючи гармонійне поєднання нових об'єктів із існуючим простором і комфортні умови для мешканців. Закон також створює механізми для місцевого самоврядування щодо контролю забудови, впорядкування територій та інтеграції заходів благоустрою в стратегії розвитку населених пунктів, забезпечуючи комплексне управління просторовим розвитком.

Особливий акцент закон робить на благоустрої і безпеці міського середовища через стандарти якості будівництва, вимоги до інженерної та інфраструктурної підготовки територій, охорону довкілля та контроль за дотриманням правил пожежної безпеки і санітарних норм.

Закон створює інструментарій для муніципалітетів та місцевого самоврядування у питаннях контролю за забудовою, впорядкування територій і забезпечення просторової цілісності міст і сіл [12].

Логічним продовженням аналізу будівельного законодавства у контексті формування та утримання елементів середовища є звернення до норм, що безпосередньо спрямовані на забезпечення їхньої доступності та зручності використання всіма групами населення. У цьому зв'язку особливого значення набуває Закон «Про забезпечення доступності для осіб з особливими потребами» (Ustawa «O zapewnianiu dostępności osobom ze szczególnymi potrzebami»).

Зазначений Закон доповнює будівельне законодавство, встановлюючи вимоги щодо створення безбар'єрного та функціонально доступного середовища у містах, селищах, парках і громадських просторах. Він акцентує увагу на архітектурній доступності елементів благоустрою – тротуарів, пішохідних переходів, зон відпочинку, дитячих і спортивних майданчиків – через облаштування пандусів, понижених бордюрів, тактильних смуг, достатнього освітлення та зрозумілої навігації, забезпечуючи універсальний дизайн для людей з інвалідністю, літніх осіб, батьків із візками та інших груп. Закон підкреслює відповідальність органів місцевого самоврядування за системний підхід до благоустрою, формуючи доступні, доглянуті та функціональні простори, де благоустрій стає інструментом соціальної рівності та підвищення якості життя населення.

Крім того, польське законодавство підкреслює відповідальність органів місцевого самоврядування за системний підхід до благоустрою як складової інклюзії. Йдеться не про поодинокі рішення, а про комплексне планування й утримання доступного середовища. Такий підхід сприяє формуванню безбар'єрних, доглянутих і функціональних просторів, де благоустрій стає інструментом соціальної рівності та підвищення якості життя для всіх мешканців [13].

Додатковим правовим механізмом комплексного оновлення територій, у тому числі публічних просторів, у Польщі є механізм ревіталізації, який здійснюється відповідно до Закону «Про ревіталізацію» («Ustawa o rewitalizacji»), який встановлює правові засади комплексного оновлення деградованих територій і спрямований на охорону навколишнього середовища та екологічну відновлюваність міського простору. Його положення передбачають інтегрований підхід до ревіталізації, який поєднує фізичне оновлення забудови з поліпшенням екологічного стану територій, відновленням зелених насаджень, рекультивацією забруднених земель, зменшенням негативного антропогенного впливу та впровадженням екологічно орієнтованих технологій у благоустрої. Закон надає гмінам інструменти для реалізації програм, спрямованих на формування екологічно безпечних, функціонально збалансованих та естетично привабливих публічних просторів, забезпечуючи інтеграцію заходів з благоустрою в єдину муніципальну політику сталого розвитку з обов'язковим урахуванням екологічних стандартів і участі місцевих громад [14].

У цьому контексті важливу роль відіграє **Закон Польщі «Про посилення інструментів охорони ландшафту»** (Ustawa «O zmianie niektórych ustaw w związku ze wzmocnieniem narzędzi ochrony krajobrazu»), так званий «закон про ландшафт», який конкретизує вимоги до благоустрою з погляду візуальної впорядкованості та якості простору. Він встановлює нормативні засади контролю за розміщенням малих архітектурних форм, реклами, зовнішніх вивісок та інших елементів забудови, які формують візуальну організацію міського та сільського середовища, впливають на його комфортність і привабливість, а також визначають вплив забудови на природне та ландшафтне середовище. Закон надає органам місцевого самоврядування повноваження встановлювати місцеві стандарти естетики та просторової організації, вводити планувальні обмеження і контролювати відповідність забудови нормам просторової та екологічної гармонії через «ландшафтні» та «рекламні» ухвали, інтегруючи заходи з охорони довкілля та ландшафту в загальну політику просторового розвитку гмін [15].

Нормативний контур благоустрою у частині вулиць, тротуарів, доріг і пов'язаних елементів публічної інфраструктури визначається **Законом Польщі «Про публічні дороги»** («Ustawa o drogach publicznych»), який встановлює правові та організаційні засади створення, утримання й управління мережею публічних доріг із урахуванням вимог охорони навколишнього середовища. Закон регламентує категорії доріг – державні, воєводські, повітові та гмінні – і покладає на органи публічної влади відповідальність за їх утримання, передбачаючи інтеграцію дорожньої інфраструктури з елементами благоустрою, зеленими насадженнями та публічними просторами. У контексті екологічно орієнтованого благоустрою його положення створюють правові умови для впровадження рішень, спрямованих на зменшення негативного впливу транспорту на довкілля, підвищення ролі пішохідної й велосипедної інфраструктури, раціональне використання територій і збереження просторової гармонії міського середовища [16].

Паралельно **Закон Польщі «Про дорожній рух»** («Ustawa Prawo o ruchu drogowym») регламентує режими користування дорожнім простором, зокрема у спеціальних зонах руху та зонах проживання, формуючи правові передумови не лише для безпеки й порядку, а й для зниження негативного впливу транспорту на навколишнє середовище, впроваджувати екологічно орієнтовані режими використання публічного простору. Його положення створюють правові умови для пріоритетного розвитку пішохідної та велосипедної інфраструктури, обмеження інтенсивності руху автотранспорту в житлових і рекреаційних зонах, зменшення шумового та повітряного забруднення, а також інтеграції транспортної мережі з зеленими насадженнями й громадськими просторами [17].

Забезпечення впорядкованого та безпечного використання дорожнього простору є важливою складовою формування комфортного публічного середовища, однак ефективний благоустрій не обмежується лише організацією руху та просторових режимів. Не менш значущим є екологічний вимір утримання територій, який визначає санітарний стан, естетичну привабливість і загальну якість життя у населених пунктах.

У цьому контексті ключову роль відіграє **Закон Польщі «Про відходи»** («Ustawa o odpadach»), який по суті є базовим екологічним нормативно-правовим актом у сфері благоустрою. Він формує системні правові засади управління відходами на національному рівні та безпосередньо впливає на стан міського й сільського середовища, регулюючи процеси збирання, транспортування, переробки та утилізації відходів. Саме завдяки цьому Закону створюються передумови для підтримання чистоти територій, запобігання виникненню стихійних звалищ і забезпечення екологічно безпечного та впорядкованого простору, що є невід'ємною складовою сучасного благоустрою.

Закон реалізує вимоги європейського законодавства та стимулює роздільний збір і переробку відходів, що є важливою складовою благоустрою громадських просторів. Наприклад, у багатьох гмінах Польщі (адміністративних одиницях) впроваджено систему обов'язкового сортування сміття зі встановленням окремих контейнерів для різних фракцій, що значно підвищує чистоту вулиць, парків та житлових кварталів. Такий підхід сприяє не лише більш ефективному

використанню ресурсів, а й підтриманню привабливого та доглянутого середовища для мешканців і відвідувачів [18].

Таким чином, екологічно орієнтоване регулювання у сфері благоустрою, закріплене Законом Польщі «Про відходи», створює загальні умови для підтримання чистоти, санітарної безпеки та впорядкованості публічних територій. Водночас система правового забезпечення благоустрою не обмежується лише універсальними нормами поводження з відходами, а доповнюється спеціальними актами, спрямованими на регулювання окремих видів громадських просторів із підвищеними вимогами до їх утримання.

У цьому сенсі доповнюючим нормативно-правовим актом виступає **Закон Польщі «Про кладовища та поховання померлих»** (Ustawa «O cmentarzach i chowaniu zmarłych»), який регулює не лише порядок поховання, але й питання утримання та благоустрою кладовищ як особливих за своїм статусом громадських просторів, акцентуючи увагу на охороні навколишнього середовища та санітарній безпеці. Він зобов'язує органи місцевого самоврядування забезпечувати догляд за територіями, збереження зелених насаджень, контроль за чистотою доріжок, огорож та технічної інфраструктури, а адміністрацію кладовищ — підтримувати екологічно безпечні та естетично впорядковані умови для відвідувачів [19].

Наступний **Закон Польщі «Про охорону довкілля»** (Ustawa «Prawo ochrony środowiska») є одним із базових екологічних нормативно-правових актів, що відіграє важливу роль у сфері благоустрою населених пунктів, оскільки формує комплексну систему охорони довкілля, спрямовану на запобігання забрудненню повітря, води та ґрунтів, збереження природних ресурсів і біорізноманіття.

Його положення створюють правове підґрунтя для забезпечення чистоти та впорядкованості громадських просторів, регулюють вимоги до планування й реалізації проєктів, що впливають на зовнішній вигляд і безпечність територій, а також встановлюють механізми контролю за дотриманням екологічних норм органами місцевого самоврядування та суб'єктами господарювання. Закон передбачає моніторинг стану довкілля, управління відходами, охорону зелених насаджень і розвиток програм озеленення та рекреаційних зон, що безпосередньо сприяє підвищенню якості життя населення та формуванню екологічно збалансованого, естетично привабливого й безпечного міського та сільського середовища. Крім того, закон стимулює впровадження програм озеленення, рекреаційних зон та місць громадського користування, що підвищує якість життя мешканців. Він також передбачає залучення громадськості до контролю за станом довкілля, що заохочує місцеві громади брати участь у підтримці чистоти та благоустрою територій. Таким чином, «Prawo ochrony środowiska» не лише забезпечує екологічну безпеку, а й є ключовим інструментом формування безпечних та привабливих для життя населених пунктів [20].

Водночас практична реалізація цих положень у сфері благоустрою значним чином залежить від діяльності суб'єктів, наділених повноваженнями управління простором на місцевому рівні.

У цьому контексті **Закон Польщі «Про самоврядування гмін»** (Ustawa o samorządzie gminnym) виступає ключовим регуляторним актом у сфері благоустрою, визначаючи правові засади діяльності органів місцевого самоврядування та надаючи гмінам повноваження щодо планування, організації й контролю за утриманням громадських просторів, зелених зон і дорожньо-тротуарної мережі з урахуванням екологічних вимог. Закон забезпечує впровадження екологічно орієнтованих і просторових стандартів на місцевому рівні, дозволяє ухвалювати локальні нормативні акти, здійснювати контроль за дотриманням екологічних і санітарних норм, а також застосовувати адміністративні санкції у разі порушень. Він стимулює участь територіальних громад у підтриманні благоустрою через механізми громадських ініціатив і співпраці з органами влади, що сприяє сталому розвитку територій і підвищенню якості життя населення [21].

Водночас ці повноваження гмін потребують детальної нормативної конкретизації, яка б визначала практичні механізми забезпечення належного санітарного стану та щоденного утримання громадських просторів.

Саме таким логічним продовженням регуляторного впливу у сфері благоустрою є **Закон Польщі «Про підтримку чистоти та порядку у гмінах»** (Ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminach), який конкретизує положення Закону «Про самоврядування гмін» та встановлює чіткі обов'язки органів місцевого самоврядування, власників нерухомості й мешканців щодо забезпечення санітарного, екологічного та естетичного стану територій гмін. Закон регламентує утримання вулиць, тротуарів, прибудинкових і громадських просторів, визначає правила поводження з відходами, зобов'язує гміни ухвалювати локальні регламенти благоустрою, а також передбачає механізми контролю й відповідальності, що реалізуються органами місцевої влади та муніципальними службами. Особлива увага приділяється збереженню зелених насаджень, організації систематичного прибирання, утриманню фасадів і територій загального користування, що формує комплексний підхід до благоустрою та безпосередньо впливає на якість міського й сільського середовища, комфорт і безпеку населення та екологічну стабільність територій. Закон зобов'язує гміни розробляти власні локальні регламенти благоустрою, що деталізують вимоги до прибирання, озеленення та утримання територій [22].

Визначення обов'язків органів місцевого самоврядування та мешканців у сфері підтримки чистоти і порядку створює нормативну основу для належного стану територій гмін. Однак ефективність реалізації цих вимог неможлива без чітко врегульованих механізмів контролю та адміністративного нагляду за їх дотриманням.

У контексті контролю за благоустроєм суттєве значення має **Польський кодекс адміністративного провадження** (Kodeks postępowania administracyjnego), який встановлює загальні процесуальні засади адміністративного нагляду та правові механізми перевірки дотримання вимог щодо утримання громадських просторів, зелених зон, доріг і тротуарів з урахуванням екологічних стандартів. Кодекс регламентує порядок розгляду адміністративних справ, прийняття приписів і застосування санкцій за порушення норм благоустрою, а також гарантує законність, прозорість і можливість оскарження рішень, забезпечуючи баланс між ефективним контролем органів місцевого самоврядування та захистом прав громадян і суб'єктів господарювання [23].

Поряд із загальнодержавним регулюванням у Республіці Польща сформовано систему місцевих нормативно-правових актів, спрямованих на комплексне забезпечення благоустрою населених пунктів, які поєднують вимоги щодо утримання чистоти, охорони довкілля та соціальної відповідальності мешканців. Показовим є досвід міста Катовіце, де локальні нормативні документи, ухвалені Радою Міста, регламентують утримання територій загального користування, зелених зон і громадського простору, забезпечуючи практичну реалізацію загальнонаціональних принципів благоустрою на місцевому рівні.

Нижче наведено конкретні приклади таких документів і практик, що діють на рівні місцевої влади (Ради Міста Катовіце) та виконавчих органів:

1. **Regulamin utrzymania czystości i porządku na terenie Miasta Katowice** (Регламент утримання чистоти і порядку на території міста Катовіце) – це місцевий нормативний акт, ухвалений Радою Міста Катовіце, який встановлює детальні правила підтримки чистоти на прилеглих територіях, приватних і громадських об'єктах, зокрема щодо збору та утилізації побутових відходів, утримання тротуарів та прилеглих земельних ділянок. Цей регламент систематизує стандарти чистоти, порядок прибирання та відповідальність власників нерухомості й мешканців міста, водночас сприяючи охороні навколишнього середовища через належне поводження з відходами, захист зелених зон та підтримку екологічно безпечного стану міських територій [24].

2. **Uchwała Nr V/71/24 Rady Miasta Katowice** (Ухвала № V/71/24 Ради Міста Катовіце від 25 липня 2024 р.) змінює попередній регламент щодо утримання чистоти і порядку, зокрема встановлює правила щодо миття автомобілів на ділянках із твердим покриттям та безпечного відведення стічних вод, а також детальні вимоги щодо управління рідкими відходами та санітарного стану територій. Ці положення спрямовані на захист навколишнього середовища, запобігання забрудненню водних об'єктів та підтримку екологічно безпечного стану міських територій [25].

3. **Uchwała Nr XIV/265/25 Rady Miasta Katowice** (Ухвала № XIV/265/25 Ради Міста Катовіце від 28 квітня 2025 р.), яка також змінює локальний регламент, уточнює правила поводження з відходами, їх селективний збір та забезпечення доступу до контейнерних систем. Ці заходи сприяють не лише підтримці чистоти і порядку у всіх районах Катовіце, а й охороні навколишнього середовища через раціональне управління відходами, зменшення забруднення та підтримку екологічно безпечного стану міських територій [26].

Ці документи є локальними підзаконними актами, які реалізують загальні положення польського Закону про підтримання чистоти і порядку у гмінах (Ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminach) та закріплюють конкретні вимоги щодо благоустрою й охорони навколишнього середовища на території міста Катовіце — як для органів влади, так і для мешканців та власників нерухомості. Характеристика основних аспектів трьох локальних документів Ради Міста Катовіце щодо благоустрою та екологічної безпеки наведена в **табл. 1**.

Таблиця 1

Локальне регулювання благоустрою м. Катовіце: місцеві нормативні акти, утримання територій та охорона навколишнього середовища

Місцевий нормативний акт	Основні положення щодо благоустрою	Вплив на утримання фасадів	Вплив на утримання тротуарів	Вплив на утримання зелених зон
Regulamin utrzymania czystości i porządku (2021)	Встановлює загальні правила чистоти та порядку, обов'язки мешканців і власників нерухомості щодо прибирання територій, збору сміття, утримання прилеглих ділянок	Власники зобов'язані утримувати фасади будівель у чистоті і справному стані, недопущення пошкоджень та забруднень	Регламентує прибирання тротуарів прилеглих до приватної і громадської власності, контроль за снігом і льодом	Забезпечує догляд за зеленими насадженнями, обрізку дерев і кущів, утримання парків і скверів у належному стані
Uchwała Nr V/71/24 (2024)	Визначає додаткові вимоги до утримання чистоти, зокрема правила миття авто на територіях з твердим покриттям	Опосередковано впливає через вимоги щодо охорони зовнішнього вигляду територій	Акцент на безпечному відведенні стічних вод з тротуарів і вулиць	Підтримка санітарного стану зелених зон, контроль за відведенням вод для запобігання заболоченню
Uchwała Nr XIV/265/25 (2025)	Посилює вимоги щодо селективного збору відходів, доступу до контейнерних майданчиків	Зміцнює загальні стандарти догляду за територіями, що впливає на чистоту фасадів	Забезпечує регулярність прибирання прилеглих тротуарів і проходів	Підтримує екологічний стан зелених зон через контроль за утилізацією відходів

Табл. 1 ілюструє, що місцеві регламенти у місті Катовіце забезпечують комплексне правове регулювання благоустрою, охоплюючи широкий спектр питань — від обов'язку утримання фасадів будівель до детального контролю за прибиранням тротуарів і доглядом за зеленими насадженнями. Завдяки таким нормативним документам створюються умови для формування комфортного, чистого і екологічно збалансованого міського середовища, що враховує специфіку території та актуальні потреби місцевої громади.

У Польщі контроль за благоустроєм територій здійснюють місцеві органи влади на рівні гмін (муніципалітетів). Основними виконавцями є:

— Urząd Gminy / Urząd Miasta (Офіси гмін або міст) — через спеціальні відділи або інспекції, відповідальні за благоустрій, чистоту і порядок на території громади;

— Straż Miejska (Муніципальна поліція / Міська варта) — орган, який має право перевіряти дотримання правил благоустрою, накладати приписні документи, штрафи або адміністративні санкції на порушників.

У **табл. 2** представлена система контролю та нормативна база щодо чистоти, благоустрою і утримання зелених зон, яка є типовою для населених пунктів Польщі.

Таблиця 2

**Система контролю та нормативна база щодо чистоти, благоустрою
і утримання зелених зон у населених пунктах Польщі**

Питання, що контролюється	Орган, що здійснює контроль	Законодавчі та нормативні документи
Чистота тротуарів, доріг	Міська поліція (Straż Miejska)	Закон про підтримання чистоти і порядку у гмінах, місцеві регламенти
Стан зелених зон і парків	Міська рада / Міська поліція (Urząd Miasta / Straż Miejska)	Закон про підтримання чистоти і порядку у гмінах, місцеві рішення
Утримання фасадів	Гмінна (сільська) рада / Міська поліція (Urząd Gminy / Straż Miejska)	Місцеві регламенти та постанови
Прибирання відходів	Гмінна (сільська) рада (Urząd Gminy)	Закон про підтримання чистоти і порядку у гмінах

Отже, контроль за благоустроєм у Польщі здійснюють муніципальні органи та міська поліція на підставі Закону «Про підтримку чистоти і порядку у гмінах», Закону «Про самоврядування гмін», Кодексу адміністративного контролю, а також локальних регламентів рад гмін. Ця правова база забезпечує ефективний механізм контролю, поєднуючи державний нагляд із місцевим самоврядуванням та враховуючи особливості територій, що сприяє підтриманню чистоти, порядку й екологічної безпеки у населених пунктах.

Висновки

Досвід Республіки Польща свідчить про наявність розвиненої та узгодженої системи нормативно-правового забезпечення застосування технологій захисту навколишнього середовища у сфері благоустрою населених пунктів, яка поєднує загальнодержавні екологічні стандарти з механізмами їх практичної реалізації на рівні гмін.

Встановлено, що ефективне впровадження екологічно орієнтованих технологій благоустрою (у сфері управління відходами, охорони зелених насаджень, контролю якості повітря та просторового планування) забезпечується через систему локальних нормативних актів і адміністративного контролю, що дозволяє адаптувати правові вимоги до територіальних особливостей і потреб громад.

Комплексний характер польського нормативно-правового регулювання, заснований на інтеграції екологічних, просторових і соціальних підходів, створює передумови для сталого розвитку населених пунктів та підвищення якості життя населення, що робить досвід Республіки Польща релевантним для використання у процесі вдосконалення правового забезпечення благоустрою та екологічної політики в інших державах.

Список літератури

1. Sustainable Development Goals. Goal 9 – Industry, Innovation and Infrastructure. United Nations. URL: <https://sdgs.un.org/goals/goal9> (дата звернення: 06.02.2026).
2. Sustainable Development Goals. Goal 11 – Sustainable Cities and Communities. United Nations. URL: <https://sdgs.un.org/goals/goal11> (дата звернення: 06.02.2026).
3. Sustainable Development Goals. Goal 13 – Climate Action. United Nations. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/climate-change/> (дата звернення: 06.02.2026).
4. Щербина Є. М. Особливості публічного адміністрування у сфері благоустрою населених пунктів України. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. Серія: Право. 2(79). С. 125–130. DOI: <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2023.79.2.19>.
5. Щербина Є. М. Адміністративно-правове забезпечення благоустрою населених пунктів в умовах воєнного стану в Україні. *Аналітично-порівняльне правознавство*. 2025. Вип. 2(5). С. 382–386. DOI: <https://doi.org/10.24144/2788-6018.2025.05.2.59>.
6. Пиріг А. Нормативно-правове забезпечення просторового планування розвитку землекористання. *Вісник Львівського національного екологічного університету*. Серія «Архітектура і будівництво», 2023. № 24. С. 237–244. <https://doi.org/10.31734/architecture2023.24.237>.
7. Karamushka, V., Kuns, B., Boychenko, S., Havryliuk, R., Marushevsky, G., Khlobystov, Ye., Masliukivska, O. & Kulatska, N. (2025). The Impact of Military Actions on the Natural Environment in Ukraine Review of the results of scientific research, analytical assessments, and reports based on materials published in open access. Kyiv/Uppsala: Kyiv Mohyla Academy and Swedish University of Agricultural Sciences. URL: https://necu.org.ua/wp-content/uploads/2026/01/return-report_compressed.pdf.
8. Havrylenko, O. P., Shyshchenko, P. H., & Tsyhanok, Y. Y. (2021). The green infrastructure within the framework of a compact city concept (by example of Kyiv). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 30(2), 275-288. DOI: <https://doi.org/10.15421/112124>.
9. Liu H., Ren H., Remme R. P., Nong H., Sui C. The effect of urban nature exposure on mental health: a case study of Guangzhou. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 304. Article 127100.
10. Ustawa z dnia 13 września 1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach: Dz. U. 1996 nr 132 poz. 622. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU19961320622/U/D19960622Lj.pdf> (дата звернення: 06.02.2026).
11. Planowanie i zagospodarowanie przestrzenne: Law of the Republic of Poland of 27.03.2003 (editorial version of 2024), *Journal of Laws of Poland*, 2024, item 1130 // Database of Legislation of the Republic of Poland. URL: <https://eli.gov.pl/eli/DU/2024/1130/ogl> (дата звернення: 06.02.2026).
12. Prawo budowlane: Law of the Republic of Poland of 07.07.1994, *Journal of Laws of Poland*, 1994 No. 89, item 414 // Database of Legislation of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu19940890414> (дата звернення: 06.02.2026).
13. Zapewnianie dostępności osobom ze szczególnymi potrzebami: Law of the Republic of Poland of 19.07.2019, *Journal of Laws of the Republic of Poland*, 2019, item 1696 // Database of Legislation of the Republic of Poland / Sejm of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20190001696/U/D20191696Lj.pdf> (дата звернення: 06.02.2026).
14. Rewitalizacja: Law of the Republic of Poland of 09.10.2015 (editorial version of 2024), *Journal of Laws of Poland*, 2024, item 278 // Database of Legislation of the Republic of Poland. URL: <https://eli.gov.pl/eli/DU/2015/1777/ogl> (дата звернення: 06.02.2026).
15. Zmiana niektórych ustaw w związku ze wzmocnieniem narzędzi ochrony krajobrazu: Law of the Republic of Poland of 24.04.2015, *Journal of Laws of Poland*, 2015, item 774 // Database of Legislation of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20150000774> (дата звернення: 06.02.2026).
16. Drogi publiczne: Law of the Republic of Poland of 21.03.1985 (consolidated text), *Journal of Laws of Poland*, 2025, item 889 // Database of Legislation of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu19850140060> (дата звернення: 06.02.2026).

17. Prawo o ruchu drogowym: Law of the Republic of Poland of 20.06.1997, *Journal of Laws of Poland*, 1997 No. 98, item 602 // Database of Legislation of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu19970980602> (дата звернення: 06.02.2026).
18. O odpadach: Law of the Republic of Poland of 14.12.2012, *Journal of Laws of Poland*, 2012, item 21 // Database of Legislation of the Republic of Poland / Sejm of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu20130000021> (дата звернення: 06.02.2026).
19. O cmentarzach i chowaniu zmarłych: *Law of the Republic of Poland* of 31.01.1959 (editorial version of 2025), *Journal of Laws of Poland*, 1959 No. 11, item 62 // Database of Legislation of the Republic of Poland. URL: <https://eli.gov.pl/eli/DU/1959/62/ogl> (дата звернення: 06.02.2026).
20. Prawo ochrony środowiska: Law of the Republic of Poland of 27.04.2001 (consolidated version of 2025), *Journal of Laws of Poland*, 2001 No. 62, item 627 // Database of Legislation of the Republic of Poland / Sejm of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20010620627> (дата звернення: 06.02.2026).
21. Samorząd gminny: Law of the Republic of Poland of 08.03.1990, *Journal of Laws of Poland*, 1990 No. 16, item 95 // Database of Legislation of the Republic of Poland / Sejm of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU19900160095> (дата звернення: 06.02.2026).
22. Utrzymanie czystości i porządku w gminach: Law of the Republic of Poland of 13.09.1996 (with amendments), *Journal of Laws of Poland*, 1996 No. 132, item 622 // Database of Legislation of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU19961320622> (дата звернення: 06.02.2026).
23. Kodeks postępowania administracyjnego: Law of the Republic of Poland of 14.06.1960, *Journal of Laws of Poland*, 1960 No. 30, item 168 // Database of Legislation of the Republic of Poland / Sejm of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU19600300168> (дата звернення: 06.02.2026).
24. Rada Miasta Katowice. (2021). W sprawie Regulaminu utrzymania czystości i porządku na terenie Miasta Katowice // Uchwała Nr XXXI/678/21 Rady Miasta Katowice z 4.02.2021. URL: <https://bip.katowice.eu/Lists/Dokumenty/Attachments/122183/Sesja%20XXXI-678-21.pdf> (дата звернення: 06.02.2026).
25. Rada Miasta Katowice. (2024). Uchwała Nr V/71/24 Rady Miasta Katowice z 25.07.2024 // Zmieniająca uchwałę w sprawie Regulaminu utrzymania czystości i porządku na terenie Miasta Katowice. URL: <https://odpady.katowice.eu/wp-content/uploads/2024/09/akt.pdf> (дата звернення: 06.02.2026).
26. Rada Miasta Katowice. (2025). Uchwała Nr XIV/265/25 Rady Miasta Katowice z dnia 28 kwietnia 2025 r. // Zmieniająca uchwałę w sprawie Regulaminu utrzymania czystości i porządku na terenie Miasta Katowice. URL: https://bip.katowice.eu/Lists/Dokumenty/Attachments/146237/SESJA%20XIV-265-25.pdf?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 06.02.2026).

References

1. Sustainable Development Goals. Goal 9 – Industry, Innovation and Infrastructure. United Nations. URL: <https://sdgs.un.org/goals/goal9> (Last accessed: 06.02.2026) [in English].
2. Sustainable Development Goals. Goal 11 – Sustainable Cities and Communities. United Nations. URL: <https://sdgs.un.org/goals/goal11> (Last accessed: 06.02.2026) [in English].
3. Sustainable Development Goals. Goal 13 – Climate Action. United Nations. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/climate-change/> (Last accessed: 06.02.2026) [in English].
4. Shcherbyna Ye. M. Osoblyvosti publichnoho administruvannya u sferi blahoustroiu naselennykh punktiv Ukrainy (Peculiarities of public administration in the field of improvement of settlements of Ukraine). *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu*. Serii: Pravo. 2023. Vol. 2(79). P. 125–130. DOI: <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2023.79.2.19> [in Ukrainian].
5. Shcherbyna Ye. M. Administratyvno-pravove zabezpechennia blahoustroiu naselennykh punktiv v umovakh voiennoho stanu v Ukraini (Administrative and legal support of settlement

improvement under martial law in Ukraine). *Analitychno-porivnialne pravoznavstvo*. 2025. Vol. 2(5). P. 382–386. DOI: <https://doi.org/10.24144/2788-6018.2025.05.2.59> [in Ukrainian].

6. Pyrih A. Normatyvno-pravove zabezpechennia prostorovoho planuvannia rozvytku zemlekorystuvannia (Regulatory and legal support of spatial planning of land use development). *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ekolohichnoho universytetu*. Seriiia «Arkhitektura i budivnytstvo». 2023. No. 24. P. 237–244. DOI: <https://doi.org/10.31734/architecture2023.24.237> [in Ukrainian].

7. Karamushka V., Kuns B., Boychenko S., Havryliuk R., Marushevsky G., Khlobystov Ye., Masliukivska O., Kulatska N. The Impact of Military Actions on the Natural Environment in Ukraine: Review of the Results of Scientific Research, Analytical Assessments, and Reports Based on Materials Published in Open Access. Kyiv/Uppsala: Kyiv Mohyla Academy and Swedish University of Agricultural Sciences, 2025. URL: https://necu.org.ua/wp-content/uploads/2026/01/return-report_compressed.pdf (Last accessed: 07.02.2026) [in English].

8. Havrylenko O. P., Shyshchenko P. H., Tsyhanok Y. Y. The green infrastructure within the framework of a compact city concept (by example of Kyiv). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2021. Vol. 30(2). P. 275–288. DOI: <https://doi.org/10.15421/112124> [in English].

9. Liu H., Ren H., Remme R. P., Nong H., Sui C. The effect of urban nature exposure on mental health: a case study of Guangzhou. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 304. Article 127100 [in English].

10. Utrzymanie czystości i porządku w gminach: Law of the Republic of Poland of 13.09.1996, *Journal of Laws of Poland*, 1996 No. 132, item 622 // Database of Legislation of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU19961320622/U/D19960622Lj.pdf> (Last accessed: 06.02.2026) [in Polish].

11. Planowanie i zagospodarowanie przestrzenne: Law of the Republic of Poland of 27.03.2003 (editorial version of 2024), *Journal of Laws of Poland*, 2024, item 1130 // Database of Legislation of the Republic of Poland. URL: <https://eli.gov.pl/eli/DU/2024/1130/ogl> (Last accessed: 06.02.2026) [in Polish].

12. Prawo budowlane: Law of the Republic of Poland of 07.07.1994, *Journal of Laws of Poland*, 1994 No. 89, item 414 // Database of Legislation of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu19940890414> (Last accessed: 06.02.2026) [in Polish].

13. Zapewnianie dostępności osobom ze szczególnymi potrzebami: Law of the Republic of Poland of 19.07.2019, *Journal of Laws of the Republic of Poland*, 2019, item 1696 // Database of Legislation of the Republic of Poland / Sejm of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20190001696/U/D20191696Lj.pdf> (Last accessed: 06.02.2026) [in Polish].

14. Rewitalizacja: Law of the Republic of Poland of 09.10.2015 (editorial version of 2024), *Journal of Laws of Poland*, 2024, item 278 // Database of Legislation of the Republic of Poland. URL: <https://eli.gov.pl/eli/DU/2015/1777/ogl> (Last accessed: 06.02.2026) [in Polish].

15. Zmiana niektórych ustaw w związku ze wzmocnieniem narzędzi ochrony krajobrazu: Law of the Republic of Poland of 24.04.2015, *Journal of Laws of Poland*, 2015, item 774 // Database of Legislation of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20150000774> (Last accessed: 06.02.2026) [in Polish].

16. Drogi publiczne: Law of the Republic of Poland of 21.03.1985 (consolidated text), *Journal of Laws of Poland*, 2025, item 889 // Database of Legislation of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu19850140060> (Last accessed: 06.02.2026) [in Polish].

17. Prawo o ruchu drogowym: Law of the Republic of Poland of 20.06.1997, *Journal of Laws of Poland*, 1997 No. 98, item 602 // Database of Legislation of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu19970980602> (Last accessed: 06.02.2026) [in Polish].

18. O odpadach: Law of the Republic of Poland of 14.12.2012, *Journal of Laws of Poland*, 2012, item 21 // Database of Legislation of the Republic of Poland / Sejm of the Republic of Poland.

URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu20130000021> (Last accessed: 06.02.2026) [in Polish].

19. O cmentarzach i chowaniu zmarłych: *Law of the Republic of Poland* of 31.01.1959 (editorial version of 2025), *Journal of Laws of Poland*, 1959 No. 11, item 62 // Database of Legislation of the Republic of Poland. URL: <https://eli.gov.pl/eli/DU/1959/62/ogl> (Last accessed: 06.02.2026) [in Polish].

20. Prawo ochrony środowiska: *Law of the Republic of Poland* of 27.04.2001 (consolidated version of 2025), *Journal of Laws of Poland*, 2001 No. 62, item 627 // Database of Legislation of the Republic of Poland / Sejm of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20010620627> (Last accessed: 06.02.2026) [in Polish].

21. Samorząd gminny: *Law of the Republic of Poland* of 08.03.1990, *Journal of Laws of Poland*, 1990 No. 16, item 95 // Database of Legislation of the Republic of Poland / Sejm of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU19900160095> (Last accessed: 06.02.2026) [in Polish].

22. Utrzymanie czystości i porządku w gminach: *Law of the Republic of Poland* of 13.09.1996 (with amendments), *Journal of Laws of Poland*, 1996 No. 132, item 622 // Database of Legislation of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU19961320622> (Last accessed: 06.02.2026) [in Polish].

23. Kodeks postępowania administracyjnego: *Law of the Republic of Poland* of 14.06.1960, *Journal of Laws of Poland*, 1960 No. 30, item 168 // Database of Legislation of the Republic of Poland / Sejm of the Republic of Poland. URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU19600300168> (Last accessed: 06.02.2026) [in Polish].

24. Rada Miasta Katowice. (2021). W sprawie Regulaminu utrzymania czystości i porządku na terenie Miasta Katowice // Uchwała Nr XXXI/678/21 Rady Miasta Katowice z 4.02.2021. URL: <https://bip.katowice.eu/Lists/Dokumenty/Attachments/122183/Sesja%20XXXI-678-21.pdf> (Last accessed: 06.02.2026) [in Polish].

25. Rada Miasta Katowice. (2024). Uchwała Nr V/71/24 Rady Miasta Katowice z 25.07.2024 // Zmieniająca uchwałę w sprawie Regulaminu utrzymania czystości i porządku na terenie Miasta Katowice. URL: <https://odpady.katowice.eu/wp-content/uploads/2024/09/akt.pdf> (Last accessed: 06.02.2026) [in Polish].

26. Rada Miasta Katowice. (2025). Uchwała Nr XIV/265/25 Rady Miasta Katowice z dnia 28 kwietnia 2025 r. // Zmieniająca uchwałę w sprawie Regulaminu utrzymania czystości i porządku na terenie Miasta Katowice. URL: https://bip.katowice.eu/Lists/Dokumenty/Attachments/146237/SESJA%20XIV-265-25.pdf?utm_source=chatgpt.com (Last accessed: 06.02.2026) [in Polish].

Valentyna Makhniuk^{1,2}, D.Sc., Professor, <https://orcid.org/0000-0001-6196-4370>

Sergei Kovryga², Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-0189-4582>

Volodymyr Kaskiv³, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

^{1,2}Ukrainian Military Medical Academy, Kyiv, Ukraine

²LLC «NDPI Budtechexpertiza», Kryvyi Rih, Ukraine

³State Enterprise «National Institute for Development Infrastructure» (SE «NIDI»), Kyiv, Ukraine

LEGAL AND REGULATORY SUPPORT FOR URBAN IMPROVEMENT: THE EXPERIENCE OF THE REPUBLIC OF POLAND

Abstract

Introduction. The relevance of this study is determined by the need to improve the legal framework and apply modern environmental protection technologies in the field of urban improvement, which ensures sustainable development and enhances the comfort of urban environments.

Problem statement. The experience of the Republic of Poland is of particular scientific interest, as the legal and regulatory framework for landscaping is shaped taking into account the requirements of European legislation, EU environmental directives, and the principles of sustainable development. This allows for its evaluation and the identification of opportunities to adapt this experience to domestic practice.

Purpose of the work is to study the Polish experience in the legal regulation of urban improvement and to identify possibilities for its adaptation to Ukrainian conditions.

Materials included legislative and subordinate acts of the Republic of Poland, as well as scientific publications by Ukrainian and international authors on urban improvement, ecology, and urban planning.

Methods used were comparative legal analysis, content analysis of sources, and synthesis of modern environmental protection technologies.

Results showed that Poland has a comprehensive system of legal acts combining national laws with local resolutions, spatial development plans, and maintenance regulations. The main tools are local decisions regarding cleanliness, maintenance of green areas, and engineering infrastructure, integrating ecological, social, and spatial components. The Polish approach ensures the creation of a safe, functional, and ecologically balanced urban environment and promotes environmental awareness among citizens.

Conclusion. The Polish model of urban improvement regulation is characterized by decentralization, a high level of detail, and practical orientation. It is relevant for scientific analysis and can be used to improve the mechanisms of legal regulation of urban improvement in Ukrainian settlements.

Keywords: urban development, planning and spatial development, environmental protection technologies, regulatory and legal support, environmental safety, sustainable development, environmental policy, waste management, greening of territories, experience of the Republic of Poland.

УДК 332.3(477.83):349.41

Нестеренко Г. Б., канд. екон. наук, доцент, <http://orcid.org/0000-0002-4411-1242>*Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького (ЛНУВМБ імені С.З.Гжицького), м. Львів, Україна*

ІНВЕНТАРИЗАЦІЯ ЗЕМЕЛЬ КОМУНАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ: ПРАВОВІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ НА ПРИКЛАДІ ЛЬВОВА

Анотація

Вступ. Стаття досліджує правові, організаційні та технологічні аспекти інвентаризації земель комунальної власності на прикладі міста Львова. Інвентаризація земель розглядається як фундаментальний механізм управління територіальними ресурсами, що забезпечує достовірність кадастрової інформації та підтримує фінансову стабільність місцевих громад. Актуальність дослідження визначається низкою чинників: швидкою урбанізацією та розширенням інфраструктури, необхідністю зміцнення муніципальних бюджетів за рахунок земельного податку та орендної плати, важливістю запобігання несанкціонованому використанню земель, а також викликами воєнного стану та економічної нестабільності.

Проблема, розглянута у дослідженні, полягає у неповній та фрагментарній реалізації інвентаризації земель у містах України, що призводить до застарілих кадастрових даних, зниження інвестиційної привабливості та обмеженої прозорості у сфері управління земельними ресурсами. Попередні дослідження підкреслювали значення інвентаризації для кадастрових систем, однак залишаються методологічні та технологічні прогалини. Зокрема, відсутність стандартизованих процедур, недостатня інтеграція геоінформаційних технологій та слабкі фінансові механізми знижують ефективність процесів інвентаризації.

Метою дослідження є визначення специфічних особливостей інвентаризації земель комунальної власності у Львові та розроблення напрямів її модернізації. Завдання дослідження включають: обґрунтування теоретико-правових засад інвентаризації земель; аналіз сучасного стану інвентаризації у Львові; виявлення організаційних та фінансових проблем; розроблення алгоритму проведення інвентаризації з урахуванням цифровізації, GIS-технологій та екологічного моніторингу.

Методологія поєднує правовий аналіз, організаційне оцінювання та технологічну експертизу. У дослідженні окреслено шість основних етапів інвентаризації: ухвалення рішення міською радою, призначення виконавців, проведення польових та камеральних геодезичних робіт, підготовка технічної документації, затвердження органами місцевого самоврядування та реєстрація у Державному земельному кадастрі. Кожен етап підтверджується відповідними законодавчими актами та технічними стандартами.

Результати показують, що хоча Львів розпочав інвентаризацію земель ще у 1998 році, процес залишається незавершеним через бюрократичні та фінансові обмеження. Як вирішення пропонується інтеграція сучасних геодезичних технологій, аерофотозйомки з використанням БПЛА та GIS-платформ, що дозволить підвищити точність, ефективність та прозорість. Додатково наголошується на включенні екологічних даних до кадастрових систем як способі узгодження управління земельними ресурсами з цілями сталого розвитку.

Висновки. Встановлено, що інвентаризація земель комунальної власності є не лише технічною процедурою, а й стратегічним інструментом міського розвитку, фінансової стабільності та добробуту громади. Модернізація процесів інвентаризації шляхом цифровізації, впровадження геоінформаційних систем та екологічної інтеграції сприятиме прозорості, залученню інвестицій та

зміцненню стійкості українських міст в умовах сучасних соціально-економічних та правових викликів.

Ключові слова: GIS-технології, інвентаризація земель, кадастрова система, комунальна власність, Львів, міська громада, цифровізація.

Вступ

Інвентаризація земель комунальної власності виступає ключовим інструментом управління територіальними ресурсами міських громад. Вона забезпечує створення достовірної кадастрової бази, визначення правового статусу ділянок та формує основу для ефективного використання земель у соціальній, економічній та інвестиційній сферах.

Актуальність дослідження зумовлена низкою чинників:

- урбанізація та розвиток інфраструктури: зростання населення та інтенсивна забудова у великих містах, зокрема у Львові, потребують точного обліку земельних ресурсів для планування житлових кварталів, транспортних мереж та екологічного балансу;
- фінансова стійкість громад: землі комунальної власності є важливим джерелом доходів місцевих бюджетів. Відсутність актуальної інвентаризації призводить до втрат у вигляді недоотриманих податків та орендної плати;
- правові та управлінські аспекти: повна кадастрова інформація дозволяє уникати конфліктів щодо меж ділянок, запобігати самовільному зайняттю земель та забезпечувати прозорість управлінських рішень;
- інвестиційна привабливість: для залучення інвесторів необхідна чітка інформація про земельні ресурси, їх правовий статус та можливості використання. Неповна інвентаризація знижує конкурентоспроможність міста;
- виклики воєнного часу: в умовах воєнного стану інвентаризація набуває особливого значення як інструмент контролю, прозорості та ефективності використання територіальних ресурсів.

Таким чином, інвентаризація земель комунальної власності є не лише технічним процесом, а й стратегічним завданням, що визначає розвиток міста, фінансову стабільність громади та реалізацію державної земельної політики.

Постановка проблеми

Інвентаризація земель комунальної власності є базовим механізмом управління територіальними ресурсами міст, адже вона забезпечує формування достовірних кадастрових даних, визначення правового статусу ділянок та створює умови для їх ефективного використання. Проте в Україні цей процес тривалий час залишався неповним і несистемним.

На прикладі Львова можна простежити типові труднощі, характерні для більшості міських громад:

- відсутність повної інвентаризації земельних ділянок, що призводить до нестачі актуальної кадастрової інформації;
- самовільне зайняття земель та їх використання не за цільовим призначенням;
- зниження доходів місцевого бюджету через неефективне управління земельними ресурсами;
- бюрократичні та фінансові бар'єри, які уповільнюють проведення інвентаризаційних робіт;
- правові обмеження, пов'язані з воєнним станом, що ускладнюють розпорядження землями та потребують додаткової прозорості з боку органів місцевого самоврядування.

Таким чином, головна проблема полягає у відсутності завершеного та системного процесу інвентаризації земель комунальної власності. Це створює ризики для ефективного управління територіями, знижує інвестиційну привабливість міст та обмежує фінансову стабільність місцевих громад.

Актуальність обраної теми. Правові засади інвентаризації земель визначені Земельним кодексом України, Законом «Про землеустрій» та Законом «Про Державний земельний кадастр». Однак їх практична реалізація у містах стикається з фінансовими та організаційними труднощами. Постанови Кабінету Міністрів України та накази Держгеокадастру деталізують порядок проведення інвентаризації, проте потребують адаптації до сучасних умов цифровізації та впровадження геоінформаційних технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукові дослідження підтверджують багатогранність проблеми. Зокрема, інвентаризація земель комунальної власності у Львові розпочалася ще у 1998 році рішенням міської ради [1], але процес залишився незавершеним, що відображає загальноукраїнську тенденцію.

Ступень Н., Котик З. [2] підкреслюють, що інвентаризація земель є ключовим етапом у веденні Державного земельного кадастру. Вони показують, що саме цей процес дозволяє визначити кількість та склад земель для раціонального використання. Їхні висновки підкреслюють економічний ефект від системного обліку земельних ресурсів.

Кондратенко Д. [3] розглядає інвентаризацію як правову форму обліку земель, а не лише технічну процедуру. Він акцентує на її ролі у захисті прав власності та користування земельними ділянками. Праця демонструє, що інвентаризація має значення для правової стабільності земельних відносин.

Butenko E., Prykhodko M. [4] автори аналізують наукові та прикладні принципи інвентаризації земель територіальних громад. Вони доводять, що інвентаризація напряду впливає на фінансову стабільність через надходження від орендної плати та земельного податку. Запропоновані ними принципи можуть бути використані для оптимізації бюджетних надходжень.

Dorosh Y., Tarnopolskyi A., Avramchuk B. [5] акцентують на методологічних проблемах інвентаризації земель у системі землеустрою. Вони показують, що чинні нормативні акти не забезпечують комплексності процесу. Автори пропонують нові підходи, які включають інтеграцію даних та використання сучасних технологій.

Брехлійчук В., Лахоцька Е. [6] аналізують значення інвентаризації для об'єднаних територіальних громад. Вони доводять, що інвентаризація є основою для ефективного управління земельними ресурсами та охорони довкілля. Їхні висновки підкреслюють важливість прозорості у земельних відносинах..

Церклевич А., Білявський М., Миронець О., Гудз В., Щур Б. [7] звертають увагу на проблемні питання інвентаризації земель та майна в територіальних громадах України. Вони акцентують на труднощах фінансування та бюрократичних процедурах, які уповільнюють процес. Як рішення пропонують використання UAV-зйомки та сучасних геодезичних методів для підвищення точності.

Сучасні дослідження також акцентують на необхідності впровадження GIS-технологій, які дозволяють інтегрувати картографічні та правові дані, здійснювати моніторинг землекористування та забезпечувати прозорість управління.

Таким чином, аналіз літератури свідчить, що інвентаризація земель комунальної власності є складним процесом, який поєднує правові, організаційні та технологічні аспекти. Львів виступає показовим прикладом міста, де всі ці проблеми та перспективи проявляються одночасно.

Мета дослідження. Метою роботи є визначення особливостей проведення інвентаризації земель комунальної власності у містах України на прикладі Львова та розроблення пропозицій щодо її удосконалення. Інвентаризація розглядається не лише як технічна процедура, а як стратегічний інструмент управління територіальними ресурсами, що забезпечує прозорість, фінансову стабільність та інвестиційну привабливість міських громад.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких завдань:

- обґрунтувати теоретичні та правові засади інвентаризації земель комунальної власності;
- проаналізувати сучасний стан інвентаризації земель у Львові та визначити ключові проблеми її реалізації;

- дослідити специфіку використання земель комунальної власності як ресурсу розвитку міських громад;
- розробити алгоритм проведення інвентаризації з урахуванням сучасних технологій (цифровізація кадастрових даних, застосування GIS, UAV-зйомки);
- запропонувати напрями удосконалення інвентаризації, що сприятимуть прозорості управління, фінансовій стабільності та екологічній збалансованості міста.

Таким чином, мета дослідження полягає у створенні науково обґрунтованої моделі інвентаризації земель комунальної власності, яка може бути використана як у Львові, так і в інших містах України.

Виклад основного матеріалу

Інвентаризація земель комунальної власності у містах є складним процесом, що поєднує правові, організаційні та технологічні складові. На прикладі Львова можна простежити специфіку проведення інвентаризації, яка відображає загальноукраїнські тенденції та проблеми.

Правові засади. Основу інвентаризації визначають Земельний кодекс України [8], Закон «Про землеустрій» [9] та Закон «Про Державний земельний кадастр» [10]. Рішення Львівської міської ради 1998 року започаткувало систематизацію земельних ресурсів міста [1]. Проте через фінансові та організаційні труднощі процес залишився незавершеним, що створює ризики для ефективного управління територіями.

Організаційні етапи. Інвентаризація у Львові здійснюється органами місцевого самоврядування у співпраці з Держгеокадастром та охоплює шість основних етапів, які наведені у **табл. 1** та конкретизовані під таблицею. Кожен етап має нормативне підґрунтя та технічні стандарти, що забезпечують його реалізацію.

Таблиці 1

Етапи інвентаризації земель

Етап	Зміст	Нормативна база	Стандарти та вимоги
Прийняття рішення	Ухвала Львівської міської ради про проведення інвентаризації земельних ділянок комунальної власності	Земельний кодекс України (ст. 12, 19, 186); Закон «Про землеустрій» (ст. 25, 26); Постанова КМУ № 476 від 05.06.2019 р.	Визначаються територія проведення робіт, строки їх виконання та джерела фінансування. Рішення оформлюється у формі ухвали органу місцевого самоврядування.
Визначення виконавця	Призначення комунального підприємства або приватної землевпорядної організації	Закон «Про землеустрій» (ст. 26); Наказ Мінекономіки № 157 від 11.03.2020 (ліцензійні умови).	До проведення інвентаризації залучаються організації, які мають сертифікованих інженерів-землевпорядників. Виконання робіт здійснюється з дотриманням чинних ДСТУ у сфері геодезії та картографії.
Польові та камеральні роботи	Геодезичні вимірювання, встановлення меж, збір та аналіз документації	Закон «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність»; Про затвердження Порядку топографічної зйомки від 17.04.2025 № 1675	Використовується система координат УСК-2000, а точність вимірювань забезпечується відповідно до вимог ДСТУ ISO 17123. Зібрані дані обробляються у камеральних умовах.
Розроблення технічної документації	Підготовка кадастрових планів, опис меж, площі та угідь.	Закон «Про землеустрій» (ст. 25); Постанова КМУ № 476 від 05.06.2019;	Документація включає текстову та графічну частини, містить підпис інженера-землевпорядника та печатку організації, що виконувала роботи.

Етап	Зміст	Нормативна база	Стандарти та вимоги
Затвердження документації	Розгляд та затвердження технічної документації органами місцевого самоврядування.	Закон «Про місцеве самоврядування» (ст. 26); Закон «Про землеустрій» (ст. 186).	Розроблені матеріали розглядаються та затверджуються у формі ухвали міської ради або рішення виконавчого комітету. Після цього документ набуває юридичної сили.
Внесення даних до ДЗК	Реєстрація земельних ділянок у Державному земельному кадастрі.	Закон «Про Державний земельний кадастр» (ст. 15, 16); Постанова КМУ № 1051 від 17.10.2012 р.	Інформація про земельні ділянки подається у цифровій формі, їм присвоюються кадастрові номери. Формат даних відповідає XML-схемам Державного земельного кадастру.

Прийняття рішення. Земельний кодекс України визначає повноваження органів місцевого самоврядування у сфері розпорядження землями комунальної власності (ст. 12), закріплює принципи використання земель відповідно до їх цільового призначення (ст. 19) та встановлює порядок погодження і затвердження документації із землеустрою (ст. 186). Закон «Про землеустрій» регламентує види документації, серед яких є технічна документація щодо інвентаризації земель (ст. 25), а також порядок її розроблення та затвердження (ст. 26). Постанова Кабінету Міністрів України №476 від 05.06.2019 р. затверджує Порядок проведення інвентаризації земель, що передбачає ухвалу органу місцевого самоврядування як стартовий етап робіт.

Визначення виконавця. Наступним кроком є призначення комунального підприємства або приватної землевпорядної організації, яка має сертифікованих інженерів-землевпорядників та дотримується ДСТУ у сфері геодезії та картографії.

Польові та камеральні роботи. Включають геодезичні вимірювання, встановлення меж та збір документації. Використовується система координат УСК-2000, а точність вимірювань регламентується ДСТУ ISO 17123.

Розроблення технічної документації. На цьому етапі готуються кадастрові плани, опис меж, площі та угідь. Документація має текстову та графічну частини, підпис інженера-землевпорядника та печатку організації.

Затвердження документації. Відбувається розгляд та затвердження технічної документації органами місцевого самоврядування. Після ухвали або рішення виконкому документ набуває юридичної сили.

Внесення даних до ДЗК. Завершальний етап — реєстрація земельних ділянок у Державному земельному кадастрі, присвоєння кадастрових номерів та внесення даних у цифровій формі відповідно до XML-схем кадастру.

Водночас, інвентаризація стикається з низкою проблем:

1. Відсутність повної та актуальної кадастрової інформації. Це одна з основних перепон для якісної інвентаризації земель, проявляється у кількох вимірах:

- фрагментарність даних: часто кадастрова інформація зберігається у різних відомствах (Держгеокадастр, органи місцевого самоврядування, БТІ), але не інтегрована в єдину систему, що призводить до дублювання або суперечностей;

- застарілість картографічних матеріалів: значна частина планів та карт створювалася ще у 1990-х – початку 2000-х років. Вони не враховують сучасні зміни у забудові, межах земельних ділянок чи природних об'єктах;

- неповнота відомостей про власність та користування: у земельному кадастрі часто відсутні дані про фактичних користувачів земельних ділянок, особливо у випадках самовільного зайняття або неоформлених прав;

- технічні проблеми: електронні бази даних не завжди синхронізовані, є помилки у координатах, відсутні цифрові копії документів, що ускладнює автоматизовану перевірку та аналіз;
- правові суперечності; законодавство змінюється, але не всі дані вчасно оновлюються відповідно до нових норм (наприклад, межі охоронних зон чи природоохоронних територій можуть бути внесені із запізненням).

Відсутність повної та актуальної кадастрової інформації спонукає:

- складність у плануванні нової забудови;
- проблеми з визначенням меж комунальної та приватної власності;
- ризики для інвесторів через невизначеність правового статусу ділянок;
- труднощі у контролі за використанням земель природоохоронного призначення.

2. Самовільне зайняття земельних ділянок. Відповідно до Закону України «Про державний контроль за використанням та охороною земель», ним є будь-які дії, які свідчать про фактичне використання земельної ділянки за відсутності відповідного рішення органу виконавчої влади чи органу місцевого самоврядування про її передачу у власність або надання у користування (оренду) або за відсутності вчиненого правочину щодо такої земельної ділянки, за винятком дій, які відповідно до закону є правомірними.

Слабкий контроль з боку органів місцевого самоврядування, затягування процедур оформлення документів, низька чи б пак злочинна правова культура користувачів призводить до втрати доходів бюджету від орендної плати, конфліктів між громадянами та органами влади та ускладнення планування територій, особливо в зоні нової забудови.

До прикладу. Відповідно Звіту управління державного контролю за використанням та охороною земель департаменту природних ресурсів та будівництва Львівської міської ради за 2025 рік виявлено факт розорювання земель сільськогосподарського призначення комунальної власності орієнтовною площею 27,7500 га під посів сої: на 75 земельних ділянках комунальної власності загальною орієнтовною площею 25,7800 га; на 19 земельних ділянках приватної форми власності загальною орієнтовною площею 1,9700 га [16].

3. Використання земель не за цільовим призначенням. Одним із принципів земельного законодавства є обов'язковість використання земель за цільовим призначенням. Використання земельної ділянки не за цільовим призначенням відповідно до статті 141 Земельного кодексу України є однією з підстав для припинення права користування земельною ділянкою.

Прагнення отримати більший економічний зиск, недосконалість контролюючих механізмів, прогалини у законодавстві щодо відповідальності за порушення земельного законодавства спричиняють зниження екологічної стійкості міста (наприклад, забудова зелених зон), хаотичний розвиток територій, ризики для інвесторів через можливі судові спори.

До прикладу. Вивчаючи судову практику, нецільове використання землі може бути підставою для припинення в судовому порядку як права власності, так і користування нею. У Львові задокументовано випадки, коли земельні ділянки, надані під житлову забудову, використовувалися для комерційних павільйонів. Верховний Суд підтвердив, що таке використання є порушенням умов договору та підставою для його дострокового розірвання [17].

4. Затримки у фінансуванні та адміністративні перепони. Інвентаризаційні роботи потребують значних коштів, але їх виділення часто затримується, а погодження документів проходить через складні бюрократичні процедури, що зумовлено обмеженістю місцевих бюджетів; складністю міжвідомчої координації; надмірною кількістю погоджень та перевірок. Спричиняють затримки у фінансуванні проведення інвентаризації земель відсутність актуальних даних для управління земельними ресурсами, затягування процесу інвентаризації, зниження довіри громадян та інвесторів до прозорості земельних відносин.

До прикладу, Львівська міська рада повідомляла, що через обмеженість бюджету кошти на проведення інвентаризації земель виділялися частинами, що призводило до затягування робіт. У результаті частина ділянок залишалася без актуальних даних, а планові терміни інвентаризації переносилися.

До прикладу. Аналізуючи звіт «Про виконання бюджету Львівської міської територіальної громади за 2024 рік» на заходи із землеустрою у Львівській міській територіальній громаді на 2024 рік передбачено 3,0 млн грн, виконання склало 1,0 млн грн або 33,3 відсотка до уточненого плану на рік [18].

Сучасні дослідження (Ступень, Кондратенко, Butenko, Dorosh, Брехлійчук, Церклевич та ін.) показують, що проблеми інвентаризації проявляються комплексно: від нестачі стандартизованих процедур до потреби у фінансових моделях та технологічній модернізації. У Львові ці виклики особливо актуальні, адже процес потребує інтеграції цифрових кадастрових систем, GIS-платформ та використання UAV-зйомки для підвищення точності.

Інвентаризація земель у Львові демонструє, що цей процес є не лише технічним завданням, а й стратегічним інструментом розвитку міста. Вона впливає на прозорість управління, фінансову стабільність громади та інвестиційну привабливість. Водночас інтеграція екологічних даних у кадастрові системи дозволить поєднати управління земельними ресурсами з цілями сталого розвитку.

Для дослідження специфіки використання земель комунальної власності як ресурсу розвитку міських громад пропонуємо:

- провести аналіз структури землекористування у Львові (житлова забудова, промислові зони, рекреаційні території);
- визначити економічний ефект від оренди та податку на землю для бюджету громади;
- оцінити соціальну та екологічну роль земель (збереження зелених зон, розвиток інфраструктури, забезпечення балансу між забудовою та довкіллям).

Розробити алгоритм проведення інвентаризації з урахуванням сучасних технологій необхідно:

- використавши цифровізацію кадастрових даних: перевести паперові матеріали у цифрову форму, створити єдину базу даних;
- інтегрувати GIS-платформи для поєднання картографічної, правової та екологічної інформації;
- застосувати UAV-зйомку (дрони) для оперативного та точного визначення меж ділянок, моніторингу фактичного землекористування;
- впровадити стандартизовану процедуру внесення даних у Державний земельний кадастр, що забезпечить їх актуальність та прозорість.

Серед напрямів удосконалення інвентаризації пріоритет має бути на:

- прозорість управління: створення відкритих кадастрових карт для громадян та інвесторів;
- фінансова стабільність: розробка механізмів фінансування інвентаризації через державно-приватне партнерство та залучення інвестицій;
- екологічна збалансованість: інтеграція даних про природні ресурси, охоронні зони та екологічні обмеження у кадастрову систему;
- технологічна модернізація: використання сучасних геодезичних методів, автоматизованих систем обліку та моніторингу.

Висновки

Проведене дослідження підтвердило, що інвентаризація земель комунальної власності є не лише технічною процедурою, а й стратегічним інструментом управління територіальними ресурсами міських громад. На прикладі Львова показано, що відсутність системного та завершеного процесу інвентаризації створює ризики для фінансової стабільності, інвестиційної привабливості та прозорості управління.

У роботі визначено правові та організаційні засади інвентаризації, проаналізовано сучасний стан кадастрового обліку та виявлено ключові проблеми його реалізації. Запропоновано алгоритм проведення інвентаризації, який включає цифровізацію кадастрових даних, застосування геоінформаційних систем та використання UAV-зйомки для підвищення точності та оперативності.

Особливу увагу приділено напрямку удосконалення процесу: створенню відкритих кадастрових карт, розробці фінансових механізмів для забезпечення стабільності місцевих бюджетів, інтеграції екологічних даних у кадастрові системи та впровадженню сучасних геодезичних методів. Це дозволить перетворити інвентаризацію із формальної процедури на стратегічний інструмент розвитку міських громад.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні моделей фінансування інвентаризації на рівні міських громад, удосконаленні правових механізмів адаптації до умов воєнного стану, а також у створенні комплексних систем моніторингу землекористування з інтеграцією екологічних показників. Подальший розвиток цього напрямку сприятиме формуванню сучасної моделі управління земельними ресурсами, яка відповідатиме потребам громади та забезпечуватиме сталий розвиток міст України.

Список літератури

1. Про інвентаризацію земель м. Львова: Рішення Львівської міської ради від 06.02.1998 № 51 Львівська міська рада [Сайт]. URL: <https://www8.city-adm.lviv.ua> (дата звернення: 15.02.2026).
2. Ступень Н., Котик З. Сучасний стан робіт з інвентаризації земель. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. Серія Архітектура і сільськогосподарське будівництво. Львів, 2021. № 22. С. 163–166.
3. Кондратенко Д. Ю. Інвентаризація земель як правова форма обліку земель. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету*. Сер.: Юриспруденція. 2019. № 42. Том 1. С. 124–128.
4. Butenko E., Prykhodko M. Scientific and applied principles of inventory of territorial communities lands in Ukraine. Scientific Papers Series Management. *Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. Bucharest. 2020. 20(4), 93–98.
5. Dorosh Y., Tarnopolskyi A., Avramchuk B. Methodological approaches to the land inventory within land management. *Geodesy and Cartography*. Vilnius. 2020. 46(2), 65–72.
6. Брехлійчук В., Лахоцька Е. Інвентаризація земель ОТГ: актуальність даного процесу. *Актуальні проблеми землеустрою та кадастру*. Ужгород, 2023. № 2(12), С. 45–50.
7. Церклевич А., Білявський М., Миронець О., Гудз В., Щур Б. Інвентаризація земель у територіальних громадах: організаційні та технічні виклики. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. Львів. 2024. Випуск II (48). С. 94–102.
8. Земельний кодекс України: Закон від 25.10.2001 р. № 2768-III // База даних «Законодавство України» / ВР України. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2768-14> (дата звернення: 15.02.2026).
9. Про землеустрій: Закон від 22.05.2003 № 858-IV // База даних «Законодавство України» / ВР України. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/858-15> (дата звернення: 16.02.2026).
10. Про державний земельний кадастр: Закон України від 04.06.2017 № 3613-17 // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17#Text> (дата звернення: 15.02.2026).
11. Про затвердження Порядку проведення інвентаризації земель та визнання такими, що втратили чинність, деяких постанов Кабінету Міністрів України: Постанова Кабінету Міністрів України від 05.06.2019 № 476 // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/476-2019-%D0%BF#n9> (дата звернення: 17.02.2026)..
12. Про місцеве самоврядування: Закон України від 21.05.1997 № 280/97-ВР // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/280/97-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 17.02.2026).
13. ДСТУ Б Б.1.1-7:2016 «Система координат». Київ, 2010. 70 с. (Інформація та документація).

14. Про топографо-геодезичну та картографічну діяльність: Закон від 23.12.98 № 353-XIV. База даних «Законодавство України» / ВР України. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/353-14> (дата звернення: 18.02.2026).

15. Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру: Постанова Кабінету Міністрів України від 17.10.2012 № 1051 // База даних «Законодавство України» / ВР України. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1051-2012-п> (дата звернення: 16.02.2026).

16. Звіт управління державного контролю за використанням та охороною земель департаменту природних ресурсів та будівництва Львівської міської ради за 2025 рік [Електронний ресурс]. Управління державного контролю за використанням та охороною земель. URL: <https://city-adm.lviv.ua/portal/public-information/offices/upravlinnia-derzhavnoho-kontroliu-za-vykorystanniam-ta-okhoronoiu-zemel/zvity/> (дата звернення: 14.02.2026).

17. Нецільове використання землі може бути підставою для припинення в судовому порядку як права власності, так і користування нею. [Електронний ресурс]. ЮРЛІГА. URL: https://jurliga.ligazakon.net/news/218698_netslove-vikoristannya-zeml-mozhe-buti-pdstavoyu-dlya-privinennya-v-sudovomu-poryadku-yak-prava-vlasnost-tak-koristuvannya-neyu.

18. Про виконання бюджету Львівської міської територіальної громади за 2024 рік [Електронний ресурс]. Львівська міська рада. URL: <https://city-adm.lviv.ua/portal/public-information/budget/lviv/biudzheth-lvivskoi-miskoi-terytorialnoi-hromady-na-2024-rik/> (дата звернення: 14.02.2026).

References

1. Lviv City Council. (1998). *Pro inventoryzatsiiu zemel m. Lvova* [On land inventory in Lviv]. Decision No. 51, February 6, 1998. Retrieved from URL: <https://www8.city-adm.lviv.ua> (Last accessed: February 14, 2026) [in Ukrainian].
2. Stupen, N., & Kotyk, Z. (2021). Suchasnyi stan robit z inventoryzatsii zemel [Current state of land inventory works]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii: Arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo*. No. 22. P. 163–166 [in Ukrainian].
3. Kondratenko, D. Yu. (2019). Inventoryzatsiia zemel yak pravova forma obliku zemel [Land inventory as a legal form of land accounting]. *Naukovyi visnyk Mizhnarodnoho humanitarnoho universytetu. Serii: Yurysprudentsiia*. No. 42(1). P. 124–128 [in Ukrainian].
4. Butenko, E., & Prykhodko, M. (2020). Scientific and applied principles of inventory of territorial communities lands in Ukraine. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. No. 20(4). P. 93–98 [in English].
5. Dorosh, Y., Tarnopolskyi, A., & Avramchuk, B. (2020). Methodological approaches to the land inventory within land management. *Geodesy and Cartography*. No. 46(2). P. 65–72 [in English].
6. Brekhliichuk, V., & Lakhotska, E. (2023). Inventoryzatsiia zemel OTH: aktualnist danoho protsesu [Land inventory in amalgamated communities: relevance of the process]. *Aktualni problemy zemleustroi ta kadastru*. No. 2(12). P. 45–50 [in Ukrainian].
7. Tserklevych, A., Biliavskyi, M., Myronets, O., Hudz, V., & Shchur, B. (2024). Inventoryzatsiia zemel u terytorialnykh hromadakh: orhanizatsiini ta tekhnichni vyklyky [Land inventory in territorial communities: organizational and technical challenges]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva*. Issue II (48). P. 94–102 [in Ukrainian].
8. Verkhovna Rada of Ukraine. (2001). *Zemelnyi kodeks Ukrainy* [Land Code of Ukraine]. Law No. 2768-III, October 25, 2001. Retrieved from URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2768-14> (Last accessed: February 15, 2026) [in Ukrainian].
9. Verkhovna Rada of Ukraine. (2003). *Zakon Ukrainy «Pro zemleustrii»* [Law of Ukraine «On Land Management»]. Law No. 858-IV, May 22, 2003. Retrieved from URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/858-15> (Last accessed: February 16, 2026) [in Ukrainian].

10. Verkhovna Rada of Ukraine. (2017). *Zakon Ukrainy «Pro Derzhavnyi zemelnyi kadastr»* [Law of Ukraine “On the State Land Cadastre”]. Law No. 3613-17, June 4, 2017. Retrieved from URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17#Text> (Last accessed: February 15, 2026) [in Ukrainian].
11. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2019). *Pro zatverdzhennia Poriadku provedennia inventaryzatsii zemel* [On approval of the procedure for land inventory]. Resolution No. 476, June 5, 2019. Retrieved from URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/476-2019-%D0%BF#n9> (Last accessed: February 17, 2026) [in Ukrainian].
12. Verkhovna Rada of Ukraine. (1997). *Zakon Ukrainy «Pro mistseve samovriaduvannia»* [Law of Ukraine «On Local Self-Government»]. Law No. 280/97-VR, May 21, 1997. Retrieved from URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/280/97-%D0%B2%D1%80#Text> (Last accessed: February 17, 2026) [in Ukrainian].
13. DSTU B B.1.1-7:2016. (2010). *Systema koordynat* [Coordinate system]. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
14. Verkhovna Rada of Ukraine. (1998). *Zakon Ukrainy «Pro topohrafo-heodezychnu ta kartohrafichnu diialnist»* [Law of Ukraine «On topographic, geodetic and cartographic activity»]. Law No. 353-XIV, December 23, 1998. Retrieved from URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/353-14> [in Ukrainian] (Last accessed: February 18, 2026).
15. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2012). *Pro zatverdzhennia Poriadku vedennia Derzhavnoho zemelnoho kadastru* [On approval of the procedure for maintaining the State Land Cadastre]. Resolution No. 1051, October 17, 2012. Retrieved from URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1051-2012-%D0%BF> (zakon2.rada.gov.ua in Bing) (Last accessed: February 16, 2026) [in Ukrainian].
16. Lviv City Council. (2025). *Zvit upravlinnia derzhavnoho kontroliu za vykorystanniam ta okhoroioiu zemel* [Report of the Department of State Control over Land Use and Protection]. Retrieved from URL: <https://city-adm.lviv.ua/portal/public-information/offices/upravlinnia-derzhavnoho-kontroliu-za-vykorystanniam-ta-okhoroioiu-zemel/zvity/> (Last accessed: February 14, 2026) [in Ukrainian].
17. YurLiga. (2026). *Netsilove vykorystannia zemli mozhe buty pidstavoiu dlia prypynennia prava vlasnosti ta korystuvannia* [Non-targeted land use may be grounds for termination of ownership and use]. Retrieved from URL: https://jurliga.ligazakon.net/news/218698_netslove-vikoristannya-zeml-mozhe-buti-pdstavoyu-dlya-prypynennia-v-sudovomu-poryadku-yak-prava-vlasnost-tak--koristuvannya-neyu [in Ukrainian].
18. Lviv City Council. (2024). *Pro vykonannia biudzhetu Lvivskoi miskoi terytorialnoi hromady za 2024 rik* [On the execution of the budget of the Lviv City Territorial Community for 2024]. Retrieved from URL: <https://city-adm.lviv.ua/portal/public-information/budget/lviv/biudzhet-lvivskoi-miskoi-terytorialnoi-hromady-na-2024-rik/> (Last accessed: February 14, 2026) [in Ukrainian].

Haluna Nesterenko, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-4411-1242>

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv (SGNUVMBT Lviv), Ukraine

INVENTORY OF MUNICIPAL LANDS: LEGAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS (CASE OF LVIV CITY)

Abstract

Introduction. The article examines the legal, organizational, and technological aspects of municipal land inventory, focusing on the city of Lviv as a case study. Land inventory is a vital mechanism for managing territorial resources, ensuring accurate cadastral information, and supporting the financial stability of local communities. The urgency of this research arises from several factors: rapid urbanization

and infrastructure expansion, the need to enhance municipal budgets through land tax and lease payments, the importance of preventing unauthorized land use, and the challenges generated by martial law and economic instability.

Problem Statement. The study addresses the incomplete and fragmented implementation of land inventory in Ukrainian cities, which results in outdated cadastral data, reduced investment attractiveness, and limited transparency in land management. Previous research has highlighted the importance of land inventory for cadastral systems, but there are still methodological and technological gaps. Specifically, a lack of standardized procedures, insufficient integration of geoinformation technologies, and weak financial mechanisms impede the effectiveness of inventory processes.

Objectives. The aim of this study is to define the specific features of municipal land inventory in Lviv and to propose directions for its modernization. The research objectives include establishing a theoretical and legal framework for land inventory, analyzing the current status of inventory in Lviv, identifying organizational and financial challenges, and developing an algorithm for inventory implementation that incorporates digitalization and GIS technologies.

The methodology combines legal analysis, organizational assessment, and technological evaluation. The study outlines six main stages of inventory: decision-making by the city council, appointment of executors, field and office geodetic work, preparation of technical documentation, approval by local authorities, and registration in the State Land Cadastre. Each stage is supported by relevant legislation and technical standards.

Results. The results show that while Lviv initiated land inventory in 1998, the process remains incomplete due to bureaucratic and financial limitations. The integration of modern geodetic technologies, UAV-based aerial surveys, and GIS platforms is proposed as a solution to enhance accuracy, efficiency, and transparency. Additionally, incorporating ecological data into cadastral systems is emphasized as a means to align land management with sustainable development goals.

Conclusions. In conclusion, municipal land inventory is not only a technical procedure but also a strategic tool for urban development, financial stability, and community well-being. Modernizing inventory processes through digitalization, geoinformation systems, and ecological integration will enhance transparency, attract investments, and strengthen the resilience of Ukrainian cities in the face of current socio-economic and legal challenges.

Keywords: land inventory, municipal ownership, cadastral system, GIS technologies, digitalization, Lviv, urban communities.

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>Корчевська А. А., *канд. техн. наук*, <https://orcid.org/0000-0001-8245-9891>Шпінь Д. М., <https://orcid.org/0000-0003-0779-5558>*Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»),
м. Київ, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІШОХІДНИХ ПЕРЕХОДІВ НА БЕЗПЕЧНІСТЬ, ІНКЛЮЗИВНІСТЬ І ВІДПОВІДНІСТЬ НОРМАТИВНИМ ДОКУМЕНТАМ

Анотація

Вступ. Безпечна та інклюзивна міська інфраструктура є ключовим елементом сталого розвитку міст. Пішохідні переходи відіграють важливу роль у забезпеченні безпечних та комфортних умов руху та доступу до важливих об'єктів. Їхній стан, розміщення та облаштування мають безпосередній вплив на безпеку, комфорт пересування.

Проблематика. Пішохідні переходи — це критичні точки вулично-дорожньої мережі, де виникає найбільший ризик зіткнення транспортних засобів із пішоходами. Особливу небезпеку вони становлять для дітей, літніх людей, осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп. Попри вимоги нормативних документів, у багатьох містах України пішохідні переходи й досі не відповідають стандартам безпеки та доступності.

Мета. Метою дослідження є аналіз наявних пішохідних переходів на вулицях м. Київ з точки зору безпеки (наявність дорожніх знаків, розмітки, світлофорів, пішохідних огорож тощо), інклюзивності (доступність для осіб з інвалідністю та літніх людей), а також їх відповідності вимогам нормативних документів. За результатами дослідження планується розробити рекомендації щодо покращення безпечних і безбар'єрних умов руху на досліджуваних вулицях.

Матеріали та методи. Аналіз нормативних документів щодо безпеки дорожнього руху та облаштування пішохідних переходів. Польові спостереження на об'єктах в міському середовищі.

Результати. У статті представлено результати дослідження стану наявних пішохідних переходів з точки зору забезпечення безпечного, комфортного та безбар'єрного руху маломобільних груп населення, а також їх відповідності вимогам чинних нормативних документів. За результатами дослідження виявлено основні недоліки в організації пішохідного руху в міському середовищі та сформовано рекомендації щодо покращення дорожньої інфраструктури.

Висновки. Аудит безпеки 445 об'єктів у м. Київ виявив системну невідповідність пішохідної інфраструктури нормам безпеки та інклюзивності: 48 % переходів мають критичне зношення розмітки, а спеціалізоване освітлення відсутнє на 84,3 % локацій. Попри формальну наявність елементів безбар'єрності, кожен п'ятий бордюрний з'їзд не відповідає вимогам ДБН В.2.2-40:2018 [1], а рівень сенсорної доступності (тактильна плитка, звукові сигнали) не перевищує 35 %. Встановлено, що наявні підходи та ігнорування потреб маломобільних груп населення (які становлять до 50 % мешканців) створюють бар'єри для безпечного пересування, що в умовах воєнного стану є критичним викликом для соціальної рівності та безпеки міста.

Ключові слова: автомобільна дорога, безпека, вулиця, доступність, інклюзивність, пішохідний перехід, маломобільні групи населення, особи з інвалідністю.

Вступ

Сучасна стратегія розвитку міської інфраструктури вимагає безпечного та комфортного середовища зокрема для маломобільних груп населення (далі — МГН) — людей з інвалідністю, батьків з дитячими візками, людей похилого віку та осіб з тимчасовими травмами (**рис. 1**).

Для цієї категорії громадян пішохідний перехід є не просто елементом дорожньої інфраструктури, а критичним вузлом, який визначає можливість їхньої участі в соціальному житті міста.

МАЛОМОБІЛЬНІ ГРУПИ НАСЕЛЕННЯ



СКІЛЬКИ ТАКИХ ЛЮДЕЙ?

	2,6 млн – особи з інвалідністю
	9,5 млн – люди похилого віку
	25 млн – подорожували
	42,4 млн – населення України
	31 млн – хворіли

Рисунок 1 — Маломобільні групи населення [2]

Створення безбар'єрного простору неможливе без суворого дотримання вимог нормативних документів. Дослідження наявних пішохідних переходів за критеріями безпечності, комфортності, інклюзивності та безперешкодності дає змогу виявити недоліки, які негативно впливають на безпеку дорожнього руху для всіх його учасників. Водночас важливим є належне облаштування пішохідних переходів відповідно до вимог нормативних документів.

Питання інклюзивності в даній роботі розглядається не як додаткова опція, а як обов'язковий безпековий параметр: відсутність пониження бордюру, тактильної навігації чи звукового супроводу

світлофора автоматично перетворює пішохідний перехід на зону підвищеного ризику для маломобільних груп населення.

Психофізіологічний комфорт маломобільного пішохода напряму залежить від якості візуальних та фізичних маркерів. Відповідно до чинних державних будівельних норм (далі — ДБН), кожен елемент інфраструктури — від кута нахилу пандуса до контрастності дорожньої розмітки — має працювати на випередження аварійних ситуацій. У цій статті представлено результати масштабного аудиту безпеки на 445 об'єктах, метою якого було встановити, наскільки існуюча інфраструктура відповідає вимогам безпечного та комфортного руху пішоходів та які нормативні невідповідності є найбільш критичними для безпеки найменш захищених верств населення.

Створення безбар'єрного середовища є не привілеєм для окремих категорій, а необхідною умовою функціонування суспільства, де від 30 % до 50 % населення належать до МГН. Всупереч поширеній думці, що доступність стосується лише осіб з інвалідністю, згідно з розподілом категорія МГН охоплює значно ширше коло осіб, об'єднаних трьома ознаками: труднощами під час переміщення (через вік, травми, вагітність та інше), потребою у соціальній підтримці та підвищеним ризиком дискримінації через непристосованість простору.

Відповідно до ДБН В.2.2-40:2018 до МГН відносяться люди, що відчувають труднощі під час самостійного пересування, в одержанні послуги, необхідної інформації або при орієнтуванні в просторі. До МГН віднесені особи з інвалідністю, люди з тимчасовим порушенням здоров'я, вагітні жінки, літні люди, люди з дитячими колясками.

Основна частина

У сучасному місті автомобіль і пішохід щодня перетинаються на спільному просторі — автомобільній дорозі. Важливо усвідомлювати, що обидві сторони є повноцінними учасниками дорожнього руху, однак пішоходи є більш вразливою категорією. Саме тому особлива увага має приділятися питанням їхньої безпеки.

Основним правилом для водіїв є неухильне дотримання швидкісного режиму, особливо поблизу пішохідних переходів, шкіл, дитячих садків та щільних житлових забудов. Водій повинен завжди бути готовим до непередбачуваної поведінки пішоходів і вчасно зреагувати. Крім того, важливо не відволікатися за кермом і бути особливо уважним у темний час доби.

Пішоходи, у свою чергу, повинні переходити дорогу лише у встановлених місцях, дотримуватися сигналів світлофора та не вибігати на проїзну частину. Варто пам'ятати, що навіть якщо пішохід має перевагу на переході, краще переконатися, що водій зупинився, перш ніж ступити на дорогу. У темний час доби корисно мати світловідбивні елементи на одязі або аксесуарах.

Статистичні дані про ДТП в різних країнах світу, свідчать про те, що проблема безпеки пішоходів є ключовою серед загальних проблем забезпечення безпеки дорожнього руху в країнах Європи, СНД та в Україні [3].

Учені та інженери впродовж багатьох років вивчають і проводять польові та експериментальні дослідження різних методів і засобів, направлених на оптимальне організування і підвищення безпеки руху пішоходів на автомобільних дорогах [4].

У нинішніх умовах, коли Україна переживає непрості часи, питання безпеки та інклюзивності пішохідної інфраструктури набуває особливої актуальності. Війна змінила життя мільйонів людей, зокрема й тих, хто отримав поранення, втратив зір, слух або здатність самостійно пересуватись. Для таких громадян доступність та безпечність переходів стає критично важливою умовою нормального життя у місті.

Інклюзивні пішохідні переходи — це не лише пониження бордюрів. Це також звукові сигнали світлофорів для людей із порушенням зору, тактильна плитка для орієнтування, належне освітлення, чітка розмітка та достатньо часу на перехід. У місцях, де регулярно перебувають літні люди, діти або особи з інвалідністю, ці елементи мають бути стандартом, а не винятком.

Безпечний та доступний перехід — це прояв поваги суспільства до кожної людини. Важливо, щоб під час відновлення інфраструктури після обстрілів або перебудови міст урахувались потреби вразливих учасників дорожнього руху. Інклюзивність — це не лише про комфорт, це про гідність, рівність і право кожного бути мобільним і незалежним.

Однак, ситуація з облаштуванням пішохідних пішохідів дуже погана. Дослідження, які проводили студенти кафедри економічної та соціальної географії географічного факультету КНУ ім. Шевченка під час практики в КП «Центр організації дорожнього руху» свідчать, що лише 25 % пішохідних переходів повністю відповідають вимогам інклюзивності зокрема мають нормативне пониження бордюру та облаштовані тактильною плиткою [5].

Голова комітету ВР з питань організації державної влади, місцевого самоврядування, регіонального розвитку і містобудування Олена Шуляк наводить сумну статистику — майже 50 % пішохідних переходів Києва і близько не відповідають вимогам інклюзивності [6].

Фахівці ДП «НІРІ» проводили власні дослідження пішохідних переходів на відповідність їх облаштування вимогам нормативних документів, безпеку та інклюзивність.

Слід зазначити, що єдиного нормативного документа, який би містив усі вимоги до облаштування пішохідних переходів не існує. За кожним напрямком (місце розміщення, освітлення, дорожня розмітка, знаки, огорожа, світлофорне регулювання тощо) вимоги встановлюються окремими документами.

Вимоги до проектування пішохідних переходів на автомобільних дорогах (переважно розміщені поза межами населених пунктів) встановлені ДБН В.2.3-4:2015 [7], зокрема:

- пунктами 4.5.13 та 4.5.14 встановлені вимоги щодо влаштування острівців безпеки;
- пунктом 4.6.7 — забезпечення видимості пішоходів і велосипедистів;
- підрозділом 12.3 — вибору типу пішохідного переходу та їх облаштування технічними засобами організування дорожнього руху;
- абзацами дев'ятим — одинадцятим пункту 12.7.1 — облаштування пішохідних переходів стаціонарним електричним освітленням;
- пунктами 12.7.10 та 12.7.11 встановлено вимоги до середньої та мінімальної горизонтальної освітленості пішохідних переходів;
- у додатку В наведено приклади облаштування пішохідних переходів.

Пішохідні переходи облаштовують відповідними технічними засобами організування дорожнього руху, вимоги до яких встановлені національними стандартами, зокрема:

- до дорожніх знаків вимоги встановлені в ДСТУ 4100:2021 [8];
- до дорожньої розмітки — в ДСТУ 2587:2021 [9];
- до огорожі — в ДСТУ 8751:2017 [10];
- до вставок розмічальних дорожніх — в ДСТУ 4036:2021 [11];
- до засобів заспокоєння руху — в ДСТУ 4123:2020 [12];
- до світлофорів дорожніх — в ДСТУ 4092:2024 [13].

Освітлення на пішохідних переходах повинно відповідати вимогам ДБН В.2.5-28:2018 [14].

Дотримання нормативних вимог до облаштування пішохідних переходів є важливим для забезпечення безпеки пішоходів та зменшення кількості дорожньо-транспортних пригод (ДТП).

У статті проведено комплексне дослідження пішохідних переходів і проаналізовано чинники ризику виникнення аварійності за участю пішоходів на нерегульованих пішохідних переходах відповідно до Р В.2.3-03450778–855:2015 [15].

Аудит безпеки ділянок автомобільних доріг з існуючими пішохідними переходами виявив значні розбіжності між рекомендованими та фактичними параметрами.

Отже, 15,73 % об'єктів мають острівці безпеки, які документ визначає як пріоритетний засіб захисту на багатосмугових дорогах (рис. 2). Освітлення пішохідних переходів було виявлено лише на 70 об'єктах із 445, що становить 15,73 % (рис. 3). Дослідження також підтверджує критичну зношеність розмітки (47,87 % незадовільного стану), що нівелює візуальне сприйняття переходу водіями.

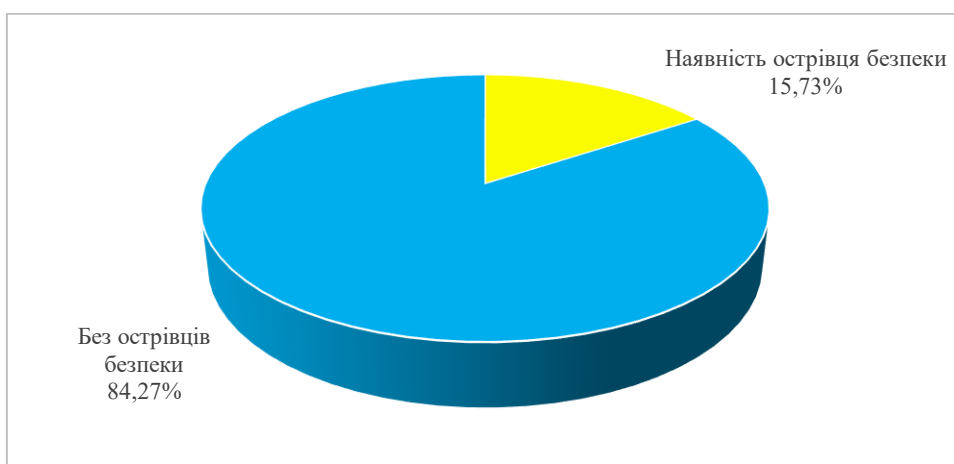


Рисунок 2 — Наявність острівців безпеки на пішохідних переходах

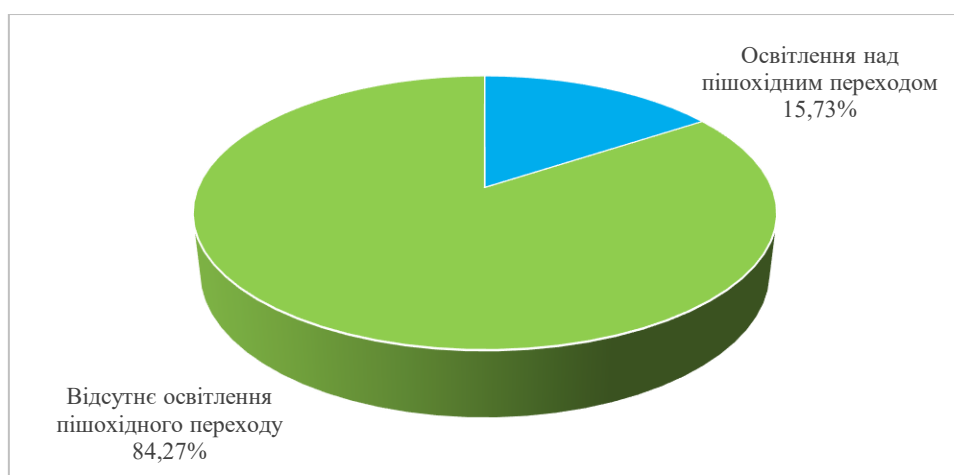


Рисунок 3 — Освітлення пішохідних переходів

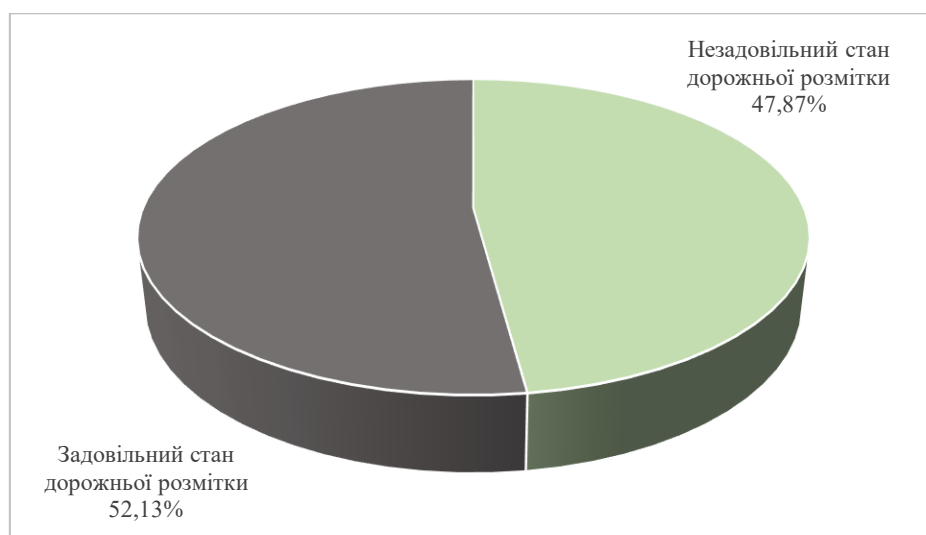


Рисунок 4 — Стан дорожньої розмітки на пішохідних переходах

Окрему увагу приділено інклюзивній складовій як невід’ємній частині безпечного дизайну. Виявлено, що низька частка підвищених пішохідних переходів (3,1 %) та ненормативні пониження бордюрів перешкоджають реалізації рекомендованої концепції «безперервного та безбар’єрного маршруту». Автори статті пропонують алгоритм модернізації інфраструктури м. Київ шляхом впровадження інженерних заходів пасивної безпеки та вимог нормативних документів щодо інклюзивності, що дозволить знизити кількість ДТП та забезпечити рівний доступ до міського простору для всіх категорій населення.

Фахівці ДП «НІРІ» провели дослідження існуючих пішохідних переходів на вулицях міста Київ. Під час дослідження було охоплено 8 районів, всього було обстежено 445 об’єктів на 45 вулицях (табл. 1). Було досліджено понад 20 параметрів, основні із них: наявність і стан дорожньої розмітки та знаків, наявність світлофорів, дорожніх огорож, зокрема стовпчиків на самому пішохідному переході та на підходах до нього, освітлення, острівців безпеки, тактильної плитки, пониження бордюрного каменю тощо.

Таблиця 1

Анкета обстеження пішохідних переходів

Показник / Дата дослідження	22.03.2025	26.03.2025	28.03.2025	29.03.2025	10.04.2025	24.04.2025	Загалом
Пониження бордюру	30	72	43	62	63	50	320
Пониження не відповідає вимогам	3	2	7	5	43	0	60
Підвищений пішохідний перехід	1	1	0	1	0	11	14
Наявність дорожнього пагорба	1	1	0	1	0	0	3
Наявність пристрою примусового зниження швидкості (за ДСТУ 4123:2006)	3	0	0	9	9	7	28
Наявність острівця безпеки	1	15	6	9	30	9	70
Тактильна плитка	10	25	27	38	29	26	155
Регульований пішохідний перехід	10	50	31	16	40	23	170
Нерегульований пішохідний перехід	28	28	21	50	67	38	232
Пристрій виклику сигналу світлофора	2	1	1	6	0	2	12
Звуковий сигнал	0	1	4	5	0	5	15
Підземний пішохідний перехід	0	12	0	3	20	0	35
Надземний пішохідний перехід	0	0	0	2	0	0	2
Наявність пандусів	0	0	0	11	0	14	25
Наявність ліфтів	4	2	0	0	0	0	6
Огорожа на підходах	2	12	3	22	10	40	89
Стовпчики на підходах	2	14	16	8	3	12	55
Стовпчики на пішохідному переході	52	2	13	15	2	13	97
Розмітка 1.14.1	0	52	49	47	99	32	279
Розмітка 1.14.2	0	23	1	20	8	0	52
Розмітка 1.14.3	1	0	2	0	2	23	28
Розмітка 1.15	0	0	1	0	6	0	7
Наявність велосипедної доріжки	3	0	0	0	0	0	3
Відсутність розмітки	3	0	0	2	17	0	22
Задовільний стан дорожньої розмітки	14	49	5	26	48	32	174
Незадовільний стан дорожньої розмітки	0	0	1	0	0	24	25

Кінець таблиці 1

Показник / Дата дослідження	22.03.2025	26.03.2025	28.03.2025	29.03.2025	10.04.2025	24.04.2025	Загалом
35 % – 40 % зношення розмітки	14	24	32	35	25	4	134
50 % зношення розмітки	0	0	1	3	1	0	5
60 % – 80 % зношення розмітки	5	0	8	3	29	4	49
Наявність дорожніх знаків «Пішохідний перехід»	36	64	47	71	65	47	330
не відповідають вимогам	0	0	10	0	0	0	10
відсутні	0	2	0	0	0	0	2
Наявність жовтої облямівки на дорожніх знаках	1	16	0	2	15	4	38
Освітлення вулиці	36	88	52	73	109	55	413
Освітлення над пішохідним переходом	0	70	0	0	0	0	70

Отже, відповідно до вимог будівельних норм і національних стандартів можна стверджувати, що на 213 пішохідних переходах дорожня розмітка була у незадовільному стані, а на 22 пішохідних переходах — відсутня. На інших пішохідних переходах розмітка була у задовільному стані (рис. 5 – 7).



Рисунок 5 — Стан дорожньої розмітки

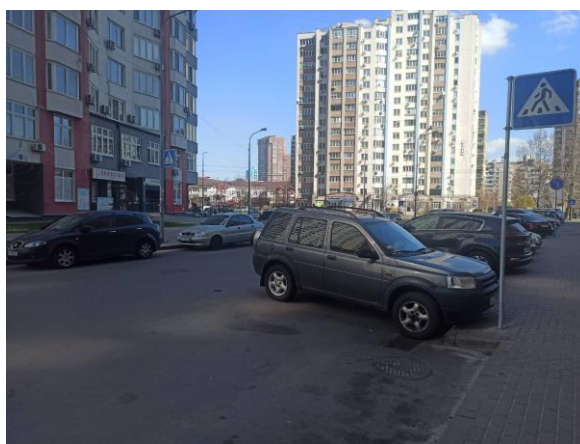


Рисунок 6 — Відсутня дорожня розмітка



Рисунок 7 — Позначення пішохідного переходу розміткою 1.14.1

Дорожніми знаками облаштовані майже 75 % пішохідних переходів, серед яких тільки 3 % візуально не відповідали вимогам через наявність відшарувань світлоповерхтальної плівки, тріщин, погнутість тощо; 11,5 % знаків мали флуоресцентну облямівку.

На 1 пішохідному переході були вмонтовані вставки розмічальні дорожні (далі — ВРД).

На 20 % пішохідних переходах була встановлена дорожня огорожа; на 12,4 % були стовпчики на підходах, на 21,8 % — були стовпчики безпосередньо на пішохідному переході, на 15,7 % був влаштований острівець безпеки, який було облаштовано технічними засобами організування дорожнього руху (**рис. 7**).

Перед 28 пішохідними переходами були влаштовані пристрої примусового зниження швидкості (згідно з ДСТУ 4123:2006, який втратив чинність з 01.11.2020 згідно з наказом ДП «УкрНДНЦ» від 06.08.2020 № 175 «Про прийняття та скасування національних стандартів»).

На 71,9 % пішохідних переходів було пониження бордюру, серед яких 18,8 % мало часткове пониження (не в рівень з проїзною частиною та не на всю ширину пішохідного переходу) (**рис. 8**).

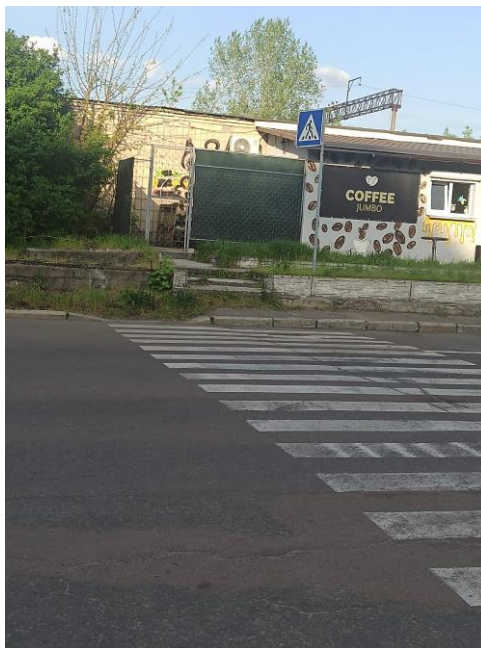


Рисунок 8 — Приклад пониження бордюру на пішохідному переході

На 34,8 % пішохідних переходах наявна тактильна плитка, тільки 14 пішохідних переходів (3,1 %) були піднятими (**рис. 9**).



Рисунок 9 — Наявний піднятий пішохідний перехід

Під час дослідження було виявлено 35 підземних і 2 надземних пішохідних переходів із них на 25 були наявні пандуси та на 6 — ліфти. На 12 пішохідних переходах (2,7 %) наявний пристрій виклику сигналу світлофора, 3,4 % пішохідних переходів мають звуковий сигнал.

Щодо дорожньої розмітки, то 11,7 % пішохідних переходів позначені дорожньою розміткою 1.14.2 та 6,3 % — розмітка для осіб з порушенням зору (**рис. 10**).

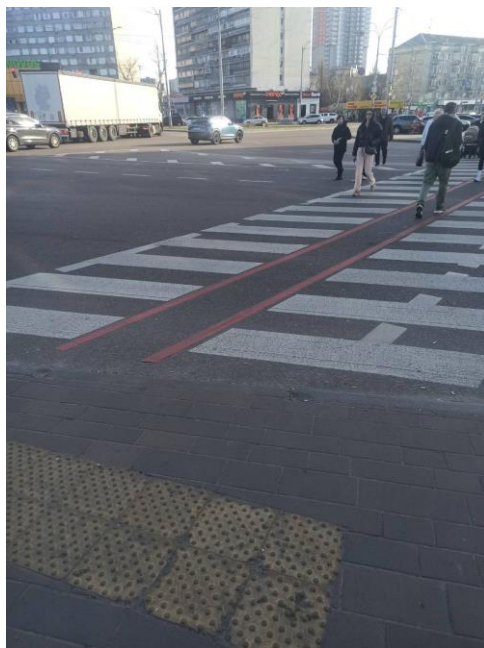


Рисунок 10 — Наявний пішохідний перехід для осіб з порушенням зору

Висновки

Проведене дослідження на 445 пішохідних переходах у м. Київ дозволило комплексно оцінити стан міської інфраструктури та виявити критичні невідповідності принципам інклюзивності та нормативним вимогам безпеки. На основі отриманих даних можна зробити такі висновки.

Частина обстежених пішохідних переходів не відповідає вимогам нормативних документів. Виявлено, що майже половина переходів (48 %) мають розмітку в незадовільному стані (зношеність понад 35 %), а на 5 % об'єктах вона відсутня взагалі. Це свідчить про системне нехтування вимогами ДСТУ 2587:2021, що в умовах низького рівня освітлення переходів (лише 15,7% об'єктів мають спеціальне підсвічування) створює пряму загрозу життю пішоходів.

Дефіцит реальної безбарерності. Попри те, що пониження бордюру зафіксовано на 71,9 % об'єктів, кожен п'ятий з них (18,8 %) виконаний з порушенням вимог ДБН В.2.2-40:2018 (відсутність нульового рівня з проїзною частиною). Вкрай низьким залишається рівень сенсорної доступності зокрема тактильна плитка наявна лише у 34,8 % випадків, а звукові сигнали — у 3,4 %, що фактично ізолює людей з порушенням зору від безпечного пересування містом.

Недостатність засобів пасивної безпеки. Впровадження інженерних рішень для заспокоєння руху залишається точковим. Острівці безпеки присутні лише на 15,7 % переходів, а підняті переходи, що є найефективнішим засобом захисту МГН, становлять лише 3,1 %. Це підкреслює перевагу автомобільного руху над пішохідним, що впливає на виникнення ДТП за участю пішоходів.

В умовах війни та збільшення кількості людей з постійними або тимчасовими функціональними порушеннями, інклюзивність інфраструктури переходить із категорії «комфорту» у категорію «виживання». Невідповідність 50 % підходів нормам доступності є критичним викликом для гідності та рівності громадян.

Список літератури

1. ДБН В.2.2-40:2018 Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. Київ. 2018. 72 с. (Інформація та документація).
2. Маломобільні групи населення: хто це? І навіщо створювати для них доступність? URL: <https://nmc.dsns.gov.ua/zk/news/ostanni-novini/497>.
3. Нагребельна Л. П., Беленчук О. В., Кононенко А. О. Підняті пішохідні переходи, як засіб забезпечення безпеки пішоходів. *Автошляховик України*. № 2 (254). 2018. DOI: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2018-2-254-47-50>.
4. Семченко Н. О., Кузін К. С. Дослідження методів організації пішохідного руху через проїзну частину. URL: <https://dSPACE.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/802d79a2-434e-4c85-9340-4d6709060fe0/content>.
5. Лише 25 % пішохідних переходів у центрі Києва є інклюзивними URL: https://tvoemisto.tv/news/lyshe_25_pishohidnyh_perehodiv_u_tsentri_kyieva_ie_inklyuzyvnymy_doslidzhennya_161849.html.
6. Майже 50 % пішохідних підходів у Києві і близько не відповідають вимогам інклюзивності URL: <https://unn.ua/news/maizhe-50percent-pishokhidnykh-pidkhodiv-u-kyievi-i-blyzko-ne-vidpovidaiut-vymoham-inkliuzyvnosti-shuliak>.
7. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ. 2025. 91 с. (Інформація та документація).
8. ДСТУ 4100:2021 Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування. Київ. 2021. 144 с. (Інформація та документація).
9. ДСТУ 2587:2021 Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні умови. Київ. 2021. 102 с. (Інформація та документація).

10. ДСТУ 8751:2017 Безпека дорожнього руху. Огородження дорожні і напрямні пристрої. Правила використання. Загальні технічні вимоги. Київ. 2017. 43 с. (Інформація та документація).
11. ДСТУ 4036:2021 Безпека дорожнього руху. Вставки розмічальні дорожні. Загальні технічні вимоги. Київ. 2021. 26 с. (Інформація та документація).
12. ДСТУ 4123:2020 Безпека дорожнього руху. Засоби заспокоєння руху. Загальні технічні вимоги. Київ. 2020. 19 с. (Інформація та документація).
13. ДСТУ 4092:2024 Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні умови. Київ. 2024. 51 с. (Інформація та документація).
14. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. Київ. 2018. 137 с. (Інформація та документація).
15. Р В.2.3-03450778–855:2015 Рекомендації з облаштування нерегульованих пішохідних переходів в одному рівні на автомобільних дорогах загального користування сучасними засобами організації дорожнього руху та освітлення. Київ. 2015. 34 с. (Інформація та документація).
16. ДСТУ-Н Б В.2.2-31:2011 Настанова з облаштування будинків і споруд цивільного призначення елементами доступності для осіб з вадами зору та слуху. Київ. 2011. 14 с. (Інформація та документація).

References

1. DBN V.2.2-40:2018 Inkluzyvnist budivel i sporud. Osnovni polozhennia. [State Building Norms (DBN V.2.2-40:2018 Accessibility of buildings and structures. Basic provisions)]. Kyiv. 2018. 72 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
2. Malomobilni hrupy naselennia: khto tse? I navishcho stvoriuvaty dla nykh dostupnist? URL: <https://nmc.dsns.gov.ua/zk/news/ostanni-novini/497> [in Ukrainian].
3. Nahrebelna L. P., Belenchuk O. V., Kononenko A. O. Pidniati pishokhidni perekhody, yak zasib zabezpechennia bezpeky pishokhodiv. *Avtoshliakhovyk Ukrayiny*. No. 2 (254). 2018. DOI: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2018-2-254-47-50> [in Ukrainian].
4. Semchenko N. O., Kuzin K. S. Doslidzhennia metodiv orhanizatsii pishokhidnoho rukhu cherez proiznu chastynu. URL: <https://dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/802d79a2-434e-4c85-9340-4d6709060fe0/content/> [in Ukrainian].
5. Lyshe 25 % pishokhidnykh perekhodiv u tsentri Kyieva ye inkluzyvnyy URL: https://tvoemisto.tv/news/lyshe_25_pishohidnyh_perekhodiv_u_tsentri_kyieva_ie_inklyuzyvnyy_doslidzhennya_161849.html/ [in Ukrainian].
6. Maizhe 50 % pishokhidnykh pidkhodiv u Kyievi i blyzko ne vidpovidaiut vymoham inkluzyvnosti URL: <https://unn.ua/news/maizhe-50percent-pishokhidnykh-pidkhodiv-u-kyievi-i-blyzko-ne-vidpovidaiut-vymoham-inkluzyvnosti-shuliak/> [in Ukrainian].
7. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo. [State Building Norms (DBN V.2.3-4:2015 Motorways. Part I. Design. Part II. Construction)] Kyiv. 2025. 91 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
8. DSTU 4100:2021 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Znaky dorozhni. Zahalni tekhnichni umovy. Pravyla zastosuvannia [State Standart of Ukraine (DSTU 4100:2021 Road safety. Road signs. General technical conditions. Rules of application)] Kyiv. 2021. 144 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
9. DSTU 2587:2021 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Rozmitka dorozhnia. Zahalni tekhnichni umovy. [State Standart of Ukraine (DSTU 2587:2021 Road safety. Road markings. General technical conditions)] Kyiv. 2021. 102 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
10. DSTU 8751:2017 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Ohorodzhennia dorozhni i napriamni prystroi. Pravyla vykorystannia. Zahalni tekhnichni vymohy. [State Standart of Ukraine (DSTU 8751:2017 Road

safety. Road barriers and guidance devices. Rules of use. General technical requirements)] Kyiv. 2017. 43 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

11. DSTU 4036:2021 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Vstavky rozmichalni dorozhni. Zahalni tekhnichni vymohy [State Standard of Ukraine (DSTU 4036:2021 Road safety. Road marking inserts. General technical requirements)]. Kyiv. 2021. 26 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

12. DSTU 4123:2020 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Zasoby zaspokoiennia rukhu. Zahalni tekhnichni vymohy. [State Standard of Ukraine (DSTU 4123:2020 Road safety. Traffic calming measures. General technical requirements)] Kyiv. 2020. 19 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

13. DSTU 4092:2024 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Svitlofory dorozhni. Zahalni tekhnichni umovy. [State Standard of Ukraine (DSTU 4092:2024 Road safety. Traffic lights. General technical conditions)] Kyiv. 2024. 51 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

14. DBN V.2.5-28:2018 Pryrodne i shtuchne osvittlenia Kyiv. [State Standard of Ukraine] 2018. 137 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

15. R V.2.3-03450778–855:2015 Rekomendatsii z oblashtuvannia neregulovanykh pishokhidnykh perekhodiv v odnomu rivni na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia suchasnymy zasobamy orhanizatsii dorozhnoho rukhu ta osvittlenia. [Recommendations (P B.2.3-03450778–855:2015 Recommendations for the installation of unregulated pedestrian crossings at the same level on public roads using modern traffic management and lighting systems)] Kyiv. 2015. 34 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

16. DSTU-N B V.2.2-31:2011 «Nastanova z oblashtuvannia budynkiv i sporud tsyvilnoho pryznachennia elementamy dostupnosti dlia osib z vadamy zoru ta slukhu» [State Standard of Ukraine (DSTU-N B V.2.2-31:2011 Guidelines for equipping civil buildings and structures with accessibility features for persons with visual and hearing impairments)] Kyiv. 2011. 14 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>

Alina Korchevskaya, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0001-8245-9891>

Denis Shpin, <https://orcid.org/0000-0003-0779-5558>

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

RESEARCH ON PEDESTRIAN CROSSINGS FOR SAFETY, INCLUSIVENESS, AND COMPLIANCE WITH REGULATORY DOCUMENTS

Abstract

Introduction. Safe and inclusive urban infrastructure is a key element of sustainable urban development. Pedestrian crossings play an important role in ensuring safe and comfortable traffic conditions and access to important facilities. Their condition, location, and design have a direct impact on safety and comfort of movement.

Problem statement. Pedestrian crossings are critical points in the street and road network where there is the greatest risk of collisions between vehicles and pedestrians. They pose a particular danger to children, the elderly, people with disabilities, and other groups with limited mobility. Despite regulatory requirements, pedestrian crossings in many Ukrainian cities still do not meet safety and accessibility standards.

Purpose. The purpose of the study is to analyze existing pedestrian crossings on the streets of Kyiv in terms of safety (presence of road signs, markings, traffic lights, pedestrian barriers, etc.), inclusiveness

(accessibility for people with disabilities, elderly people), and compliance with regulatory requirements. Developing recommendations for improving safe and unobstructed traffic conditions on the existing streets under study.

Materials and methods. Analysis of regulatory documents on road safety and pedestrian crossing design. Field observations at sites in urban environments.

Results. The article presents the results of a study on existing pedestrian crossings from the point of view of safe, comfortable, and unobstructed movement for people with limited mobility. Compliance with current regulatory documents. The results of the study revealed the main shortcomings in the organization of pedestrian traffic in the urban environment and recommendations were made for improving road infrastructure.

Conclusions. A safety audit of 445 sites in Kyiv revealed systemic non-compliance of pedestrian infrastructure with safety and inclusivity standards: 48 % of crossings have critically worn markings, and 84.3 % of locations lack specialized lighting. Despite the formal presence of barrier-free elements, one in five curb ramps does not meet the standards of DBN V.2.2-40:2018 1, and the level of sensory accessibility (tactile tiles, audible signals) does not exceed 35 %. It has been established that the existing approach and the disregard for the needs of people with reduced mobility (who make up 50 % of the population) create barriers to safe movement, which in conditions of martial law becomes a critical challenge for social equality and city safety.

Keywords: safety, accessibility, inclusiveness, pedestrian crossings, people with limited mobility, people with disabilities.

УДК 502.131.1:629.1:656.1

Білоног О. Є., канд. техн. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0003-2471-5388>Галак І. І., канд. техн. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-5038-7771>Янішевський С. В., канд. техн. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-0113-5463>Білоног О. В., <https://orcid.org/0009-0001-1019-9987>Климчук Ю. О., <https://orcid.org/0009-0006-7104-5275>*Національний транспортний університет (НТУ), Київ, Україна*

ОСОБЛИВОСТІ ОБЛАШТУВАННЯ ВИДІЛЕНИХ СМУГ ДЛЯ РУХУ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМ СТАЛОЇ МІСЬКОЇ МОБІЛЬНОСТІ

Анотація

Вступ. У статті запропоновано систему критеріїв щодо обґрунтування доцільності облаштування виділених смуг для руху громадського транспорту в умовах формування систем сталої міської мобільності.

Проблематика. У процесі впровадження концепції сталого розвитку сучасних міст з урахуванням стрімкого зростання кількості індивідуального транспорту, яке негативно впливає на забезпечення необхідного рівня міської мобільності, особливої актуальності набуває розвиток сталих видів мобільності. Як відомо, до останніх відносять пішохідний і велосипедний рух, пересування з використанням екологічного транспорту, транзитно-орієнтоване проєктування, оренду транспортних засобів, а також системи міського громадського транспорту, які є економічними, сприяють збереженню простору та пропаганді здорового способу життя. При цьому саме громадський транспорт, враховуючи його провізні спроможності, розглядається як основна альтернатива використанню індивідуальних автомобілів.

Проте, як свідчить практика реалізації відповідної транспортної політики, для заохочення мешканців та гостей міста до використання громадського транспорту як протидії індивідуальним автомобілям, необхідно створити особливі (пріоритетні) умови для його руху. Як відомо, однією з типових проблем транспортних систем сучасних міст є перевантаження вулично-дорожньої мережі рухом транспорту. Як наслідок — збільшується кількість ускладнень та заторів, які безпосередньо призводять до зменшення швидкості всіх видів вуличного сполучення та збільшення тривалості поїздок мешканців. Одним із простих шляхів вирішення такої проблеми може розглядатися облаштування виділених смуг для руху громадського транспорту.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні доцільності впровадження та розробленні системи критеріїв щодо облаштування на вулично-дорожній мережі міста виділених смуг для руху вуличного громадського транспорту, які мають стати порівняно простим та достатньо ефективним інфраструктурним елементом при формуванні систем стійкої міської мобільності.

Матеріали та методи. Під час проведення дослідження використано комплексний підхід, що базується на аналізі нормативних напрацювань щодо встановлення вимог на проєктування та будівництво елементів транспортної інфраструктури населених пунктів в нашій країні (зокрема, і щодо виділення смуг руху для громадського транспорту), а також на врахуванні національного та закордонного досвіду впровадження та функціонування таких смуг. Для вивчення чинників, які зумовлюють доцільність облаштування таких смуг, у роботі використано аналітичні методи. Аналіз отриманих результатів дозволив сформулювати концептуальні основи щодо обґрунтування доцільності облаштування виділених смуг для руху громадського транспорту в контексті підвищення загальної ефективності сітілогістики сучасного міста.

Результати. У роботі були проаналізовані основні практичні методи для обґрунтування доцільності облаштування виділених смуг для руху вуличного громадського транспорту та запропоновані концептуальні основи формування системи відповідних критеріїв. Вказана система

включає шість основних критеріїв: інтенсивності руху громадського транспорту; завантаженості та умов руху на ділянці; безпеки дорожнього руху; соціально-економічні чинники; забезпечення просторової орієнтації; екологічності. Результати дослідження можуть бути використані для розробки стратегій розвитку систем стійкої міської мобільності.

Висновки. У процесі впровадження концепції сталого розвитку сучасних міст особливої актуальності набуває пріоритетний розвиток сталих видів мобільності, важливе місце серед яких займає громадський транспорт. Облаштування виділених смуг для руху громадського транспорту в умовах загального перевантаження вулично-дорожньої мережі рухом всіх видів вуличного транспорту дасть змогу прискорити пересування маршрутних транспортних засобів та підвищити рівень надійності (прогнозованості) відповідних переміщень мешканців міста. Таким чином, наявність виділених смуг для громадського транспорту не лише відповідає принципам формування систем стійкої міської мобільності, а і підвищує рівень ефективності використання елементів транспортної інфраструктури міста, оскільки провізна здатність ділянок вулично-дорожньої мережі зростає без фізичного збільшення загальної кількості смуг руху.

За підсумками проведеного в роботі аналізу запропоновані концептуальні основи формування системи критеріїв облаштування виділених смуг для руху громадського транспорту, визначені загальні методичні підходи до прийняття відповідних рішень на основі цих критеріїв, а також напрямки подальших досліджень щодо організації та технології пріоритетного руху маршрутного транспортних засобів в містах України.

Ключові слова: виділена смуга, громадський транспорт, міська мобільність, облаштування, сітілогістика, система критеріїв, сталий розвиток, транспортна інфраструктура.

Вступ

В умовах реалізації стратегії сталого розвитку, яка передбачає фокусування усіх зусиль в економічній, екологічній та соціальній сфері в таких напрямках як енерго- та ресурсозбереження, а також мінімізація негативного впливу на довкілля, відбулося формування сучасних логістичних концепцій, однією з яких є сітілогістика. Основою концепції сітілогістики, на відміну від класичної логістичної концепції, в якій головною метою є підвищення ефективності роботи суб'єктів господарювання, є соціальна спрямованість. Як відомо, концепція сітілогістики, яка являє собою науково-практичний напрямок, предметом якого є удосконалення транспортно-логістичних схем та маршрутів перевезень вантажів і пасажирів в умовах великих міст, полягає в підвищенні якості життя населення міста та обумовлюється певним (необхідним) рівнем комфортності міського середовища для проживання в ньому. У свою чергу вказана комфортність (зручність) залежить від рівня трьох основних чинників: безпечності, екологічності, а також мобільності даного середовища [1]. При цьому при ухваленні рішень у сфері управління мобільністю основним пріоритетом є людина, а не транспорт.

У свою чергу, мобільність, як найважливіша складова ефективності сітілогістичної системи, обумовлюється здатністю забезпечення рухомості населення міста з різною метою пересування та передбачає наступне [1]:

- можливість використання індивідуальних транспорту для швидкого та комфортного пересування в географічних межах міста;
- конкуренція в організації мобільних поїздок з використанням індивідуальних транспортних засобів (ТЗ) або громадського транспорту (ГТ);
- можливість пересування через торгівельні, будівельні, комунальні, адміністративні та громадські об'єкти;
- мобільність доставки-відправлення ресурсів, напівфабрикатів, готової продукції промисловим і торгівельним підприємствам, які розташовані в географічних межах міста та залежать від графіків поставок;
- мобільність доставки замовлень кінцевим споживачам;

— мобільність транзиту матеріальних потоків, які проходять вулично-дорожньою мережею (ВДМ) міста;

— транспортна мобільність у непередбачуваних природних умовах.

У контексті впровадження вищезгаданої стратегії сталого розвитку особливої актуальності набули питання щодо адаптації до її цілей систем міської мобільності (СММ). При цьому відмінність поняття мобільності від поняття сталої мобільності полягає в тому, що під останньою розуміють будь-який спосіб або організаційну форму пересування, що є більш економічною та дозволяє знизити рівень впливу (навантаження) на довкілля. Цілком очевидно, що екологічний аспект є домінуючим чинником при визначенні пріоритетів сталої мобільності, однак ця концепція — це передусім система інтегрованого довгострокового планування, що робить особливий акцент на залученні до його розроблення усіх стейкхолдерів, координації між різними сферами (транспорт, землекористування, екологія, економічний розвиток, соціальна політика, охорона здоров'я тощо), між органами влади різного рівня, дає змогу ефективно управляти транспортними системами (ТС) міста, зменшуючи її негативний вплив на довкілля, моніторити заходи щодо покращення СММ та створювати комфортні умови для життя та відпочинку мешканців міських агломерацій.

Як відомо, до сталих видів мобільності відносять пішохідний і велосипедний рух, пересування з використанням екологічного транспорту, транзитно-орієнтоване проєктування, оренду ТЗ, а також системи ГТ, які є економічними, сприяють збереженню простору та пропаганді здорового способу життя [2]. При цьому саме ГТ, враховуючи його високу провізну здатність, розглядається як основна альтернатива використанню індивідуальних ТЗ.

Широкий спектр питань щодо планування та забезпечення міської мобільності висвітлювався в роботах закордонних та українських науковців та практиків.

Залежність між розвитком СММ та ефективністю сітілогістичної діяльності досліджувалася в роботі [1], автори якої розглядають мобільність як індикатор комфортності проживання в місті. Забезпечення ефективності сітілогістичної системи за такими складовими як підсистема мобільності, підсистема безпечності та підсистема екологічності міського середовища з урахуванням системного підходу розглядалося в роботі [3].

Питанням інтеграції новітніх смарт-рішень в складну сітілогістичну систему присвячена робота вітчизняних дослідників, в якій основна увага приділяється проблема інтелектуалізації сфери ГТ та сітілогістики [2]. Окремі питання практичної адаптації СММ з урахуванням підходів сталого розвитку розглядалися в дослідженнях [4 – 6].

Як практичний посібник, що містить пропозиції та пояснення щодо важливих кроків і заходів (рішень) для розроблення та виконання планів сталої міської мобільності, можуть розглядатися Настанови [7], розроблені Генеральним директором з мобільності та транспорту Європейської комісії. Ці Настанови доповнюються Планом дій [8], в якому пропонуються конкретні заходи як на короткострокову, так і на середньострокову перспективу щодо питань міської мобільності на основі комплексного підходу. Також вони доповнюються оглядами різноманітних аспектів планування міської мобільності та показниками щодо моніторингу стану виконання плану сталої мобільності.

У контексті підвищення безпеки СММ для вразливих учасників дорожнього руху (ДР) заслуговують на увагу роботи [9, 10]. До прикладу, у роботі [11] проведено експертне оцінювання інженерних та планувальних рішень щодо підвищення безпеки вищезазначеної категорії учасників ДР і забезпечення інклюзії у системах мобільності міст України.

Аналіз впливу безпрецедентних викликів останніх років (насамперед — кризи, зумовленою пандемією COVID-19, та активних воєнних дій на території України внаслідок повномасштабного вторгнення росії) на забезпечення мобільності міського середовища в Україні проведений в роботах [12, 13]. Позитивний досвід впровадження сталих практик щодо розвитку СММ через реалізацію відповідних проєктів в українських містах розглянутий в роботі [14].

Враховуючи загострення екологічної ситуації в містах та проблеми енерго- і ресурсозбереження, які є актуальними для України в умовах її поточної та прогнозованої соціально-

політичної, економічної та безпекової ситуації, забезпечення мобільності міського середовища на сучасному етапі вимагає розвитку передусім сталих видів мобільності.

Основна частина

Загалом СММ формують такі складові як пересування індивідуальних ТЗ та ГТ, велосипедні поїздки, пішохідний рух, а також переміщення інших видів вуличного та позавуличного транспорту, пов'язані із логістичним обслуговуванням міста. Ієрархією складових такої системи в рамках сучасних концепцій сталого міського розвитку передбачається перший пріоритет для пішохідного руху, далі — для ГТ та велосипедного руху, міської логістики і лише потім (останніми в ієрархії) — потреби індивідуальних ТЗ (рис. 1).

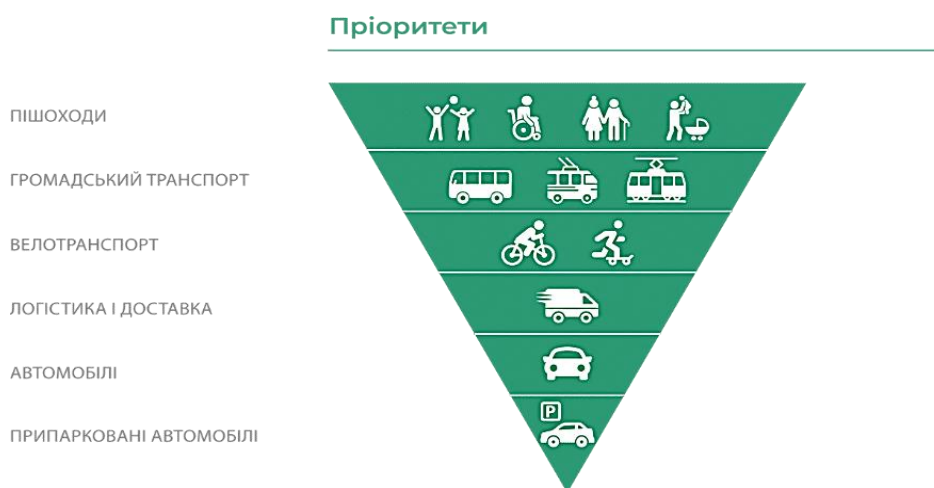


Рисунок 1 — Ієрархія складових в системах стійкої міської мобільності [15]

Останнім часом особливої актуальності цілям розвитку СММ додає проблема забруднення довкілля. В сучасних містах більша частина викидів шкідливих речовин в атмосферу викликана інтенсивним використанням індивідуального (особистого) автотранспорту, кількість якого невпинно зростає. Так, наприклад, за даними [16], вказані викиди в містах України складають 92 % від загальних обсягів забруднення всіма видами транспорту.

Окрім загострення екологічних проблем, надмірна кількість та інтенсивність використання індивідуальних ТЗ призводить до ускладнення пересування містом та виникнення заторових явищ, що негативно позначається на комфортності проживання для всіх його мешканців. Нідерландська аналітична компанія TomTom, яка є відомим у світі розробником технологій локації та відповідного програмного забезпечення, складає рейтинг міст світу за найбільшими заторами. Цей рейтинг формується на основі значення показника рівня завантаженості ВДМ міста, який визначається з залежності від того, наскільки більше часу (у відсотковому вираженні) витрачають водії ТЗ на поїздку в реальних умовах у порівнянні з витратами часу за звичайних (неускладнених) умов руху. Обчислення проводяться за даними GPS-сервісів, які накопичуються анонімно. Зауважимо, що для міст України такі дослідження проводились лише до 2022 року, оскільки у зв'язку з повномасштабною військовою агресією в них погіршилась загальна безпекова ситуація та суттєво змінились характер ДР та його показники.

За оприлюдненими результатами відповідного моніторингу компанії TomTom, в період з 2017 по 2021 рік у місті Києві спостерігалась стійка негативна динаміка зростання показника рівня завантаженості ВДМ (рис. 2).

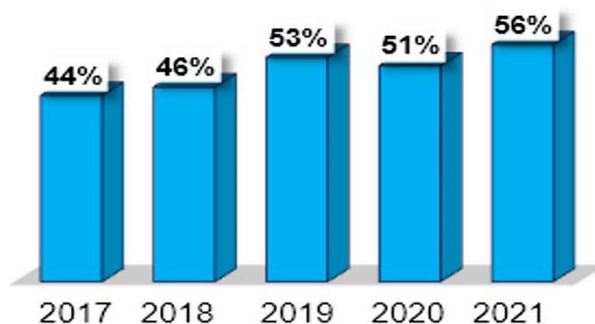


Рисунок 2 — Рівень завантаженості ВДМ міста Києва за даними компанії TomTom [17]

Якщо у 2017 році українська столиця посідала 14-те місце в рейтингу міст світу за найбільшими заторами, то у 2020 році, незважаючи на діючі карантинні обмеження у зв'язку з пандемією COVID-19, вона була вже на 7-му місці, а у 2021 році піднялась аж до 3-го місця. Загалом протягом 2021 року київський водій в середньому перебував у вуличних заторах близько 229 годин, тобто приблизно 9,5 діб. Також зауважимо, що у 2021 році до верхньої частини вказаного рейтингу ввійшли й інші найкрупніші міста України (6-те місце — Одеса, 12-те — Харків, 25-те — Дніпро [17]).

За даними інформаційно-аналітичної групи AUTO-Consulting, на початок 2021 року рівень автомобілізації в місті Києві складав 407 автомобілів на 1000 мешканців [18]. З іншого боку, у 2015 році, коли ця компанія спільно з КМДА за підтримки Світового банку вперше провела масштабне дослідження рухомості киян, цей показник становив лише 213 автомобілів на 1 000 мешканців [19], тобто за п'ять років рівень автомобілізації майже подвоївся.

Важливими з точки зору оцінки загального завантаження ВДМ міста також є якісні показники користування індивідуальними легковими автомобілями та їх заповнення. Як було визначено за даними дослідження [19]:

- кожен з власників індивідуального легкового ТЗ, який мав до нього вільний доступ, з імовірністю 88 % вибирав його для реалізації транспортної кореспонденції; при цьому більшість опитаних мешканців міста, які не мають особистого транспорту ТЗ, все ж розглядають його як більш комфортний та надійний засіб пересування у порівнянні з міським ГТ;

- середня величина коефіцієнта заповнення легкового автомобіля складала 1,5, тобто в ньому пересуваються 1-2 особи; таке значення свідчить про неефективне використання провізної здатності та є одним з найнижчих для Європи (наприклад, в Угорщині цей показник становить 1,9, а в Словаччині — 2,0).

Великі міста США та Європи вже мали подібні проблеми. У 80–90-ті роки ХХ століття автомобілізація американських міст швидко зростала і, як наслідок, кількість ТЗ, які проводили значну кількість часу у заторах, збільшилась у 3–5 разів [14]. Тому на фоні негативних наслідків використання індивідуального транспорту (фізичних, фінансових, соціальних та екологічних) стратегія муніципальної влади щодо управління ТС міст була переорієнтована на пріоритетність ГТ за рахунок забезпечення комфортності, швидкості та безпечності відповідних переміщень. Для цього, наприклад, в містах США розвиток інфраструктури вуличного ГТ заохочувався державними цільовими програмами з боротьби з заторами та покращенням атмосферного повітря; у Лондоні (Великобританія), Гетеборзі та Стокгольмі (Швеція) була встановлена плата за в'їзд приватних ТЗ до центру міста, а деякі з вулиць були виділені виключно для руху ГТ. Такі удосконалення, а також поширення використання пішохідних та велосипедних переміщень (за рахунок розвитку відповідної інфраструктури), мали доведену ефективність в організації міського простору та функціонуванні ТС вказаних та інших міст.

Варто вказати також на постійне загострення «конфлікту» між індивідуальними ТЗ особистого використання та вуличним ГТ. Індивідуальні ТЗ, маючи більшу комфортабельність, швидкість сполучення та можливість доставки пасажирів «від дверей до дверей», одночасно характеризуються малою провізною здатністю та займають значну частину площі транспортної інфраструктури. З іншого боку, значно більша провізна здатність різних видів вуличного ГТ обумовлена їх конструктивними особливостями (зокрема, габаритними розмірами), що також формує потребу в значній площі вуличного простору для їх ефективного та безпечного пересування.

В останні роки перед початком повномасштабної військової агресії росії в Україні влада багатьох українських міст та їх мешканці почали все більше усвідомлювати негативні наслідки неконтрольованого використання індивідуальних ТЗ, а тому почали ініціювати зміщення фокусу планування елементів транспортної інфраструктури міста (**рис. 3**) на створення (удосконалення) умов для функціонування сталих видів мобільності — пішохідних переміщень, велосипедного руху та використання ГТ.



Рисунок 3 — Основні елементи транспортної інфраструктури міста

Як свідчать результати аналізу практичного досвіду забезпечення якості ТС найзначніших міських агломерацій світу, описаних в роботі [20], у всіх мегаполісах першочергову увагу приділяють розвитку елементів транспортної інфраструктури, зокрема — облаштуванню виділених смуг для руху вуличного ГТ.

Головна мета створення таких смуг — формування умов для прискорення руху ТЗ ГТ, а також забезпечення передбачуваності їх пересування на маршруті незалежно від часу доби та умов руху основного потоку. Створення виділених смуг не лише відповідає принципам формування систем СММ, а і підвищує рівень ефективності роботи ГТ та використання елементів транспортної інфраструктури міста, оскільки провізна здатність ділянок ВДМ зростає без фізичного збільшення загальної кількості смуг руху. Загальні показники щодо організації виділених смуг для руху вуличного ГТ в містах світу та наслідків їх функціонування наведені в **табл. 1**.

Таблиця 1

Організація виділених смуг руху для вуличного ГТ у містах світу [21]

Місто/країна	Чисельність населення, млн. мешканців	Рівень автомобілізації, авт./1000 мешканців	Загальна протяжність смуг для ГТ, км	Загальна кількість ТЗ ГТ в місті, од.	Інтервал руху ГТ та його дотримання	Типи смуг, які використовуються	Штраф за проїзд по смугі, \$	Відеофіксація порушень правил проїзду по смугі
								
Дюріх, Швейцарія	0,40	519	163	223	7 хв., затримок немає	Постійного пріоритету, пріоритет у години «пік»	60-120	Наявна
Нью-Йорк, США	8,70	539	167	8588	15 хв., запізнення не більше 5 хв.	Постійного пріоритету, пріоритет у години «пік»	115-150	Наявна
Сеул, Південна Корея	10,40	338	282	8910	11 хв., запізнення не більше 5 хв.	Постійного пріоритету, зворотні, з фізичним огороженням	35	Наявна
Берлін, Німеччина	3,69	377	1626	1300	10 хв., запізнення не більше 10 хв.	Повні та часткові, постійного та тимчасового пріоритету, з розміткою та з фізичним огороженням	15-85	Наявна
Таллінн, Естонія	0,44	320	30	445	10 хв., запізнення не більше 10 хв.	Постійного та тимчасового пріоритету	40	Наявна
Київ, Україна	2,95	407	120	1261	10-20 хв., запізнення не більше 15 хв.	Постійного та тимчасового пріоритету	19	Наявна

Серед українських міст, які мають найбільший досвід впровадження таких смуг — Київ та Львів. Станом на початок 2022 року загальна довжина виділених смуг для ГТ у місті Києві складала 120,0 км (всього 30 смуг), у місті Львові — 44,5 км. У 2024 році в Києві було додатково облаштовано ще 5 таких смуг (на вулицях Академіка Заболотного, Івана Виговського, Євгена Сверстюка, Академіка Єфремова та Михайла Максимовича). Організація ще двох таких смуг (на проспектах Червоної Калини та Василя Порика) була передбачена планом розвитку столичної транспортної інфраструктури на 2025 рік [22]. Відомості про дислокацію існуючих та перспективних виділених смуг для руху вуличного ГТ на ВДМ міста Києва представлена на **рис. 4**.

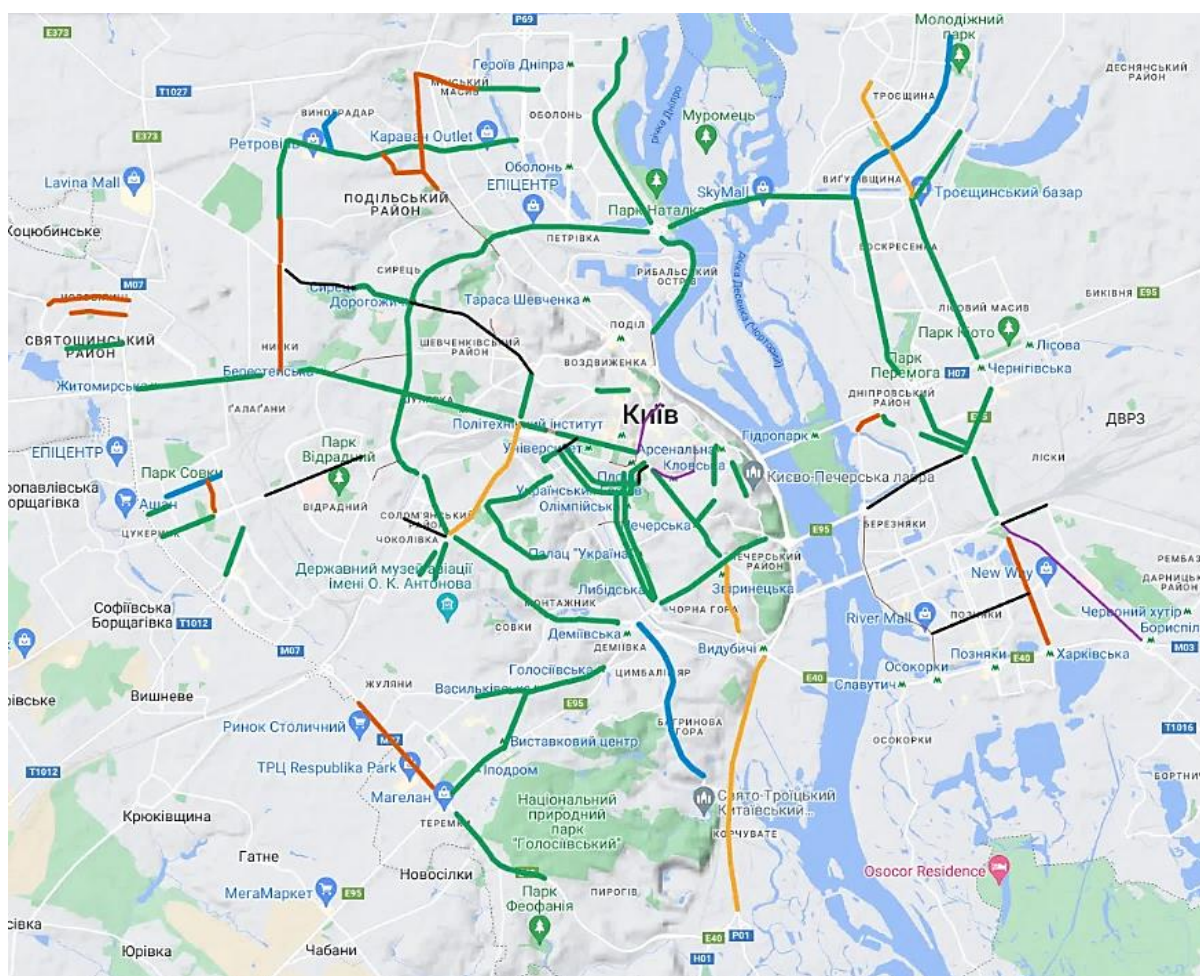


Рисунок 4 — Існуючі та перспективні виділені смуги для руху ГТ в м. Києві [22]

Сучасні ідеї якісного розвитку транспортної інфраструктури міста, які виходять з європейського досвіду практик впровадження СММ, активно просувають активісти ГО «Пасажири Києва». Результати дослідження питання щодо доцільності облаштування виділених смуг для руху ТЗ ГТ, проведеного ними з урахуванням думки потенційних користувачів, систематизовані у вигляді відповідних ефектів (переваг) та наведені на **рис. 5**.

Базовим нормативним документом, який встановлює вимоги на проектування та будівництво вулиць і доріг населених пунктів в Україні, є ДБН В.2.3-5:2018 [23]. У відповідності з п. 5.1.6 цих ДБН, спеціальні смуги для руху маршрутного транспорту необхідно виділяти на проїзній частині магістральних доріг та вулиць залежно від складу, інтенсивності та швидкості руху транспорту, а також вимог безпеки руху, при кількості смуг руху не менше ніж 3 в одному напрямку; під час капітального ремонту ділянок вулиць з існуючою забудовою за наявності двох смуг руху в одному напрямку допускається влаштовувати смугу руху для маршрутних ТЗ у попутному або зустрічному напрямках [23]. Як бачимо, чітких рекомендацій як щодо чинників (критеріїв), що мають враховуватись при вирішенні питання щодо доцільності організації виділених смуг для ГТ, так і щодо конкретних кількісних показників зазначених характеристик руху транспорту даний документ не містить.

У поперечному профілі виділені смуги для ГТ можуть влаштовуватись як з боків проїзної частини (біля тротуару), так і по центру вулиці. Перший варіант дозволяє організовувати зупинки ТЗ ГТ безпосередньо на тротуарі, що є зручним для пасажирів, проте таке розташування

може викликати додаткові затримки ГТ через зупинки на цій смузі інших ТЗ для висадки пасажирів чи розвантаження вантажів. Організація виділеної смуги по центру вулиці дає змогу ГТ значно краще уникати перешкод, проте вимагає побудови острівних платформ для зупинок; такий варіант часто використовують при влаштуванні системи т. з. швидкісного автобуса (bus rapid transit) [24].

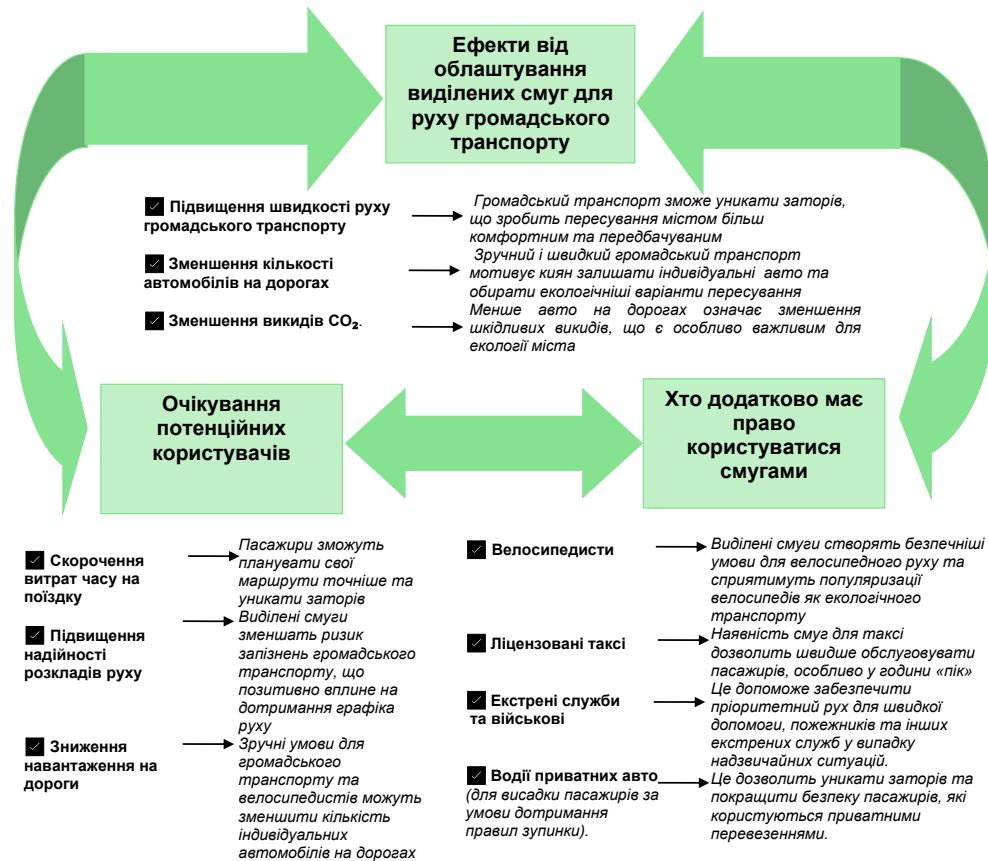


Рисунок 5 — Ефекти (переваги) облаштування виділених смуг для руху ГТ [22]

Як також визначено в п. 5.1.6 [23], смуги руху для ГТ виділяються розміткою або, за необхідності, конструктивно. Своєю чергою, відповідно до п. 17.1 [25], такі смуги позначають дорожніми знаками 5.8 або 5.11 [26], а також горизонтальною дорожньою розміткою 1.27 чи 1.28.1 [27] (рис. 6 а). Рух на даних смугах також може регулюватися окремим світлофором, що забезпечує ТЗ ГТ пріоритет проїзду потенційно конфліктних ділянок (наприклад, перехресть). Фізичне відокремлення смуг для ГТ від інших смуг можливе за допомогою делінеаторів, стовпців, бордюрів, зон озеленення чи у інший спосіб (рис. 6 б і рис. 6 в).

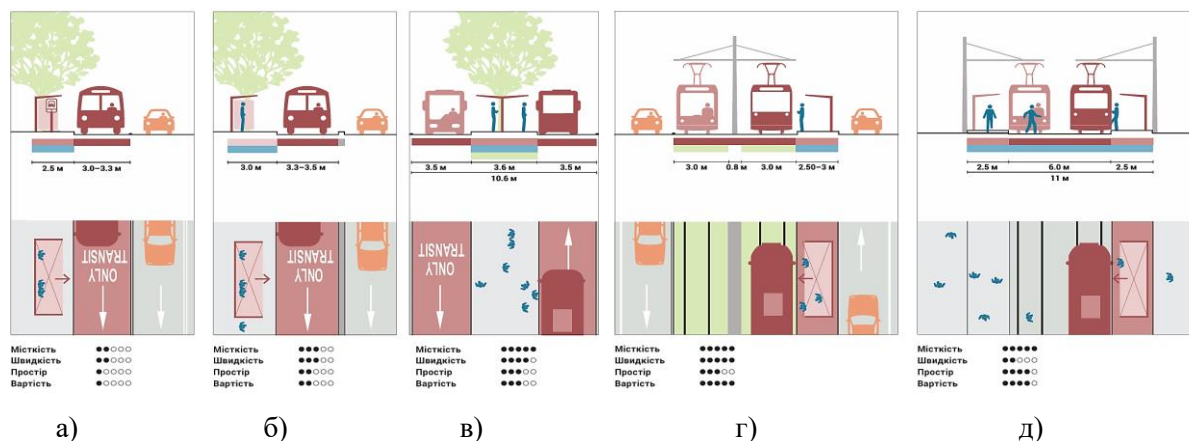
Питання проєктування інфраструктури ГТ у сучасних містах з урахуванням настанов фахівців Global Designing Cities Initiative (GDCI) та National Association of City Transportation Officials (NACTO) розглянуті в Посібнику [28]. Базова стратегія — ГТ, доповнюючи пішохідний і велосипедний рух, забезпечує мобільність мешканців міста на довші відстані без масового використання чи володіння індивідуальними ТЗ. Тому, хоча справедливе забезпечення користування ГТ є непростю задачею, воно є ключовим для розвитку сталого міста. Ексклюзивна (виділена, відокремлена) інфраструктура на рівні вулиці підвищує загальну ефективність і пропускну здатність систем ГТ, зменшуючи затримки, спричинені змішаним рухом загального потоку ТЗ.



- а) дорожня розмітка;
б) бордюри;
в) делінеатори.

Рисунок 6 — Варіанти відокремлення виділених смуг для руху ГТ

Рішення щодо запровадження типу інфраструктури ГТ має формуватися середовищем інфраструктури та очікуваним пасажиропотоком ГТ. Виділені смуги ГТ оптимальні для основних коридорів (ділянок ВДМ) із середньою та значною кількістю пасажирів і гнучкими маршрутами; відокремлені смуги ГТ — для безперервних коридорів зі значною кількістю пасажирів; спільні вулиці ГТ — для міських просторів з великим обсягом пішохідного руху [28]. Таким чином, в якості можливих критеріїв вибору типу інфраструктури ГТ вказані два чинники (середовище та пасажиропотік), проте можливості їх практичного застосування для обґрунтування такого вибору є незрозумілими. Зауважимо, що для відносної оцінки складності впровадження та ефективності наслідків функціонування вказаних типів інфраструктури автори Посібника застосовують показники простору (ступеня використання по ширині вулиці) та вартості облаштування, місткості (провізної здатності) та швидкості (рис. 7).



- а) бічні виділені смуги;
б) бічні відокремлені смуги;
в) центральні відокремлені смуги з центральною посадкою пасажирів;
г) такі ж, з бічною посадкою пасажирів;
д) спільні вулиці.

Рисунок 7 — Типи ексклюзивної інфраструктури ГТ у містах [28]

Таким чином, з огляду на такі результати вивчення питання щодо обґрунтування організації виділених смуг для руху ГТ, завдання формування системи критеріїв доцільності облаштування такого елементу транспортної інфраструктури міста наразі є актуальним. На нашу думку, концептуально система таких критеріїв має враховувати шість основних чинників (показників) на досліджуваній ділянці ВДМ (рис. 8).

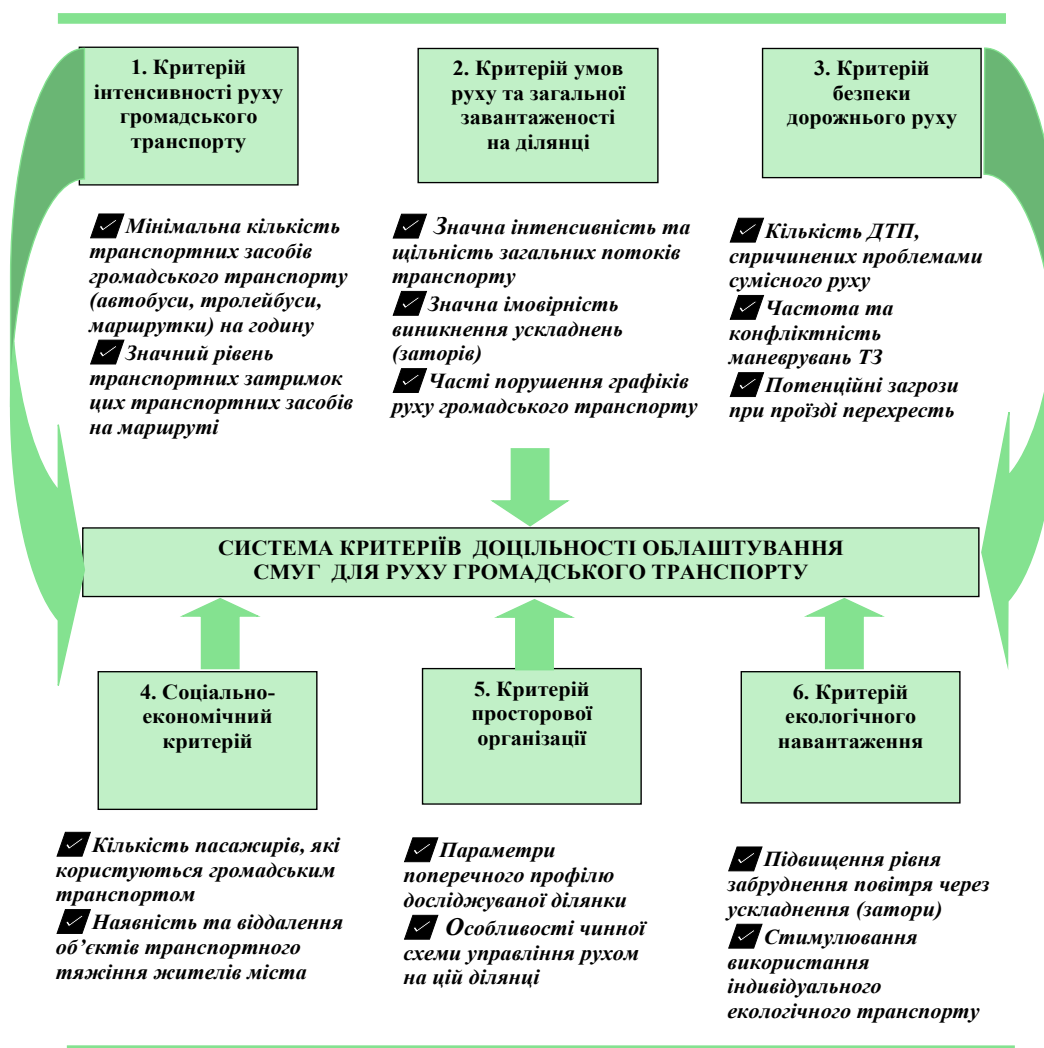


Рисунок 8 — Критерії доцільності облаштування виділених смуг для руху вуличного ГТ

Перший критерій — інтенсивність руху ГТ на ділянці, яка визначається кількістю відповідних типів ТЗ (автобусів, тролейбусів та маршрутних таксі), які проходять по ділянці за одиницю часу, та значним рівнем транспортних затримок при проходженні ними маршруту перевезень пасажирів. На нашу думку, розрахункова кількість маршрутних ТЗ на ділянці з виділеною смугою ГТ має бути не менше 20 одиниць за годину.

Другий критерій — показники фактичних умов руху, що пов'язані з загальним завантаженням досліджуваної ділянки ВДМ. Серед комплексу таких показників впливу, зокрема, можна вказати наступні:

- значна інтенсивність та щільність загальних потоків транспорту протягом доби, які ускладнюють та сповільнюють рух ГТ (наприклад, коефіцієнт завантаження рухом, який визначається як відношення інтенсивності руху до пропускної здатності, не менш ніж 0,5–0,7);
- значна імовірність виникнення ускладнень (заторів), насамперед — в години «пік»;
- часті порушення графіків руху ГТ через вказані ускладнення.

Критерій безпеки ДР визначається множиною чинників, визначальними серед яких є кількість дорожньо-транспортних пригод (ДТП), спричинених проблемами сумісного руху загального потоку транспорту та пересування ТЗ ГТ, частота та імовірна конфліктність маневрувань ТЗ між смугами на досліджуваній ділянці ВДМ, а також потенційні загрози для ТЗ ГТ при проїзді перехресть (наприклад, при необхідності виконання ними поворотів, що передбачені маршрутом).

Четвертий критерій передбачає аналіз соціально-економічних чинників, серед яких, зокрема, фактична кількість пасажирів, які користуються ГТ на досліджуваній ділянці, наявність та віддалення вокзалів, аеропортів, бізнес-центрів або інших об'єктів транспортного тяжіння жителів міста, тощо.

Для обґрунтованої оцінки впливу на рішення щодо облаштування виділених смуг для руху ГТ п'ятого чинника — просторової організації, в першу чергу, слід зважати на параметри поперечного профілю досліджуваної ділянки ВДМ (насамперед — загальну ширину проїзної частини, кількість смуг для руху в одному напрямку, а також ширину виділеної смуги), а також особливості чинної схеми управління ДР на цій ділянці (наприклад, можливість зміни розподілу смуг за напрямками проїзду ТЗ загального потоку в зоні каналізованих перехресть без критичних наслідків зручності та безпеки всіх категорій учасників ДР).

Як вже вказувалось, спеціальні смуги для руху маршрутних ТЗ ГТ в містах України можуть виділятися при наявності на ділянці магістральної ВДМ не менше ніж 3-х смуг в одному напрямку; влаштовувати такі смуги при наявності лише 2-х смуг допускається тимчасово (під час капітального ремонту) [23] (рис. 9). У свою чергу, рекомендована в Посібнику [28] ширина виділеної смуги для ГТ має складати не менш ніж 3,0–3,3 м (рис. 7 а), що узгоджуються з вітчизняними нормативними вимогами щодо мінімальної ширини смуги на міських магістральних вулицях (3,0 м [23]).

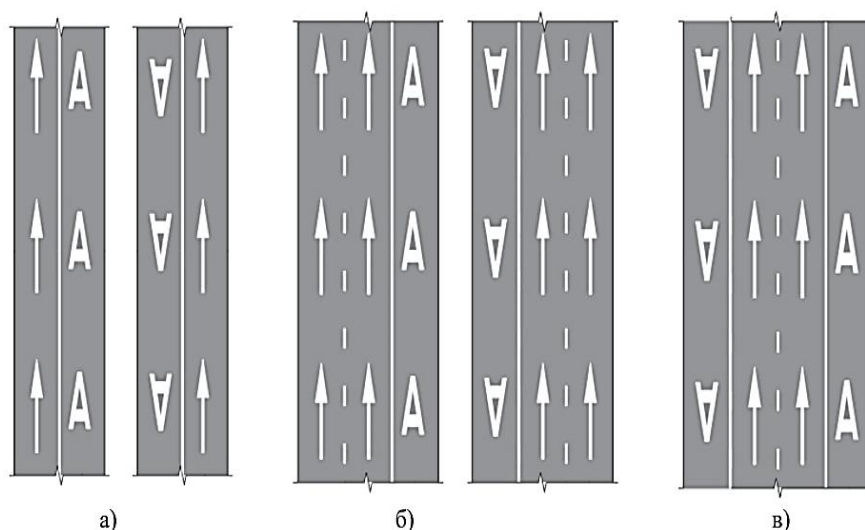


Рисунок 9 — Варіанти розташування виділених смуг для руху маршрутного ГТ [23]

Шостий критерій враховує чинник екологічного навантаження на досліджуваній ділянці ВДМ та оцінюється, зокрема, додатковим підвищенням рівня забруднення повітря загальним потоком транспорту при виникненні ускладнень (заторів), а також імовірним зниженням вказаного рівня за рахунок створення стимулів для використання індивідуального екологічного транспорту (наприклад, велосипедів та електромопедів (скутерів)). Зауважимо, що припущення про

стимулюючий вплив наявної смуги для руху ГТ на використання жителями міста вказаних типів індивідуальних ТЗ ґрунтується на положеннях п. 17.1 [25], які не забороняють їх рух по такій смузі.

Використання системи критеріїв доцільності облаштування виділеної смуги для руху ГТ, що пропонується, передбачає, що на основі відповідних показників (обставин, умов, характеристик) за кожним з критеріїв приймається остаточне рішення — позитивне чи негативне. Якщо всі рішення є позитивними, виділення вказаної смуги вважається доцільним; якщо хоча б за одним критерієм ухвалюється негативне рішення, то виділення вказаної смуги вважається недоцільним.

Така система критеріїв може бути формалізована за допомогою логічних операторів. Позначимо кожен з критеріїв як булеву змінну ($C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$), тобто змінну, яка може набувати лише двох можливих значень — «істина» (1) або «хиба» (0): $C \in \{0, 1\}$. У такій системі $C_i = 1$ означає, що i -й критерій пройдено і він дає підстави для ухвалення позитивного рішення; якщо ж $C_i = 0$, то цей критерій не пройдено і рішення має бути негативним.

Оскільки загальний позитивний висновок (дія, рішення) буде мати місце лише тоді, коли всі критерії (змінні) набудуть значення «істина» (1), загальну умову надання висновку (виконання дії, прийняття рішення) зручно розглядати як добуток всіх критеріїв (змінних):

$$D = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot C_6. \quad (1)$$

Очевидно, що якщо хоча б один із множників (змінних) набуває значення «хиба» (0), то загальний підсумок теж буде «хибним», тобто дія не виконується (рішення є негативним). Як бачимо, використання такої аналітичної залежності чітко моделює вказану вище методику ухвалення рішення щодо доцільності (недоцільності) облаштування виділеної смуги для руху ГТ.

Таким чином, якщо на підставі аналізу сукупності чинників, що пропонуються, для досліджуваної ділянки магістральної ВДМ міста одночасно приймаються позитивні рішення за кожним з вищенаведених критеріїв, це означає, що облаштування виділеної смуги для руху ГТ на цій ділянці дасть змогу підвищити рівень ефективності, швидкості та комфортності переміщення маршрутних ТЗ (та, можливо, індивідуального екологічного транспорту).

Разом з тим, з урахуванням специфічних особливостей транспортної інфраструктури та умов руху (як загального потоку ТЗ, так і ГТ) в деяких містах, при належному обґрунтуванні запропоновані критерії доцільності облаштування смуги для руху ГТ можуть бути розподілені на основні та допоміжні. До прикладу, до групи основних можуть входити критерії інтенсивності руху ГТ, умов руху та загальної завантаженості ділянки, безпеки ДР та просторової організації; відповідно, до групи допоміжних — соціально-економічний та критерій екологічного навантаження. У такому випадку рішення щодо облаштування виділеної смуги для руху ГТ приймається на основі виразу (1), але виходячи лише з тих змінних C_i , які характеризують основні критерії. При цьому допоміжні критерії слугують лише джерелом додаткової інформації щодо особливостей поточного стану та функціонування досліджуваної ділянки ВДМ.

В якості напрямків подальшого дослідження питань організації та технології пріоритетного руху вуличного ГТ в містах України можна вказати на наступні:

- обґрунтування кількісних значень окремих показників (чинників, умов), які визначають критерії облаштування виділених смуг для руху ГТ;

- аналіз практичних наслідків функціонування виділених смуг для руху ГТ у містах України, а також вплив на умови його руху таких показників як чисельність населення міста, рівень автомобілізації, кількість ТЗ ГТ, спосіб надання пріоритету ГТ та технологія управління ДР на ділянці надання такого пріоритету, тощо;

- дослідження можливостей для використання в системах забезпечення пріоритетного проїзду ТЗ ГТ технологій та засобів інтелектуальних ТС.

Підсумовуючи всі наведені в роботі міркування та висновки, можна стверджувати, що проблеми мобільності сучасного міського середовища можуть бути досить специфічними у різних містах, проте більшість з них викликана неконтрольованим зростанням кількості індивідуальних ТЗ. Тому, враховуючи поточну та перспективну соціально-політичну, економічну і безпекову ситуацію в Україні, основною рекомендацією для забезпечення розвитку СММ за даних обставин є

фокусування на формуванні раціональної політики щодо тих видів мобільності, які є екологічними, а також соціально та економічно стійкими. У контексті необхідності забезпечення дієвої протидії масовому застосуванню індивідуальних ТЗ особливої уваги заслуговують рішення, спрямовані на підвищення надійності та зручності роботи маршрутного вуличного ГТ, зокрема, в частині створення для нього особливих (пріоритетних) умов руху. Одним з практичних заходів для вирішення такої задачі, який не потребує значних капіталовкладень, є облаштування виділених смуг руху для ТЗ ГТ. Наявність таких смуг не лише відповідає принципам формування СММ, а і підвищує рівень ефективності використання елементів транспортної інфраструктури міста, оскільки провізна здатність ділянок ВДМ зростає без фізичного збільшення загальної кількості смуг руху.

За підсумками роботи запропоновані концептуальні основи формування системи критеріїв облаштування виділених смуг для руху ГТ, визначені загальна методика ухвалення рішення щодо доцільності (недоцільності) облаштування виділеної смуги для руху ГТ на основі цих критеріїв, а також напрямки подальших досліджень питань організації та технології пріоритетного руху вуличного ГТ в містах України.

Висновки

У процесі впровадження концепції сталого розвитку сучасних міст з урахуванням стрімкого зростання кількості індивідуального транспорту, яке негативно впливає на забезпечення необхідного рівня міської мобільності, особливої актуальності набуває розвиток СММ. Проблеми забезпечення мобільності та створення необхідної транспортної інфраструктури можуть бути досить специфічними у різних містах, проте, враховуючи поточну та перспективну соціально-політичну, економічну і безпекову ситуацію в Україні, основною рекомендацією для забезпечення розвитку СММ за даних обставин є фокусування на формуванні раціональної політики щодо тих видів мобільності, які є екологічними, а також соціально та економічно стійкими.

У контексті необхідності забезпечення дієвої протидії масовому застосуванню індивідуальних ТЗ особливої уваги заслуговують рішення, спрямовані на підвищення надійності та зручності роботи маршрутного вуличного ГТ, зокрема, в частині створення для нього особливих (пріоритетних) умов руху. Одним з практичних заходів для вирішення такої задачі, який не потребує значних капіталовкладень, є облаштування виділених смуг руху для ТЗ вуличного ГТ. Такі смуги є найпростішим елементом технічним засобом ексклюзивної інфраструктури на рівні вулиці, яка підвищує загальну ефективність і пропускну здатність систем ГТ, зменшуючи затримки, спричинені змішаним рухом загального потоку ТЗ. З іншого боку, наявність таких смуг не лише відповідає принципам формування СММ, а і підвищує рівень ефективності використання елементів транспортної інфраструктури міста, оскільки провізна здатність ділянок ВДМ зростає без фізичного збільшення загальної кількості смуг руху.

У роботі були проаналізовані основні практичні рекомендації для обґрунтування доцільності облаштування виділених смуг для руху ГТ, запропоновані концептуальні основи формування системи відповідних критеріїв та визначена загальна методика ухвалення рішення щодо доцільності (недоцільності) облаштування виділеної смуги для руху ГТ на основі цих критеріїв. Вказана система включає шість основних критеріїв: інтенсивності руху ГТ; завантаженості та умов руху на ділянці ВДМ; безпеки ДР; соціально-економічні чинники; забезпечення просторової орієнтації; екологічність.

За підсумками роботи також були визначені напрямки подальших досліджень щодо організації та технології пріоритетного руху вуличного ГТ в містах України.

Список літератури

1. Губенко В. К., Ніколаєнко І. В. City Logistics: імплементація парадигми креативних логістичних ланцюгів: монографія. Маріуполь, 2015. 493 с. ISBN 978-966-604-151-0.
2. Лобашов О. О. Ольхова М. В., Галкін А. С. та ін. Розумний транспорт і логістика для міст: навч. посіб. Житомир, 2021. 612 с. URL: https://www.researchgate.net/profile/Andrii-Galkin/publication/360862334_Smart_transport_and_logistics_for_cities/links/62964ce3c660ab61f8553c33/Smart-transport-and-logistics-for-cities.pdf (дата звернення: 02.02.2025).

3. Білоног О. Є., Галак І. І., Добровольська А. М., Янішевський С. В. Системні аспекти забезпечення ефективності сітілогістики. *Менеджмент та підприємництво: тренди розвитку*. 2025. Вип. 2 (32). С. 221–235. DOI: <https://doi.org/10.26661/2522-1566/2025-2/32-18> (дата звернення: 02.02.2026).
4. Стала мобільність у Львові. Львівська міська рада. URL: <https://www.slideshare.net/slideshow/ss-54899355/54899355> (дата звернення: 02.02.2026).
5. План сталої міської мобільності. Житомирська міська рада. URL: <https://zt-rada.gov.ua/?pages=8685> (дата звернення: 02.02.2026).
6. Маргіта Н. О., Вороніна Р. М., Карий О. І. Особливості планування сталої міської мобільності. Національний університет «Львівська політехніка». URL: <https://ena.lpnu.ua/> (дата звернення: 02.02.2026).
7. Wefering F., Rupprecht S., Bührmann S., Böhler-Baedeker S. Настанови. Розробка та виконання Плану сталої міської мобільності: Європейська Комісія. Генеральний Директорат з Мобільності та Транспорту. 2014. 152 с.
8. Action Plan on Urban Mobility – State of Play. European commission directorate-general for mobility and transport. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0490:FIN:EN:PDF> (дата звернення: 02.02.2026).
9. Янішевський С. В., Білоног О. Є. Підвищення безпеки сталої міської мобільності для людей літнього віку та осіб з обмеженими можливостями здоров'я. *Транспортні технології та безпека дорожнього руху : тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції (16–17 червня 2022 р., НУ «Запорізька політехніка»)*. Запоріжжя, 2022. С. 64–68. URL: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/9069/1/K_Turpak.pdf (дата звернення: 02.02.2026).
10. Янішевський С. В., Білоног О. Є., Корчевська А. А. Обмеження швидкості транспортних засобів в містах для підвищення безпеки вразливих учасників дорожнього руху. *Вісник НТУ*. 2023. Вип. 1(55). С. 335–347. DOI: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-335-347> (дата звернення: 02.02.2026).
11. Polishchuk V., Yanishevskyi S., Bilonoh O., Nahrebelna L., Trushevsky V., Korchevska A., Semenchenko O., Vyhovska I. (2023). Expert assessment of engineering and planning solutions to improve the safety of vulnerable road users in Ukraine. *Expert assessments in decision making: risks and safety: collective monograph*. Tallinn. P. 154–206. DOI: <https://doi.org/10.21303/978-9916-9850-2-1> (дата звернення: 02.02.2026).
12. Білоног О. Є., Янішевський С. В., Климчук Ю. О., Черненко І. О. Міська мобільність в Україні: аналіз основних викликів. *Вісник НТУ*. 2024. Вип. 1(58). С. 11–22. DOI: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2024-1-58-011-022> (дата звернення: 02.02.2026).
13. Bilonoh Oksana, Bukovska Bohdana, Yanishevskyi Serhii. Modern trends in urban mobility. *Управління бізнес-процесами та технологічними інноваціями в сучасних умовах та в післявоєнний період : тези доповідей Міжнародної наукової конференції (10–11 жовтня 2023 року, НТУ)*. Київ, 2023. С. 446–448. DOI: <https://doi.org/10.33744/978-966-632-320-3-2023>. (дата звернення: 02.02.2026).
14. Білоног О. Є., Янішевський С. В., Галак І. І., Климчук Ю. О. Управління міською мобільністю: кращі практики впровадження проєктів розвитку систем сталої мобільності в містах України. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2025. Вип. 117.1. С. 276–292. DOI: <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2025-117.1-276-292>. (дата звернення: 02.02.2026).
15. Трансформація сталої мобільності. План сталої міської мобільності Львова. URL: <https://transformative-mobility.org>. (дата звернення: 02.02.2026).
16. Міська мобільність в Києві: аналітична довідка та рекомендації. Центр екологічних ініціатив «Екодія». URL: <https://ecoaction.org.ua/miska-mobilnist-kyiv.html>. (дата звернення: 02.02.2026).
17. TomTom Traffic Index. URL: <https://www.tomtom.com/traffic-index>. (дата звернення: 02.02.2026).
18. У Києві рівень автомобілізації перевищив 400 авто на 1000 жителів. Інформаційно-аналітична група AUTO-Consulting. URL: <https://www.autoconsulting.com.ua/article.php?sid=48496> (дата звернення: 02.02.2026).
19. Артем Полюх. Хто, куди й коли: несподівані результати першого великого дослідження рухомості киян (2017). Вокс Україна. URL: <https://voxukraine.org/hto-kudi-j-koli-ua>. (дата звернення: 02.02.2026).

20. Elements of success: Urban transportation systems of 24 global cities . Mc Kinsey Center for Future Mobility, Juny 2018, 68 p. URL: https://www.mckinsey.com/~urban-transportation-systems_versions (дата звернення: 02.02.2026).
21. Вільні смуги громадського транспорту: де і як це уже можливо? Центр екологічних ініціатив «Екодія». URL: <https://ecoaction.org.ua/vilni-smuhy.html> (дата звернення: 02.02.2026).
22. Де в Києві планують облаштувати виділені смуги для громадського транспорту. Громадська організація «Пасажири Києва». URL: <https://kyivpassengers.substack.com/p/kyiv-bus-lanes>. (дата звернення: 02.02.2026).
23. ДБН В.2.3–5:2018 (зі змінами). Вулиці та дороги населених пунктів. Київ, 2022. 61 с. (Інформація та документація). URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-199> (дата звернення: 02.02.2026).
24. What is BRT? The Institute for Transportation and Development Policy. URL: <https://www.itdp.org/library/standards-and-guides/the-bus-rapid-transit-standard> (дата звернення: 02.02.2026).
25. Правила дорожнього руху: Затверджені Постановою КМ України від 10 жовтня 2001 р. № 1306, зі змінами і доповненнями. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/KP011306> (дата звернення: 02.02.2026).
26. ДСТУ 4100:2021 Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування. Київ, 2022. 144 с. (Інформація та документація). URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_4100_2021.pdf (дата звернення: 02.02.2026).
27. ДСТУ 2587:2021 Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні умови. Київ, 2022. 142 с. (Інформація та документація). URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_2587_2021/5-1-0-1882 (дата звернення: 02.02.2026).
28. Глобальний посібник з проектування вулиць (українське видання): Library of Congress Control Number: 2016941255, ISBN: 978-1-61091-494-9. Copyright 2016. Global Designing Cities Initiative. 396 с. URL: <https://globaldesigningcities.org/publication/global-street-design-guide> (дата звернення: 02.02.2026).

References

1. Hubenko V. K., Nikolayenko I. V. City Logistics: implementatsiya paradyhmy kreatyvnykh lohistrychnykh lantsyuhiv (City Logistics: implementation of the paradigm of creative logistics chains): monohrafiya. Mariupol', 2015. 493 p. ISBN 978-966-604-151-0 [in Ukrainian].
2. Lobashov O. O., Ol'khova M. V., Halkin A. S. ta in. Rozumnyy transport i lohistyka dlya mist (Smart transport and logistics for cities): navch. posib. Zhytomyr, 2021. 612 p. URL: https://www.researchgate.net/profile/Andrii-Galkin/publication/360862334_Smart_transport_and_logistics_for_cities/links/62964ce3c660ab61f8553c33/Smart-transport-and-logistics-for-cities.pdf (Last accessed: 02.02.2025) [in Ukrainian].
3. Bilonoh O. Y., Halak I. I., Dobrovol's'ka A. M., Yanishevs'kyi S. V. Systemni aspekty zabezpechennya efektyvnosti sitilohistyky (System aspects of ensuring the efficiency of city logistics). *Menedzhment ta pidpryyemnytstvo: trendy rozvytku*. 2025. Vyp. 2 (32). P. 221–235. DOI: <https://doi.org/10.26661/2522-1566/2025-2/32-18/> (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].
4. Stala mobil'nist' u L'vovi. L'viv's'ka mis'ka rada. (Sustainable mobility in Lviv. Lviv City Council). URL: <https://www.slideshare.net/slideshow/ss-54899355/54899355> (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].
5. Plan staloyi mis'koyi mobil'nosti. Zhytomyr's'ka mis'ka rada. (Sustainable urban mobility plan. Zhytomyr City Council). URL: <https://zt-rada.gov.ua/?pages=8685/> (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].
6. Marhita N. O., Voronina R. M., Karyi O. I. Osoblyvosti planuvannya staloyi mis'koyi mobil'nosti (Features of sustainable urban mobility planning). Natsional'nyy universytet «L'viv's'ka politekhnika». URL: <https://ena.lpnu.ua> (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].
7. Wefering F., Rupprecht S., Bührmann S., Böhrer-Baedeker S. Nastanovy. Rozrobka ta vykonannya Planu staloyi mis'koyi mobil'nosti. (Guidelines. Development and implementation of a Sustainable Urban Mobility Plan). Yevropeys'ka Komisiya. Heneral'nyy Dyrektorat z Mobil'nosti ta Transportu. 2014. 152 p. [in Ukrainian].

8. Action Plan on Urban Mobility – State of Play. European commission directorate-general for mobility and transport. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM : 2009:0490:FIN:EN:PDF> (Last accessed: 02.02.2026) [in English].
9. Yanishevs'kyi S. V., Bilonoh O. Y. Pidvyshchennya bezpeky staloyi mis'koyi mobil'nosti dlya lyudey litn'oho viku ta osib z obmezhenymy mozhlyvostyamy zdorov'ya. *Transportni tekhnolohiyi ta bezpeka dorozhn'oho rukhu : tezy dopovidey seukrayins'koyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi*. (Improving the safety of sustainable urban mobility for the elderly and people with disabilities. *Transport technologies and road safety: abstracts of the reports All-Ukrainian scientific and practical conference*) (16–17.06.2022, NU «Zaporiz'ka politekhnika»). Zaporizhzhya, 2022. P. 64–68. URL: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/9069/1/K_Turpak.pdf (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].
10. Yanishevs'kyi S. V., Bilonoh O. Y., Korchevs'ka A. A. Obmezheniya shvydkosti transportnykh zasobiv v mistakh dlya pidvyshchennya bezpeky vrazlyvykh uchasnykiv dorozhn'oho rukhu (Speed limits for vehicles in cities to increase the safety of vulnerable road users). *Visnyk NTU*. 2023. Vyp. 1(55). P. 335–347. DOI: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-335-347> (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].
11. Polishchuk V., Yanishevskiy S., Bilonoh O., Nahrebelna L., Trushevsky V., Korchevska A., Semenchenko O., Vyhovska I. (2023). Expert assessment of engineering and planning solutions to improve the safety of vulnerable road users in Ukraine. *Expert assessments in decision making: risks and safety: collective monograph*. Tallinn. P. 154–206. DOI: <https://doi.org/10.21303/978-9916-9850-2-1> (Last accessed: 02.02.2026).
12. Bilonoh O. Y., Yanishevs'kyi S. V., Klymchuk Y. O., Chernenko I. O. Mis'ka mobil'nist' v Ukrayini: analiz osnovnykh vyklykiv (Urban mobility in Ukraine: analysis of the main challenges). *Visnyk NTU*. 2024. Vyp. 1(58). P. 11–22. DOI: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2024-1-58-011-022> (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].
13. Bilonoh Oksana, Bukovska Bohdana, Yanishevskiy Serhii. Modern trends in urban mobility. *Upravlinnya biznes-protsesamy ta tekhnolohichnymi innovatsiyamy v suchasnykh umovakh ta v pislyavoyennyi period : tezy dopovidey Mizhnarodnoyi naukovoyi konferentsiyi* (Management of business processes and technological innovations in modern conditions and in the post-war period: abstracts of the International Scientific Conference). (10–11.10.2023, NTU). Kyiv, 2023. P. 446–448. DOI: <https://doi.org/10.33744/978-966-632-320-3-2023> (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].
14. Bilonoh O. Y., Yanishevs'kyi S. V., Halak I. I., Klymchuk Y. O. Upravlinnya mis'koyu mobil'nisty: krashchi praktyky vprovadzhennya proyektiv rozvytku system staloyi mobil'nosti v mistakh Ukrayiny (Urban mobility management: best practices for implementing sustainable mobility systems development projects in Ukrainian cities). *Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo*. 2025. Vyp. 117.1. P. 276–292. DOI: <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2025-117.1-276-292> (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].
15. Transformatsiya staloyi mobil'nosti. Plan staloyi mis'koyi mobil'nosti L'vova. (Transformation of sustainable mobility. Lviv Sustainable Urban Mobility Plan). URL: <https://transformative-mobility.org>. (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].
16. Mis'ka mobil'nist' v Kyievi: analitychna dovidka ta rekomendatsiyi. Tsentr ekolohichnykh initsiatyv «Ekodiya» (Urban Mobility in Kyiv: Analytical Reference and Recommendations. Center for Environmental Initiatives «Ecodia»). URL: <https://ecoaction.org.ua/miska-mobilnist-kyiv.html>. (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].
17. TomTom Traffic Index. URL: <https://www.tomtom.com/traffic-index>. (Last accessed: 02.02.2026).
18. U Kyievi riven' avtomobilizatsiyi perevyschyyv 400 avto na 1000 zhyteliv. Informatsiyno-analitchna hrupa AUTO-Consulting. (In Kyiv, the level of motorization exceeded 400 cars per 1000 inhabitants. Information and analytical group AUTO-Consulting). URL: <https://www.autoconsulting.com.ua/article.php?sid=48496>. (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].
19. Artem Polyukh. Khto, kudy y koly: nespodivani rezul'taty pershoho velykoho doslidzhennya rukhomosti kyian (2017). (Who, where and when: unexpected results of the first major study of the

mobility of Kyiv residents (2017)). Voks Ukrayina. URL: <https://voxukraine.org/hto-kudi-j-koli-ua> (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].

20. Elements of success: Urban transportation systems of 24 global cities. Mc Kinsey Center for Future Mobility, Juny 2018, 68 p. URL: https://www.mckinsey.com/~urban-transportation-systems_e-versions (Last accessed: 02.02.2026) [in English].

21. Vil'ni smuhy hromads'koho transportu: de i yak tse uzhe mozhlyvo? Tsentr ekologichnykh initsiatyv «Ekodiya». (Free public transport lanes: where and how is it already possible? Center for Environmental Initiatives «Ecodia»). URL: <https://ecoaction.org.ua/vilni-smuhy.html>. (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].

22. De v Kyievi planuyut' oblashtuvaty vydileni smuhy dlya hromads'koho transportu. Hromads'ka orhanizatsiya «Pasazhyry Kyieva» (Where in Kyiv are they planning to arrange dedicated lanes for public transport. Public organization «Passengers of Kyiv»). URL: <https://kyivpassengers.substack.com/p/kyiv-bus-lanes> (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].

23. DBN V.2.3–5:2018 (zi zminamy). Vulytsi ta dorohy naselenykh punktiv (Streets and roads of settlements). Kyiv, 2022. 61 p. (Informatsiya ta dokumentatsiya). URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-199> (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].

24. What is BRT? The Institute for Transportation and Development Policy. URL: <https://www.itdp.org/library/standards-and-guides/the-bus-rapid-transit-standard>. (Last accessed: 02.02.2026) [in English].

25. Pravyla dorozhn'oho rukhu (Traffic rules): Zatverdzeni Postanovoyu KM Ukrayiny vid 10.10.2001 № 1306, zi zminamy i dopovnenniyamy. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/KP011306>. (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].

26. DSTU 4100:2021 Bezpeka dorozhn'oho rukhu. Znaky dorozhni. Zahal'ni tekhnichni umovy. Pravyla zastosuvannya. (Road safety. Road signs. General technical conditions. Rules of application). Kyiv, 2022. 144 p. (Informatsiya ta dokumentatsiya) URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_4100_2021.pdf (Last accessed: 02.02.2026) [in Ukrainian].

27. DSTU 2587:2021 Bezpeka dorozhn'oho rukhu. Rozmitka dorozhnya. Zahal'ni tekhnichni umovy. (Road safety. Road markings. General technical conditions). Kyiv, 2022. 142 p. (Informatsiya ta dokumentatsiya). URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_2587_2021/5-1-0-1882 (Last accessed: 02.02.2026 [in Ukrainian].

28. Hlobal'nyy posibnyk z proektuvannya vulyts' (ukrayins'ke vydannya) (Global Street Design Guide (Ukrainian edition)): Library of Congress Control Number: 2016941255, ISBN: 978-1-61091-494-9. © Copyright 2016. Global Designing Cities Initiative. 396 p. URL: <https://globaldesigningcities.org/publication/global-street-design-guide> [in Ukrainian].

Oksana Bilonoh, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0003-2471-5388>

Iryna Halak, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-5038-7771>

Serhii Yanishevskiy, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/00000002-0113-5463>

Oleksandr Bilonoh, <https://orcid.org/0009-0001-1019-9987>

Yurii Klymchuk, <https://orcid.org/0009-0006-7104-5275>

National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

FEATURES OF THE ARRANGEMENT OF ALLOCATED LANES FOR PUBLIC TRANSPORT IN THE CONDITIONS OF FORMING SUSTAINABLE URBAN MOBILITY SYSTEMS

Abstract

Introduction. The article proposes a system of criteria for substantiating the feasibility of arranging dedicated lanes for public transport in the conditions of forming sustainable urban mobility systems.

Issues. In the process of implementing the concept of sustainable development of modern cities, taking into account the rapid growth in the number of individual transport, which negatively affects the

provision of the required level of urban mobility, the development of sustainable types of mobility becomes particularly relevant. As is known, the latter include pedestrian and bicycle traffic, movement using ecological transport, transit-oriented design, vehicle rental, as well as urban public transport systems that are economical, contribute to the preservation of space and the promotion of a healthy lifestyle. At the same time, public transport, taking into account its carrying capacity, is considered as the main alternative to the use of individual cars. However, as the practice of implementing the relevant transport policy shows, in order to encourage residents and guests of the city to use public transport as a counterweight to individual cars, it is necessary to create special (priority) conditions for its movement. As is known, one of the typical problems of transport systems of modern cities is the overloading of the street and road network with transport traffic. As a result, the number of complications and traffic jams increases, which directly lead to a decrease in the speed of all types of street communication and an increase in the duration of residents' trips. One of the simplest ways to solve such a problem can be considered the arrangement of dedicated lanes for public transport.

The purpose of the work is to substantiate the feasibility of implementing and developing a system of criteria for the arrangement of dedicated lanes for street public transport on the city's street and road network, which should become a relatively simple and sufficiently effective infrastructure element in the formation of sustainable urban mobility systems.

Materials and methods. During the study, a comprehensive approach was used, based on the analysis of regulatory developments regarding the establishment of requirements for the design and construction of elements of the transport infrastructure of settlements in our country (in particular, regarding the allocation of lanes for public transport), as well as taking into account national and foreign experience in the implementation and operation of such lanes. To study the factors that determine the feasibility of arranging such lanes, the work used analytical methods. Analysis of the results obtained allowed us to formulate conceptual foundations for substantiating the feasibility of arranging dedicated lanes for public transport in the context of increasing the overall efficiency of city logistics of a modern city.

Results. The work analyzed the main practical methods for substantiating the feasibility of arranging dedicated lanes for street public transport and proposed conceptual foundations for the formation of a system of relevant criteria. The specified system includes six main criteria: intensity of public transport traffic; traffic congestion and conditions on the site; road safety; socio-economic factors; ensuring spatial orientation; environmental friendliness. The results of the study can be used to develop strategies for the development of sustainable urban mobility systems.

Conclusions. In the process of implementing the concept of sustainable development of modern cities, the priority development of sustainable types of mobility is of particular relevance, among which public transport occupies an important place. The arrangement of dedicated lanes for public transport in conditions of general overload of the street and road network by the movement of all types of street transport will allow to accelerate the movement of route vehicles and increase the level of reliability (predictability) of the corresponding movements of city residents. Thus, the presence of dedicated lanes for public transport not only corresponds to the principles of forming sustainable urban mobility systems, but also increases the level of efficiency of using elements of the city's transport infrastructure, since the carrying capacity of sections of the street and road network increases without a physical increase in the total number of traffic lanes.

Based on the results of the analysis conducted in the work, conceptual foundations for the formation of a system of criteria for arranging dedicated lanes for public transport traffic are proposed, general methodological approaches to making appropriate decisions based on these criteria are determined, as well as directions for further research on the organization and technology of priority movement of route vehicles in the cities of Ukraine.

Keywords: sustainable development, transport infrastructure, urban mobility, city logistics, public transport, dedicated lane, arrangement, system of criteria.

ОПТИМАЛЬНА ОРГАНІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИСКОРЕНОГО БУДІВНИЦТВА

Анотація

Вступ. Потреба у прискореному будівництві набуває особливої гостроти в умовах подолання наслідків надзвичайних ситуацій, військових конфліктів, а також під час розгортання масштабних промислових і логістичних комплексів у стислі строки. Традиційна модель організації будівництва, що передбачає поетапне планування з тривалими циклами накопичення запасів, вичерпала свій потенціал у динамічному середовищі, оскільки вона не здатна гнучко реагувати на дефіцит часового ресурсу. У зв'язку з цим, актуальність дослідження зумовлена об'єктивною необхідністю розроблення нових моделей логістичного забезпечення, які б дозволили трансформувати логістику з допоміжної функції на інтелектуальний драйвер виробничого процесу.

Проблематика логістичного забезпечення прискореного будівництва охоплює низку критичних викликів, першочерговим серед яких є синхронізація процесів постачання та монтажу. В умовах зведення об'єктів у стислі строки, таких як модульні споруди чи мобільні госпіталі, практично відсутній часовий ресурс на складування, тому будь-яка затримка постачання навіть на декілька годин призводить до простою техніки та персоналу. Це зумовлює необхідність переходу на систему Just-in-Time («точно в строк»), де матеріали подаються «з коліс» безпосередньо в зону монтажу.

Паралельно постає проблема дефіциту складських і маневрових площ, оскільки високі темпи робіт вимагають одночасної присутності на майданчику значної кількості ресурсів. Надмірне накопичення матеріалів призводить до «затоварення» території, що блокує під'їзні шляхи та роботу кранів; розв'язанням цієї проблеми стає створення проміжних логістичних хабів і консолідаційних центрів за межами об'єкта.

Мета. розробити модель оптимальної організації логістичного забезпечення прискореного будівництва соціальної інфраструктури, спрямовану на мінімізацію впливу логістичних і ресурсних обмежень.

Матеріали і методи. аналітичні: аналіз ланцюга постачання, визначення всіх етапів руху матеріалів від виробника до майданчика та ідентифікація ризикових точок. Порівняльний аналіз: зіставлення вартості та термінів постачання імпорتنих і вітчизняних аналогів; організаційне моделювання: моделювання «вузьких місць»: створення імітаційної моделі (мережевого графіка) для оцінки впливу затримки поставки критичного матеріалу (бетон, арматура, сендвіч-панелі) на загальний термін реалізації проекту.

Результати. зроблена спроба ідентифікувати та класифікувати ключові логістичні ніші у поточному будівельному ланцюзі постачання. Проаналізовані організаційні схеми, які успішно використовують комплектні поставки для мінімізації складських потреб. Обґрунтована економічна доцільність переходу на вітчизняні матеріали як спосіб зменшення залежності від міжнародної логістики. Розроблено рекомендації щодо організаційного планування постачання в умовах постійної зміни безпекової ситуації.

Висновки. Аналіз особливостей організації логістики дозволяє стверджувати, що в умовах прискореного будівництва часовий чинник набуває критичного значення, внаслідок чого логістична система перестав виконувати лише допоміжну роль і стає стратегічним чинником, що визначає загальний темп робіт. У зв'язку з цим, перехід до моделі постачання Just-in-Time постає як

обов'язкова умова для уникнення виробничих простоїв і забезпечення безперервності монтажних процесів. Важливим аспектом оптимізації простору є використання зовнішніх консолідаційних центрів (хабів), що визначено як найбільш ефективний спосіб розв'язання проблеми дефіциту площ на будівельному майданчику, забезпечуючи високу маневровість техніки та належну організацію під'їзних шляхів.

Ключові слова: логістичне забезпечення, модульне будівництво, прискорене будівництво, ризики в будівництві, Fast-Track, Just-in-Time.

Вступ

Організація прискореного будівництва, особливо в умовах обмежень, є однією з найскладніших управлінських задач у будівельній галузі. Вона вимагає не просто швидшого виконання робіт, а фундаментальної зміни організаційної моделі та переходу від послідовного до паралельного виконання етапів.

Сучасний етап розвитку будівельної галузі характеризується стрімким зростанням попиту на об'єкти прискореного зведення, що зумовлено необхідністю швидкого відновлення інфраструктури, розгортання модульних містечок та спорудження об'єктів критичного призначення. У таких проєктах часовий ресурс стає головним обмеженням, що докорінно змінює вимоги до системи управління ресурсами. Актуальність теми дослідження зумовлена тим, що традиційні підходи до логістики, орієнтовані на значні складські запаси та лінійні графіки, виявляються неефективними в умовах дефіциту часу та простору. Оптимальна організація логістичного забезпечення стає фундаментом прискореного будівництва, оскільки будь-яка неузгодженість у ланцюгу постачання здатна повністю зупинити виробничий процес.

Практична цінність результатів дослідження дозволить будівельним організаціям ефективно маневрувати ресурсами на обмежених майданчиках, уникати критичних простоїв та забезпечувати високу економічну ефективність реалізації об'єктів у критично короткі терміни.

Теоретичні положення формування та розвитку логістичної інфраструктури будівельного підприємства дослідженні у працях вітчизняних та закордонних вчених, а саме: Бауэрокс Д. Дж. Ковальської Л. Л., Колодіна В. С., Кліменко В. В., Крикавського Є. В., Куваєва Н. Г., Кузнецова М. М., Сергеева В. І., Тарана С. А., Чернописької М. В., та ін.

Основна частина

Ключовим методом прискореного будівництва є Fast-Track (прискорений шлях).

Fast-Track — це організаційно-технологічний підхід, за якого проєктування та будівництво виконуються паралельно, а не послідовно, як у традиційній моделі.

Тобто, коли інженери ще закінчують проєктування наступних етапів (наприклад, внутрішніх мереж та оздоблення), будівельники вже розпочинають роботи на попередніх (наприклад, зведення каркаса та фундаменту). Основною метою прискореного будівництва є максимальне скорочення загального строку проєкту шляхом накладання фаз робіт.

Порівняння традиційної та прискореної моделі будівництва надано у **табл. 1**.

Таблиця 1

Порівняння між моделями

Характеристика	Традиційна модель	Fast-Track модель
Проєктування	Завершується на 100 % перед початком будівництва.	Видається поетапно (пакетами робіт).
Етапність	Послідовна: проєктування → постачання → будівництво	Паралельна: проєктування, постачання та будівництво йдуть одночасно
Ризик	Менший, але довший термін.	Вищий (ризик змін та невідповідностей), але швидша реалізація.

*складено авторами на основі [6]

Успішна організація Fast-Track має свої особливості та вимагає впровадження спеціальних управлінських рішень:

А. Управління проектуванням та інформацією:

- пакети робочої документації: проєкт ділиться на логічні пакети (наприклад, «нульовий цикл», «каркас», «фасад», «інженерія»). Дозвіл на будівництво отримується на весь об'єкт, але роботи стартують за першим пакетом, поки інші ще проєктуються;
- використання BIM (Building Information Modeling): життєво необхідно. Всі зміни та координація між архітекторами, конструкторами та інженерами відбуваються в єдиній 3D-моделі в режимі реального часу, щоб мінімізувати колізії (зіткнення).

Б. Управління ланцюгом постачання (Procurement):

- рання закупівля критичних позицій (Long Lead Items): необхідно на ранніх стадіях проєкту визначити матеріали чи обладнання, які мають довгий строк виготовлення або постачання (наприклад, трансформатори, ліфти, спеціалізовані панелі) та запустити їхнє замовлення ще на етапі ескізного проєкту;
- комплектне постачання (JIT — Just-in-Time): матеріали доставляються безпосередньо на робоче місце або на мінімальний склад, щоб уникнути простоїв, мінімізувати обсяги зберігання (дорогих матеріалів в умовах безпекових ризиків) та зменшити втрати.

В. Управління будівництвом:

- нарощування потужностей: залучення більшої кількості бригад та техніки для паралельного виконання робіт, які традиційно виконувалися б послідовно (наприклад, одночасне зведення стін і монтаж інженерних мереж на різних поверхах);
- модульність і збірність: максимальне використання готових заводських елементів (модулів, панелей) для перенесення частини робіт із будівельного майданчика на завод, де якість контролюється краще, а швидкість виробництва вища [1].

Україна вже має досвід і свою специфіку організації прискореного будівництва в умовах обмежень, як-то настання воєнного чи повоєнного стану, коли організація Fast-Track вимагає додаткової уваги до певних обмежень (**табл. 2**). Модульні технології дозволяють ефективно нейтралізувати основні обмеження прискореного будівництва.

Таблиця 2

Обмеження при організації Fast-Track

Обмеження	Організаційне рішення Fast-Track (за допомогою модульних технологій)
Логістичні	Диверсифікація постачальників (робота з кількома джерелами) та перехід на місцеві матеріали для зменшення залежності від імпорту та підвищеної вартості перевезень. Також, якщо сировина (сталь, деревина, ізоляція) може бути доставлена на один завод ефективніше, ніж на 20 різних майданчиків, це концентрує логістичні зусилля та зменшує ризик затримок.
Безпекові	Зменшення часу перебування матеріалів на майданчику (JIT-поставки) та скорочення загального строку будівництва для мінімізації ризику пошкодження об'єкта. Загальний час, який персонал і матеріали перебувають у небезпечній зоні, скорочується до мінімуму. Основна робота виконується у безпечному місці.
Ресурсні (кадрові)	Максимальне використання модульних і збірних технологій, що вимагають меншої кількості робочої сили безпосередньо на майданчику. Мінімізується потреба в рутинній праці (зварювання, утеплення, прокладання внутрішніх комунікацій) на майданчику, переходячи на індустріальні методи, де залучається менша кількість висококваліфікованих монтажників.

Обмеження	Організаційне рішення Fast-Track (за допомогою модульних технологій)
Обмеження якості	Стандартизоване заводське виробництво гарантує, що всі об'єкти соціальної інфраструктури, побудовані за цією технологією, матимуть однаково високу якість.
Фінансові	Поетапне фінансування, прив'язане до пакетів робіт, що дозволяє залучати кошти відповідно до фактичного прогресу проєкту, а не чекати на завершення всього проєктування.

**складено автором на основі [7]*

Тобто, організація прискореного будівництва є ефективним інструментом для швидкого відновлення соціальної інфраструктури, проте його успіх на 80 % залежить від злагодженості та якісної та гнучкої управлінської координації між проєктувальниками, постачальниками та будівельниками.

Модульне (або префабриковане, збірне) будівництво — це метод, за якого значна частина конструктивних елементів або цілі функціональні блоки (модулі) виготовляються в контрольованих заводських умовах, а потім транспортуються на будівельний майданчик для швидкого монтажу (табл. 3).

Таблиця 3

Переваги модульних технологій у прискоренні проєкту

Перевага	Організаційний ефект (Fast-Track)
Паралельність процесів	Зведення фундаменту на майданчику та виготовлення стін / модулів на заводі відбуваються одночасно. Це скорочує загальний строк проєкту до 30–50 % порівняно з традиційним будівництвом.
Скорочення «мокрого» циклу	Заводське виготовлення включає більшість внутрішніх і зовнішніх робіт, мінімізуючи потреби в «мокрих» процесах (штукатурка, стяжка) на майданчику. Це критично для прискорення будівництва у холодну пору року.
Контроль якості	Виробництво відбувається під постійним контролем у заводському цеху, що знижує кількість дефектів та необхідність у тривалих виправленнях на майданчику
Ефективність ресурсів	Зменшується потреба у великій кількості робочої сили на майданчику. Роботи виконуються меншими, висококваліфікованими монтажними бригадами

**складено на основі [2]*

Ключовим аспектом в організації прискореного будівництва є логістика, яка стає найважливішим етапом у модульному будівництві, змінюючи тривалий процес традиційного будівництва (табл. 4).

Таблиця 4

Етапи логістики в організації прискореного будівництва

Етап логістики	Організаційні вимоги
1. Транспортування модулів	Спеціалізована техніка: потрібен великогабаритний транспорт (трали) і супровід, оскільки модулі часто перевищують стандартні дорожні габарити. Планування маршруту: жорстке планування маршруту з урахуванням обмежень на мостах, дорогах і часових вікон для перевезення.

Етап логістики	Організаційні вимоги
2. Вантажно-розвантажувальні роботи	Вантажно-розвантажувальні операції: необхідна наявність потужних автокранів із достатнім вильотом стріли та високою вантажопідйомністю. Планування вантажно-розвантажувальних робіт є критичним шляхом проєкту.
3. Комплектність постачання	Постачання ЛТ (Just-in-Time): модулі повинні прибувати на майданчик у точній послідовності монтажу (саме в той день, коли їх готові підіймати) та не створювати «логістичних пробок».

* складено авторами на основі [2]

Актуальність дослідження логістичних потоків модульного будівництва в умовах ризику обумовлена стрімким переходом будівельної галузі до індустріальних методів зведення споруд, де логістика стає не просто елементом забезпечення, а частиною технологічного конвеєра. У модульному будівництві до 80 % обсягу робіт переноситься з будівельного майданчика в цехові умови, що робить готовий модуль надзвичайно вразливим об'єктом транспортування. Будь-який ризик у ланцюгу постачання — від затримки на заводі до пошкодження модуля під час перевезення — зупиняє весь проєкт, оскільки монтаж кожного наступного елемента неможливий без попереднього (табл. 5).

Таблиця 5

Логістичний потік модульного будівництва в умовах ризику

Блок схеми	Опис процесу	Роль у прискоренні
I. ВИРОБНИЦТВО (контрольований простір)	Завод (Off-site): виготовлення, внутрішнє оздоблення та «упаковка» модулів. Ключовий момент: створення транспортабельних секцій, які відповідають дорожнім стандартам.	Забезпечує якість та швидкість виготовлення, не залежну від погоди на майданчику.
II. ПЛАНУВАННЯ РИЗИКІВ (логістичний штаб)	Аудит маршруту: перевіряння мостів, висоти шляхопроводів і радіусів поворотів. Безпечовий аналіз: визначення «безпечових вікон» (нічні перевезення) та розроблення альтернативних маршрутів на випадок перекриття.	Мінімізує час простою через дорожні та безпекові обмеження.
III. ТРАНСПОРТУВАННЯ (Fast-Track)	Супровід та моніторинг: використання GPS-трекерів та спеціалізованих тралів для великогабаритного вантажу. ЛТ-потік: модулі відправляються лише тоді, коли майданчик готовий їх прийняти.	Забезпечує безперервність потоку робіт.
IV. БУДІВЕЛЬНИЙ МАЙДАНЧИК (обмежений простір)	Синхронізація «Кран-Трал»: модуль, щойно прибув, одразу перевантажується на фундамент / каркас. Мінімізація складу: відсутність великих складів; трал є тимчасовим складом.	Забезпечує найшвидший монтаж та мінімізує ризики зберігання матеріалів на відкритій території.
V. ЗВ'ЯЗОК І КООРДИНАЦІЯ	Постійний зворотний зв'язок: обмін даними між логістичним штабом, виробництвом та монтажними бригадами для оперативного коригування графіка постачання.	Критично для паралельних процесів (Fast-Track).

* складено на основі [5]

Особлива гострота питання полягає в тому, що модульні блоки є великогабаритними та специфічними вантажами, доставляння яких вимагає складного маршрутного планування та врахування багатьох змінних ризику: від пропускну здатності доріг до наявності спеціалізованої підйимальної техніки. В умовах економічної нестабільності або кризових ситуацій виникають додаткові логістичні загрози, такі як розрив ланцюгів постачання комплектуючих, дефіцит спеціалізованого транспорту та зростання вартості палива. Оскільки модульне будівництво часто застосовується для екстреного відновлення житла або створення об'єктів критичної інфраструктури, управління ризиками логістичного потоку стає гарантом національної безпеки та соціальної стабільності.

Науковий розгляд даного питання дозволяє розробити адаптивні механізми захисту логістичних процесів, зокрема через створення резервних маршрутів, диверсифікацію постачальників сировини для заводів та впровадження систем моніторингу цілісності конструкцій у режимі реального часу. Таким чином, дослідження логістичних потоків у цій сфері є ключем до підвищення життєстійкості будівельних проєктів та забезпечення їхньої реалізації у критично короткі терміни, попри вплив зовнішніх чинників дестабілізації.

Логістичну схему модульного будівництва в умовах ризику представлено на **рис. 1**.

Ключові висновки з графічної схеми:

1. Виробництво як постачальник послуги, а не матеріалу (блок 1): завод надає готовий «будівельний блок», що вимагає мінімум фінальних робіт на місці. Це спрощує організацію робіт на майданчику та скорочує час до введення об'єкта в експлуатацію.
2. Інформація є ресурсом (блок 2): успіх схеми залежить не від швидкості самого трала, а від швидкості обробки інформації про зміни на дорогах, погоду та безпекову ситуацію.
3. Головний стримувальний чинник — кран (блок 3): у цій схемі кран, який підіймає модуль, є «вузьким місцем». Вся логістика має бути підлаштована під його графік роботи та потужності.

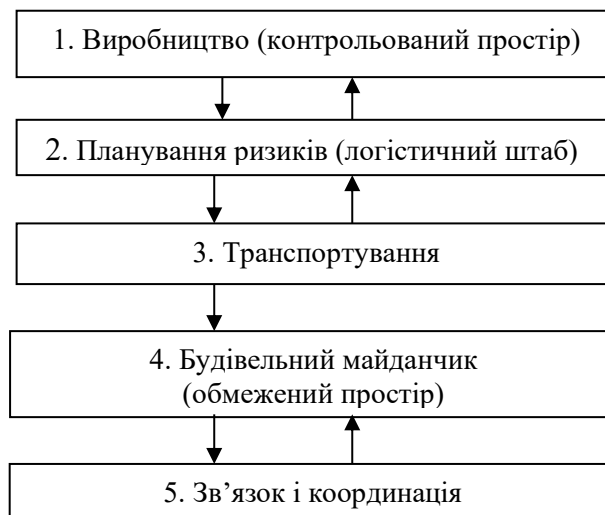


Рисунок 1 — Логістична схема модульного будівництва в умовах ризику

**побудовано авторами*

Логістична схема модульного будівництва в умовах ризику — це складна система, де кожен етап критично залежить від таймінгу. На відміну від традиційного будівництва, тут основна активність зміщена з будівельного майданчика на завод та в дорогу. Логістична схема являє собою високотехнологічний процес, де стратегічне планування зміщується з будівельного майданчика на етап заводського виготовлення та транспортування. В основі такої схеми лежить концепція, яка

передбачає, що архітектурні рішення приймаються з урахуванням габаритів доріг, висоти мостів та вантажопідйомності кранів ще на стадії проєктування. В умовах підвищених ризиків, таких як воєнні дії, нестабільність енергопостачання або перебої з паливом, схема переходить від лінійного управління до адаптивного.

Першим критичним вузлом є закупівельна логістика, де замість моделі постачання «точно в строк» впроваджується стратегія створення страхових буферів сировини на заводі, що дозволяє виробництву працювати автономно протягом кількох місяців у разі розриву логістичних ланцюжків. Виробничий етап інтегрується з цифровою моделлю будівлі (BIM), що забезпечує ідеальну точність геометричних параметрів модулів, мінімізуючи ризик того, що конструкції не зістикуються на майданчику.

Другим етапом є транспортна логістика, яка в умовах ризику стає найбільш вразливою ланкою. Схема передбачає обов'язкову розробку основного та кількох резервних маршрутів, а також використання спеціалізованого парку низькорамних тралів з пневматичною підвіскою для захисту внутрішнього оздоблення модулів від вібрацій на пошкоджених дорогах. Для нівелювання ризику розсинхронізації заводського циклу та готовності фундаменту до схеми включаються проміжні логістичні хаби (буферні склади), де модулі можуть зберігатися під захисним термопакуванням.

Завершальний етап — монтажна логістика, яка реалізується за принципом «з коліс». В умовах ризику цей процес підсилюється наявністю автономного енергозабезпечення майданчика та дублюванням вантажопідйомної техніки. Увесь логістичний ланцюжок супроводжується безперервним інформаційним потоком: GPS-моніторингом вантажу, датчиками контролю стану конструкцій у реальному часі та динамічним перерахунком графіка монтажу у разі затримок. Така суцільна інтеграція дозволяє перетворити будівництво на швидкий процес збирання, де логістика виконує роль головного конвеєра, стійкого до зовнішніх шоків [4].

Послідовність процесів перетворюється на інтегровану систему, де логістика, виробництво та монтаж жорстко синхронізовані.

Розроблена логістична схема модульного будівництва в умовах ризику має функціонувати як динамічний документ, що «дихає» та регулярно оновлюється відповідно до змін оперативних обставин. Основним інструментом управління у цій схемі виступає матриця ризиків (табл. 6), яка детально враховує ймовірність перекриття ключових транспортних артерій, можливі затримки на блокпостах, стан дорожнього покриття та безпекові загрози в конкретних регіонах. Для кожного ідентифікованого ризику прописується алгоритм дій, що дозволяє логістичній службі миттєво реагувати на форс-мажорні обставини без зупинки всього виробничого циклу.

Другим критичним компонентом є розроблення детальних таймінгів, що охоплюють увесь шлях модуля: від точного часу виїзду з території заводу та розрахункового часу транзиту через контрольні точки до моменту прибуття на майданчик і безпосереднього часу підйому конструкції краном. Такий мікроменеджмент часу необхідний для реалізації концепції монтажу «з коліс», де будь-яке відхилення графіка одного трала може призвести до простою дорого вартісної техніки та всієї монтажно-ї бригади.

Третім обов'язковим елементом схеми є чіткий план комунікацій, який визначає відповідальних осіб за сповіщення про зміну маршрутів, координацію дій із дорожніми службами, військовими адміністраціями та місцевими органами влади. Це забезпечує єдине інформаційне поле для всіх учасників процесу — від водія трала до керівника будівництва. Завдяки такій структурованій організації вдається максимально реалізувати головну перевагу модульної технології — надвисоку швидкість монтажу, ефективно нівелюючи при цьому критичні ризики, пов'язані з транспортуванням негабаритних вантажів у складних та непередбачуваних умовах. Впровадження цієї схеми перетворює логістику з допоміжного сервісу на інтегровану систему безпеки та ефективності, що гарантує успішне завершення проєкту навіть за умов високої невизначеності [3].

Таблиця 6

Матриця логістичних ризиків модульного проекту

Категорія ризику	Опис загрози	Ймовірність / плив	Превентивні заходи (запобігання)	План реагування (якщо сталось)	Відповідальна особа
Транспортний	Блокування маршруту (ДТП, ремонт, блокпости)	Висока / Критичний	Попередній об'їзд (route survey) за 24 год до виїзду. Розробка 2-х альтернативних шляхів.	Перенаправлення колони на резерв. маршрут; узгодження з дорожньою поліцією/ВЦА.	Диспетчер логістики
Технічний	Пошкодження модуля під час руху (деформація рами, тріщини в оздобленні)	Середня / Високий	Використання тралів з гідро підвіскою; встановлення датчиків нахилу та вібрації.	Зупинка колони, дефектовка на місці; залучення мобільної бригади реставраторів.	Інженер з якості
Безпековий	Обмеження руху через повітряні тривоги або комендантську годину	Висока / Середній	Планування виїздів з урахуванням "безпекових вікон"; моніторинг офіційних каналів оповіщення.	Зупинка в заздалегідь визначених безпечних "точках відстою" (паркінги, АЗС з охороною).	Керівник колони
Операційний	Поломка монтажного крана на майданчику	Низька / Критичний	Регулярне ТО перед початком фази монтажу; наявність критичного набору запчастин на місці.	Переспрямування тралів, що в дорозі, на буферний склад; виклик резервного крана.	Виконроб
Погодний	Пориви вітру >12 м/с (заборона підйому модулів)	Середня / Високий	Моніторинг погоди (прогноз на 48 год); використання анемометрів на майданчику.	Тимчасове складування модулів на майданчику; консервація відкритих вузлів від опадів.	Оператор крана

*складено на основі [1]

Щоб мінімізувати ключові ризики під час організації прискореного будівництва визначимо логічне розв'язання проблеми (табл. 7).

Таблиця 7

Матриця ризиків та рішень

Етап	Ключовий ризик	Логістичне рішення
Постачання	Дефіцит матеріалів	Мультимодальні перевезення, диверсифікація постачальників.
Транспорт	Пошкодження оздоблення	Посилена система кріплення та пневматична підвіска тралів.
Монтаж	Помилка стикування	Використання цифрових двійників (BIM) для перевірки допусків.

*складено на основі [3]

Для мінімізації ризиків у такій схемі найкраще працює стратегія BIM-логістики. Це коли логістичні дані (час прибуття трала, вага модуля, черговість монтажу) інтегровані в 3D-модель будівлі. Це дозволяє віртуально «програти» процес доставки та монтажу ще до початку виробництва.

Побудуємо спрощений мережевий графік логістичної схеми прискореного будівництва та визначимо критичний шлях, а також ключові робочі пакети (табл. 8): виділяємо основні роботи, які проходять паралельно (згідно з принципом Fast-Track) і залежать від логістики.

Таблиця 8

Спрощена логістична модель мережевого графіка

Номер вузла	Назва етапу (об'єднана)	Зв'язки та Критичний шлях
1	Проектування та закупівлі	Початок — стартові роботи (вузли А, В, С)
2	Планування логістичних потоків	Головний перехід до бази (вузол Е)
3	Підготовка фундаменту	Паралельний процес (вузли Е, F)
4	Виробництво та транспортування	Критичний етап (вузол G)
5	Фінальний монтаж	Завершення (вузол H)

*складено авторами

Мережевий графік відображає послідовність робіт (стрілками) та події (вузлами). Головна його цінність – виділення критичного шляху (КШ).

Критичний шлях (КШ) — це найдовший ланцюг робіт у проєкті. Будь-яка затримка на цьому шляху призводить до затримки всього проєкту.

Особливості критичного шляху в даній схемі: у традиційному будівництві КШ часто включає фундамент → каркас → мережі. У схемі Fast-Track з модулями КШ буде проходити через роботу з найбільшою тривалістю, яка не може бути виконана паралельно (рис. 2).

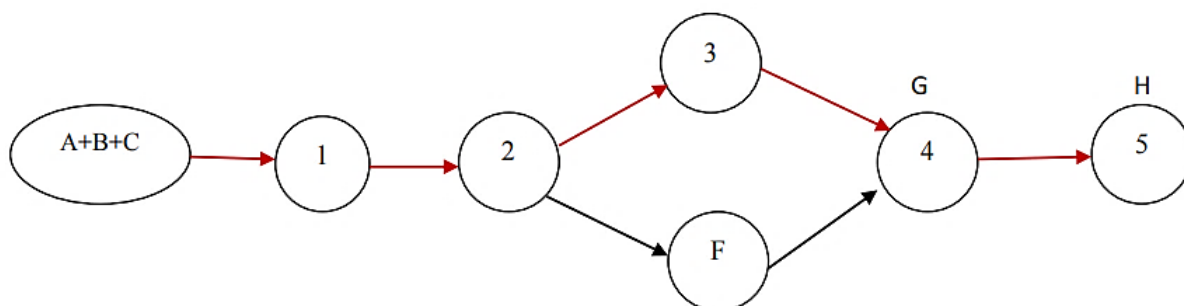


Рисунок 2 — Спрощений мережевий графік логістичної моделі прискореного будівництва

*побудовано авторами

Запропонований мережевий графік відображає структуру організації прискореного будівництва.

Стартові роботи (A+B+C) — це блок підготовчих робіт, а саме: процес проєктування, виготовлення модулів (завод), підготовка майданчика (роботи нульового циклу, підготовка під'їзних шляхів та кранового майданчика). Проєктна документація (блок 1) на фундамент і каркас необхідна для запуску будівельних робіт та замовлення модулів. Планування логістики та дозвіл (блок 2) передбачає аудит маршруту, отримання дозволів на негабарит, розробку безпекових вікон (логістичний штаб). Завершення всіх робіт з фундаментом фокусується у блоці 3. Паралельні роботи (F) — монтаж фундаменту, постачання модулів на майданчик (Трал / Кран-Трал). Монтаж каркасу (прискорений), тобто безпосередній підйом та з'єднання модулів на фундаменті складає блок 4. Фінальні підключення інженерних мереж та комунікацій, завершення контролю якості та здача об'єкта в експлуатацію — блок 5.

Перші роботи (A, B, C) стартують одночасно. Після планування логістики частина робіт іде паралельно. Всі потоки сходяться у виробництві й транспортуванні. Фінальний монтаж можливий лише після завершення критичного етапу.

Використання МГ дозволяє:

- фокусувати ресурси: направляти управлінські зусилля (і гроші) на роботи, що лежать на критичному шляху;
- контролювати логістику: затримка роботи (дозвіл на маршрут) може паралізувати основний процес (виробництво), оскільки не можна виробляти модулі, якщо не знаєш, як їх доставити;
- оцінити резерви часу: виявити роботи, які мають резерв часу, і можуть бути відкладені без шкоди для загального терміну (наприклад, деякі роботи з благоустрою).

Висновки

Для успішної організації прискореного будівництва соціальної інфраструктури в умовах України ключовими чинниками є розроблення логістичної схеми транспортування модулів з урахуванням поточних безпекових і дорожніх обмежень, ефективне управління інтерфейсом між заводом-виробником (виготовлення) та генпідрядником (монтаж) як критичним елементом Fast-Track, а також економічне обґрунтування модульних рішень як способу зменшення загальних витрат проєкту шляхом економії часу та мінімізації ризиків, попри потенційно вищу вартість самих модулів.

Окрему роль відіграє надійність ланцюга постачання, оскільки прискорене будівництво характеризується високою залежністю від стабільності роботи обмеженого кола контрагентів: збій на боці одного постачальника спричиняє «ефект доміно», порушуючи весь графік робіт, а будь-які форс-мажорні обставини (затори, погодні умови) стають критичними через відсутність часових резервів.

Виявлено, що зазначені виклики зумовлюють необхідність кардинальної зміни підходів до інформаційної прозорості та цифровізації процесів, оскільки традиційний документообіг не відповідає динаміці «швидких» проєктів. Відсутність моніторингу вантажів у реальному часі формує управлінський вакуум, що обґрунтовує доцільність упровадження BIM-технологій (4D та 5D моделювання), інтегрованих із логістичними системами для візуалізації та синхронізації графіків постачання з цифровою моделлю будівлі.

Список літератури

1. Manish Kumar Dixit, Varusha Venkatraj, Fatemeh Pariafsai, Jason Bullen. Site logistics factors impacting resource use on construction sites : a delphi study. *Frontiers. Frontiers in Built Environment*. 2022. Vol. 8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.858135>.
2. Pamela C. Nolz. Optimizing construction schedules and material deliveries in city logistics: a case study from the building industry. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 2021. No. 33. P. 846–878. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10696-020-09391-7>.
3. Hisham Said and Khaled El-Rayes. Optimal material logistics planning in congested construction sites. *Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World*. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784412329.159>. URL: <https://www.researchgate.net/publication/262601645>.
4. Hisham Said and Khaled El-Rayes. Optimizing material logistics planning in construction projects. *Conference: Construction Research Congress*. 2010. DOI: [https://doi.org/10.1061/41109\(373\)120](https://doi.org/10.1061/41109(373)120). URL: <https://www.researchgate.net/publication/262601662>.
5. Автоматизація та роботизація складу і логістичних підприємств. URL: <https://sunone.com.ua/articles-uk/avtomatizaciya-ta-robotizaciya-skladu-i-logistichnih-pidpriemstv>.
6. Hisham Said and Khaled El-Rayes. Automated system for multi-objective optimization of construction supply and site logistics. *Conference: Proceedings, Annual Conference — Canadian Society for Civil Engineering*. 2013. URL: <https://www.researchgate.net/publication/289281020>.

7. Ahmet Anil Sezer, Anna Fredriksson. Paving the path towards efficient construction logistics by revealing the current practice and issues. *Logistics*. 2021. No. 5 (3). 53 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics5030053>.

References

1. Manish Kumar Dixit, Varusha Venkatraj, Fatemeh Pariafsai and Jason Bullen. Site logistics factors impacting resource use on construction sites : a delphi study. *Frontiers. Frontiers in Built Environment*. (2022). Vol. 8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.858135> [in English].
2. Pamela C. Nolz. Optimizing construction schedules and material deliveries in city logistics : a case study from the building industry. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 2021. No. 33. P. 846–878. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10696-020-09391-7> [in English].
3. Hisham Said and Khaled El-Rayes. Optimal material logistics planning in congested construction sites. Construction Research Congress 2012: *Construction Challenges in a Flat World*. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784412329.159>. URL: <https://www.researchgate.net/publication/262601645> [in English].
4. Hisham Said and Khaled El-Rayes. Optimizing material logistics planning in construction projects. Conference: Construction Research Congress. 2010. DOI: [https://doi.org/10.1061/41109\(373\)120](https://doi.org/10.1061/41109(373)120). URL: <https://www.researchgate.net/publication/262601662> [in English].
5. Avtomatyzatsiya ta robotyzatsiya skladu i lohistychnykh pidpryemstv [Automation and robotization of warehouse and logistics enterprises]. URL: <https://sunone.com.ua/articles-uk/avtomatizaciya-ta-robotizaciya-skladu-i-logistichnih-pidpriemstv> [in Ukrainian].
6. Hisham Said and Khaled El-Rayes. Automated system for multi-objective optimization of construction supply and site logistics. Conference : Proceedings, Annual Conference — Canadian Society for Civil Engineering. 2013. URL: <https://www.researchgate.net/publication/289281020> [in English].
7. Ahmet Anil Sezer and Anna Fredriksson. Paving the path towards efficient construction logistics by revealing the current practice and issues. *Logistics*. 2021. No. 5 (3), 53 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics5030053> [in English].

Oleksandr Savchenko, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0003-0498-218X>
Lidiia Savchenko, <https://orcid.org/0000-0002-9444-2031>

Sumy National Agrarian University (CHAY), Sumy, Ukraine

OPTIMAL ORGANIZATION OF LOGISTICS OF ACCELERATED CONSTRUCTION

Abstract

Introduction. The need for accelerated construction becomes particularly acute in the context of overcoming the consequences of emergencies, military conflicts, as well as during the deployment of large-scale industrial and logistics complexes in a short time. The traditional model of construction organization, which involves phased planning with long cycles of stock accumulation, has exhausted its potential in a dynamic environment, since it is unable to flexibly respond to the shortage of time resources. In this regard, the relevance of the study is due to the objective need to develop new models of logistics support that would allow transforming logistics from an auxiliary function into an intelligent driver of the production process.

The issue of logistics support for accelerated construction covers a number of critical challenges, the primary among which is the synchronization of supply and installation processes. In conditions of construction of objects in a short time, such as modular buildings or mobile hospitals, there is practically no time resource for warehousing, so any delay in delivery even for a few hours leads to downtime of equipment and personnel. This necessitates the transition to the Just-in-Time system, where materials are supplied «from the wheels» directly to the installation area.

In parallel, the problem of shortage of warehouse and maneuvering areas arises, since the high pace of work requires the simultaneous presence of a significant number of resources on the site. Excessive accumulation of materials leads to «overcrowding» of the territory, which blocks access roads and the operation of cranes; the solution to this problem is the creation of intermediate logistics hubs and consolidation centers outside the facility.

Objective. To develop a model of optimal organization of logistical support for accelerated construction of social infrastructure, aimed at minimizing the impact of logistical and resource constraints.

Materials and methods. Analytical: supply chain analysis: determination of all stages of material movement from the manufacturer to the site and identification of risk points. Comparative analysis: comparison of the cost and delivery terms of imported and domestic analogues; organizational modeling: modeling of «bottlenecks»: creation of a simulation model (network graph) to assess the impact of a delay in the delivery of critical material (concrete, reinforcement, sandwich panels) on the overall project duration.

Results. An attempt was made to identify and classify key logistics niches in the current construction supply chain. Organizational schemes that successfully use complete deliveries to minimize warehouse needs were analyzed. The economic feasibility of switching to domestic materials as a way to reduce dependence on international logistics was substantiated. Recommendations were developed for organizational planning of supplies in conditions of constantly changing security situations.

Conclusions. Analysis of the features of logistics organization allows us to state that in conditions of accelerated construction, the time factor becomes critical, as a result of which the logistics system ceases to play only a supporting role and becomes a strategic factor that determines the overall pace of work. In this regard, the transition to the Just-in-Time supply model appears as a prerequisite for avoiding production downtime and ensuring the continuity of installation processes. An important aspect of space optimization is the use of external consolidation centers (hubs), which is defined as the most effective way to solve the problem of space shortage at the construction site, ensuring high maneuverability of equipment and proper organization of access roads.

Keywords: modular building, accelerated construction, logistics, risks in construction, Fast-Track, Just-in-Time.

УДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВНИХ ОСНОВ, ІНЖЕНЕРІЇ КЛІНІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ЗАКЛАДІВ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я: КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ПІДХІД

Анотація

Вступ. Стаття пропонує концептуально-методичну рамку, що трактує заклад охорони здоров'я (ЗОЗ) як цілісну кіберфізичну систему клінічної інженерії, де будівлі, споруди та інженерно-медичні / ресурсні системи розглядаються крізь призму експлуатаційної придатності протягом усього життєвого циклу.

Проблематика. В Україні відсутній уніфікований міжвідомчий нормативний порядок для підтримування експлуатаційної придатності клінічного середовища, синхронізований з європейською практикою, що ускладнює забезпечення безпеки, надійності та якості медичних процесів.

Мета. Сформувати методологію «BIM / цифровий інжиніринг → технічний менеджмент → експлуатаційна придатність», окреслити склад і структуру «Правил забезпечення та підтримування експлуатаційної придатності об'єктів клінічного середовища ЗОЗ» у контексті євроінтеграції.

Матеріали і методи. Концептуальне моделювання системної інженерії, огляд міжнародних практик клінічної інженерії (Joseph Dygo, ін.), аналіз чинних / проєктних ДБН / ДСанПіН, процедур ISO 9000, підходів до цифрового експлуатаційного інжинірингу (CMMS / CAFM, BMS / BAS), ризик-менеджменту.

Результат. Запропоновано системно-структурну модель клінічного середовища (медико-інженерне та ресурсне підсередовища), класифікацію експлуатаційних характеристик, організацію технічного менеджменту та зміст міжвідомчих «Правил». Показано інтеграцію з Європейською синергетичною стратегією «Спільні дії щодо міцного здоров'я» та ЦСР ООН.

Висновки. Перехід до нормативно закріпленого технічного менеджменту та цифрового експлуатаційного інжинірингу є необхідною умовою безпечної, енергоефективної й керованої експлуатації ЗОЗ, а також ключем до гармонізації з європейською та міжнародною практикою клінічної інженерії.

Ключові слова: ДБН, ДСанПіН, ISO 9000, експлуатаційна придатність, євроінтеграція, клінічна інженерія, клінічне середовище, технічний менеджмент ЗОЗ, системна інженерія, цифровий експлуатаційний інжиніринг.

Вступ

Клінічне середовище ЗОЗ — це взаємопов'язана сукупність будівель, приміщень і інженерних систем медичного та ресурсного призначення, що забезпечують пацієнтоорієнтований, безпечний і безперервний перебіг медичних процесів. У фундаментальних джерелах з клінічної інженерії клінічне середовище трактується як територіально цілісний об'єкт високих вимог до безпеки, надійності, якості та керованості протягом життєвого циклу. Для досягнення таких вимог потрібні не лише технології, а й чіткі норми експлуатаційної придатності, інтегровані з інженерією, менеджментом якості та цифровими практиками. Євроінтеграційний вектор вимагає гармонізації підходів — від «медичних завдань» у проєктуванні до цифрового технічного менеджменту в експлуатації.

Виклад основного матеріалу

1. Базові поняття та принципи

Дефініції та межі системи.

Клінічне середовище медичного призначення — це медико-інженерний контур, який охоплює чисті приміщення, операційні, інтенсивну терапію, ізоляційні бокси, радіологічні та рентген-зони, лабораторії тощо. Для нього визначальними є спеціальні будівельні, санітарно-гігієнічні, електробезпекові та радіаційні вимоги, включно з класифікацією чистоти повітря, класами електробезпеки, екранами / захистом від іонізуючого випромінювання, акустикою та мікробіологічним контролем.

Клінічне середовище ресурсного призначення — інженерно-технічний контур життєзабезпечення, що забезпечує безперервність медичних процесів: гарантоване електроживлення (у т.ч. IT-мережі, ДГУ, UPS), системи медичних газів та вакууму, HVAC із високоефективною фільтрацією, стерилізація й центральні стерилізаційні відділення, водопідготовка та очищення, системи збору / утилізації медичних і побутових відходів, протипожежні, радіаційні та біобезпекові підсистеми.

Синергетична цілісність.

Обидва контури утворюють єдину пацієнтоорієнтовану систему, де будь-яка зміна одного підконтури (наприклад, режимів вентиляції або конфігурації ізоляції) породжує передбачувані зміни в іншому (навантаження на енергетику, логістику стерильності, тепловолісний баланс, контроль перехресної контамінації). Синергетичний підхід вимагає узгоджених таксономій приміщень / зон, уніфікованої номенклатури інженерних активів, правил інтерфейсів «медичний процес ↔ інженерний ресурс».

Експлуатаційна придатність як інтегральний показник.

Експлуатаційна придатність — системна здатність зберігати / відновлювати нормативні властивості за медичним призначенням протягом усього життєвого циклу (ЖЦ): програмування → проектування → будівництво/реконструкція → введення в експлуатацію → технічна експлуатація → модернізація/утилізація. Формалізується через набір експлуатаційних характеристик (ЕХ), паспортів приміщень і систем, регламентів технічного обслуговування (ТО), метрологічного забезпечення, планів аварійного реагування та доказової звітності.

Методологічний фундамент.

— *Системний підхід і системна інженерія*: визначення меж системи, ролей, інтерфейсів, потоків даних і відповідальності; вимоги формуються від медичного сценарію до технічної функції.

— *PDCA / циклічне поліпшення*: планування (встановлення цілей і KPI), виконання (впровадження регламентів), перевірка (M&V, аудити), дія (коригування).

— *Комплексність і зведені правила*: уніфікація вимог для будівель, приміщень, інженерних систем і процесів експлуатації в єдиному регуляторі («Правила...»).

— *Цифровізація*: наскрізна зв'язка BIM → BAS/BMS → CMMS/CAFM; принцип «єдиного джерела істини» (single source of truth), контроль якості даних і трасованість рішень.

Ризик-орієнтованість і ALARP.

Клінічні простори — це середовище підвищених ризиків (критичні процедури, вразливі пацієнти). Ризик-менеджмент має бути інтегрований у ЖЦ: ідентифікація небезпек, кількісна/якісна оцінка, матриці пріоритетів, заходи контролю (інженерні, організаційні, інформаційні), філософія ALARP (as low as reasonably practicable) для залишкових ризиків.

Параметризація вимог і KPI.

Експлуатаційну придатність доцільно вимірювати через: доступність систем (Availability), MTBF/MTTR, відсоток часу у межах цільових параметрів (температура, вологість, диференційний тиск, чистота), інцидентність за категоріями безпеки, енергоінтенсивність (кВт·год/м²), відповідність аудитам і час закриття заявок (SLA).

2. Міжнародний контекст і європейська рамка

Євроінтеграційні орієнтири.

Європейська синергетична стратегія «Спільні дії щодо міцного здоров'я» узгоджена з Цілями сталого розвитку та наголошує на масштабуванні перевірених практик через цифровізацію, обмін даними та спільні стандарти. Для клінічної інженерії це означає: прозорі регламенти експлуатації, доказовість безпеки та ефективності, сумісність даних, підзвітність.

Вектор гармонізації.

Гармонізація стосується не лише «технічних» норм (чисті кімнати, електробезпека, медичні гази), а й управлінських: системи менеджменту якості, інформаційна безпека, безперервність бізнес-процесів, клінічний ризик-менеджмент. В основі — інтероперабельні моделі даних (BIM/IFC), уніфіковані довідники активів і процесів (CMMS / CAFM), методики M&V для енергії і мікроклімату.

Цифрова трансформація експлуатації.

Європейські підходи підтримують перехід від реактивного ТО до предиктивного (стан-орієнтованого) через телеметрію, аналітику, цифрові двійники об'єктів / систем. Ключові вимоги — цілісність / доступність даних, кібербезпека ОТ / ІТ, журналювання змін, безпечні «відкотні» режими.

3. Системно-структурна модель клінічного середовища

Експлуатаційний інжиніринг (ЕІ).

ЕІ — це набір процесів, що забезпечують техніко-експлуатаційну відповідність у режимі 24/7:

- *Регламенти ТО*: періодичність, обсяги, критичність активів, планування ресурсів.
- *Перевірки / калібрування*: метрологічна простежуваність, карти датчиків, політики заміни.
- *Паспортизація*: експлуатаційні паспорти приміщень (клас чистоти, Δp , тепловологісні діапазони, тип вентиляції), систем (проектні параметри, уставки, межі безпеки).
- *Управління відмовами й інцидентами*: класифікація, розслідування кореневих причин (RCA), коригувальні / попереджувальні дії (CAPA), зворотний зв'язок у регламенти.
- *Безпекові програми*: пожежна / вибухова / радіаційна / біобезпека, навчання та тренування.

Технічний менеджмент (ТМ).

ТМ задає політику, структуру та підзвітність:

- *Політики/ролі*: розподіл відповідальності між власником, експлуатантами, підрядниками; RACI-матриці.
- *Планування капітальних і операційних витрат*: довгі цикли оновлення активів, резерви на критичні ризики, LCC-аналіз.
- *SLA / KPI*: узгодження рівнів сервісу, часові вікна реагування, штрафні / бонусні механізми.
- *Компетентності*: профілі клінічних інженерів, програми підвищення кваліфікації, валідація навичок.

Цифровий контур.

- *BIM як джерело істини*: структури будівель/систем, атрибути, версійність, посилання на експлуатаційні паспорти.
- *BAS / BMS*: телеметрія мікроклімату, тисків, споживання енергоресурсів, стану приводів; уставки та сценарії керування з «безпечними профілями».
- *CMMS / CAFM*: реєстр активів, замовлення робіт, графіки ТО, управління запасними частинами, SLA-дашборди.
- *Аналітика / M&V*: моделі енерговикористання, виявлення аномалій, пост-проектна валідація параметрів чистоти / безпеки, автоматизовані звіти для контролюючих органів.

Організаційні моделі.

Можливі конфігурації: внутрішні служби EI/TM (для великих кампусів), гібридні моделі (внутрішній диспетчеринг + аутсорс ТО), повний аутсорс із жорсткими SLA. Усі моделі працюють за єдиними «Правилами», єдиним словником активів і стандартом даних.

4. Стан і прогалини нормативної бази України

Наявні опори.

— *ДБН В.2.2-10:2019* — системоутворюючий документ для проектування будівель ЗОЗ; закріплює інститут «медичних завдань», задає спеціальні експлуатаційні вимоги.

— *Проект ДСанПіН (стаціонарна допомога)* — деталізує вимоги до медичного / санітарно-технічного обладнання та інженерних систем, але не набрав чинності.

— *Проект ДБН «Експлуатаційна придатність»* — формує загальний ЖЦ-підхід і класифікацію ЕХ (функціональні, технічні, енергетичні, цільові).

Виявлені розриви.

— Відсутність міжвідомчого документа, що адаптує правила експлуатаційної придатності до специфіки клінічного середовища.

— Недостатня формалізація цифрового TM/EI (CMMS / CAFM, дані BAS / BMS, вимоги до журналювання рішень і кібербезпеки ОТ / IT).

— Фрагментарність програм безпеки (радіаційної, біологічної) у контексті експлуатаційних регламентів і метрологічної простежуваності.

— Неповна інтеграція вимог доступності та сталості у паспортизацію приміщень і систем.

5. Концепція «Правил забезпечення та підтримування експлуатаційної придатності об'єктів клінічного середовища ЗОЗ»

Структура та призначення.

«Правила...» мають статус міжвідомчого нормативу і визначають: сферу застосування; терміни; класифікацію об'єктів (територія, будівлі, приміщення, системи); нормативні посилання; рівні відповідальності; вимоги на стадіях ЖЦ; особливі вимоги до медичних систем; обов'язкові програми безпеки / ефективності; вимоги до доступності та екології; додатки (ЕХ-переліки, шаблони паспортів, алгоритми технічного аудиту, вимоги до компетенцій).

Експлуатаційний паспорт.

Ключовий інструмент трасованості. Для *приміщення* паспорт містить: функціональний профіль, клас чистоти / ізоляції, уставки T/RH/Δp, сценарії роботи (день / ніч / аварійний), вимоги до оздоблювальних матеріалів, протипожежні параметри, зони доступу та санітарні бар'єри. Для *системи* — проектні / фактичні параметри, межі безпеки, типи резервування, перелік датчиків із калібруванням, графіки ТО, карти запасних частин.

Правила на етапах ЖЦ.

— Проектування: аналіз «медичних завдань», моделювання потоків людей / матеріалів / повітря, розміщення інженерних ядер і сервісних коридорів, перевірка конфліктів (BIM-координація), формування паспортів.

— Будівництво / комісіонування: протоколи приймальних випробувань, базові вимірювання чистоти, Δp, вентиляційних витрат, валідовані уставки BAS/BMS.\

— Експлуатація: регламенти ТО / перевірок, періодичні валідації (критичні приміщення — частіше), технічні аудити, ведення журналів і звітів M&V, RCx / перенастроювання.

— Модернізації / ремонти: управління змінами (MoC), ризик-аналіз, тимчасові режими (байпаси, локальна фільтрація), повторна валідація.

Програми безпеки та ефективності.

— *Безпека*: пожежна (категорювання, евакуація), вибухова (газові господарства), радіаційна (екрани, дозиметрія), біологічна (ізоляційність, бар'єри, утилізація).

— *Ефективність*: енерго / теплоефективність (енергетичні баланси, рекуперація, теплові насоси), водо- та повітроочищення (ступені фільтрації, обробка), відходи (класи, логістика, утилізація), DR / керування піками.

6. Класифікація експлуатаційних характеристик (ЕХ)

Функціональні ЕХ.

Безпека пацієнтів / персоналу (інцидентність, рівні експозицій); доступність (універсальний дизайн, маршрути, ліфти / рампи); пожежна / вибухова / радіаційна / біобезпека (пороги, контрольні точки); акустика та вібрації. Метрики: частка часу у нормативних межах, кількість відхилень на 1 000 ліжко-днів, час усунення критичних відхилень.

Технічні ЕХ.

Стан конструкцій / інженерних систем (інспекції, дефекти, корозія), надійність (MTBF), ремонтпридатність (середній час відновлення, доступність вузлів), резервування (N+1, ізольовані живлення), запаси критичних ЗІП. Метрики: Availability, MTTR, відсоток планових ТО, що виконані в строк, кількість незапланованих відмов у критичних зонах.

Енергетичні ЕХ.

Енергоефективність (кВт·год/м²·рік), теплозбереження (коефіцієнт тепловтрат), енергетична надійність (резерв потужності, час автономії), гнучкість навантаження (DR). Метрики: питоме споживання, коефіцієнт рекуперації, частка споживання у «зелених» тарифах, економія від оптимізаторів BAS / BMS.

Цільові (медичні) ЕХ.

Відповідність «медичним завданням» та клінічним сценаріям: класи чистоти, стандарти асептики, ізоляційні градієнти тиску, температурно-вологісні профілі, шляхи потоків пацієнтів / персоналу / матеріалів. Метрики: відсоток успішних валідацій приміщень, час на реставрацію режиму після аварії, кількість перехресних алертів.

Перевірка та валідація ЕХ.

План періодичних валідацій (критичні зони — щокварталу/півріччя), калібрування вимірювальних засобів, незалежний технічний аудит (щорічно), біобезпечкові навчання з симуляціями (щороку), тестування аварійних сценаріїв (чорні/сірі тести).

7. Технічний менеджмент і цифровий експлуатаційний інжиніринг

Архітектура даних і інтеграція.

— *Майстер-дані активів*: уніфікована ідентифікація (ID), ієрархія «кампус → будівля → поверх → зона → актив», картки атрибутів (потужність, уставки, критичність, гарантії, ЗІП, постачальники).

— *Інтеграція BIM–BMS–CMMS*: двосторонні зв'язки об'єктів; події з BMS породжують заявки в CMMS; зміни конфігурацій у CMMS оновлюють BIM-атрибути; журнали аудиту на кожному рівні.

— *Аналітика / ML*: ідентифікація аномалій, прогнози відмов, оптимізація уставок з урахуванням якості повітря / енергії / комфорту; обмеження — прозорість моделей і «безпечні межі».

Процеси в CMMS/CAFM.

— *Управління роботами*: прийом / класифікація заявок, диспетчеринг, контроль SLA, підтвердження виконання, опитування замовника.

— *ТО та інспекції*: шаблони перевірок для кожного класу активів, чек-листи чистих приміщень, списки контрольних точок.

— *Запаси й закупівлі*: мін / макс-рівні на критичні ЗІП, інтеграція з постачальниками, простежуваність партій (для фільтрів / сорбентів).

— *Звіти та дашборди*: KPI доступності, енергоіндикатори, теплові карти інцидентів, аналітика «Pareto-дефектів».

M&V і RCx.

Моніторинг і верифікація (M&V) підтверджують досягнення проєктних параметрів і ефективності: базові лінії, погодна нормалізація, А / В-зони (контроль / вплив), регулярне ретрокомісіонування (RCx) для усунення дрейфів уставок, відновлення балансу повітрообміну, перетестування ізоляційності та фільтрації.

Кадрові компетентності.

Клінічні інженери інтегрованої компетентності (медична інженерія + експлуатаційний інжиніринг + ТМ): технічна грамотність, ризик-менеджмент, цифрова зрілість, комунікації з клінікою. Супровід — навчальні програми, сертифікації, наставництво.

Кібербезпека ОТ/ІТ.

Сегментація мереж, контроль доступів, багаторівнева аутентифікація, журналювання / SIEM, патч-менеджмент, бекапи та плани відновлення, «zero-trust» до пристроїв, тестові навчання з кіберінцидентів.

8. Практичні виклики та мінімізація ризиків

Складність і фрагментація.

Різноманіття систем, підрядників і протоколів породжує «шви» відповідальності. Рішення: стандартизовані вузли / інтерфейси, єдиний довідник активів, обов'язкове використання «Правил...», уніфіковані шаблони паспортів і активів.

Людський фактор.

Помилки експлуатації, «ручні» втручання, несанкціоновані зміни уставок. Рішення: дружній НМІ / UX (індикація «добре / увага / критично»), рольові права, блокування критичних команд, навчання й тести, культура «повідом без покарання» для інцидентів.

Сенсорика та метрологія.

Дрейф датчиків і неконсистентні калібрування. Рішення: річні плани калібрування, міжкалібрувальні звірки, дублювання критичних вимірювань (N-версійність), паспорти датчиків з U-бюджетами.

Аварійні режими та безперервність.

Пожежі, відключення енергії, пошкодження мереж. Рішення: сценарії «аварій-байпасів» (автономні фільтрувальні модулі, автономні компресори / кисень), регулярні тренування, інвентар резервів (паливо, фільтри, ЗІП), плани евакуації / перепрофілювання зон.

Сталість і екологія.

Баланс між інтенсивними режимами чистоти та енергоефективністю: рекуперація, адаптивні кратності повітрообміну, «зелені» джерела, замкнуті цикли води для допоміжних процесів, безпечна утилізація.

Доступність і інклюзія.

Універсальний дизайн, навігація для МГН, резервні маршрути, візуальні й аудіопідказки; інтеграція в паспорти приміщень і перевірки ТО.

9. Дорожня карта впровадження

Етап 1. Нормативне підґрунтя та пілоти (0–12 міс.).

— Підготовка й затвердження «Правил...» (міжвідомчий рівень).

— Розробка шаблонів експлуатаційних паспортів/журналів, словника активів, RACI-матриць.

— Вибір 2–3 опорних ЗОЗ для пілотів: інвентаризація активів, швидка паспортизація критичних приміщень, базова інтеграція BAS↔CMMS, стартові KPI.

Етап 2. Масштабування та цифровізація (12–30 міс.).

— Повномасштабний запуск CMMS/CAFM, інтеграція з BIM і BAS, запуск M&V-контурів.

— Уніфікація SLA, навчання персоналу, сертифікація компетентностей, регулярні RCx.

— Розгортання кібербезпеки ОТ / IT, SIEM, плани DR/BCP, щорічні технічні аудити.

Етап 3. Зрілість і безперервне поліпшення (30+ міс.).

— Впровадження цифрових двійників критичних систем / приміщень, предиктивне ТО.

— Розширення «зелених» практик і керування попитом (DR), інтеграція з муніципальними сервісами.

— Оновлення «Правил...» за результатами аудитів, публікація відкритих уроків і стандартів.

Оціночні показники дорожньої карти:

- Зниження незапланованих відмов критичних систем на ≥ 30 % упродовж 2 років.
- Підвищення доступності (Availability) критичних приміщень до $\geq 99,5$ %.
- Скорочення часу реагування на критичні інциденти на ≥ 40 %.
- Економія енергії 10 – 15 % без погіршення параметрів чистоти / комфорту (за даними M&V).
- 100 % персоналу критичних служб — із підтвердженими компетенціями та щорічним ресертифікуванням.

Висновки

Поняття експлуатаційної придатності клінічного середовища з декларативного рівня у вимірювану, керовану й цифрово підтверджену практику. Ключовим каталізатором змін має стати міжвідомчий норматив «Правила забезпечення та підтримування експлуатаційної придатності об'єктів клінічного середовища ЗОЗ», що інтегрує європейські підходи, ризик-орієнтоване управління та цикли PDCA / RCx / M&V. Синергетична цілісність медико-інженерного й ресурсного контурів забезпечується завдяки наскрізному цифровому контуру BIM→BAS / BMS→CMMS / CAFM, стандартизованим експлуатаційним паспортам приміщень / систем, єдиному словнику активів, KPI та SLA. Така модель підвищує безпеку пацієнтів і персоналу, енергетичну надійність і гнучкість, скорочує незаплановані простої та доводить відповідність євроінтеграційним вимогам прозорості й підзвітності. Визначено практичні кроки: ухвалення «Правил», пілотні впровадження в опорних ЗОЗ, стандартизація паспортів і журналів, розгортання CMMS із інтеграцією до BAS / BIM, навчання клінічних інженерів інтегрованої компетентності, впорядкування кібербезпеки ОТ / ІТ. Очікувані ефекти вимірювані: зростання доступності критичних зон, зниження інцидентності, підтверджена енергоефективність без компромісів щодо чистоти / ізоляційності. Подальші дослідження доцільно спрямувати на методики цифрових двійників критичних приміщень, формалізацію невизначеностей вимірювань, а також гармонізацію національних нормативів з європейськими. Реалізація запропонованої системи створює стійку основу для безпечної, ефективної та доказової експлуатації українських закладів охорони здоров'я.

Список літератури

1. ДБН В.2.2-10:2019. Будинки і споруди. Заклади охорони здоров'я. Київ. 2019. 54 с. (Інформація та документація).
2. ISO 14644-1:2015. Cleanrooms and associated controlled environments — Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration. Geneva: ISO, 2015.
3. ASHRAE Standard 170-2021. Ventilation of Health Care Facilities. Atlanta: ASHRAE, 2021.
4. Department of Health & Social Care (UK). Health Technical Memorandum 03-01: Specialised Ventilation for Healthcare Premises. Part A: Design and Validation; Part B: Operational Management. London, 2021.
5. ISO 7396-1:2016. Medical gas pipeline systems — Part 1: Pipeline systems for compressed medical gases and vacuum. Geneva: ISO, 2016.
6. IEC 60601-1:2005+A1:2012. Medical electrical equipment — Part 1: General requirements for basic safety and essential performance. Geneva: IEC, 2012.
7. IEC 80001-1:2010. Application of risk management for IT-networks incorporating medical devices — Part 1: Roles, responsibilities and activities. Geneva: IEC, 2010.
8. EN 15224:2016+A1:2021. Healthcare services — Quality management systems — Requirements based on EN ISO 9001:2015. Brussels: CEN, 2021.
9. ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including BIM — Information management using BIM — Part 1: Concepts and principles. Geneva: ISO, 2018.

10. ISO 41001:2018. Facility management — Management systems — Requirements with guidance for use. Geneva: ISO, 2018.
11. NFPA 99:2021. Health Care Facilities Code. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2021.
12. Efficiency Valuation Organization (EVO). International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP): Core Concepts 2016. Washington, DC: EVO, 2016.

References

1. DBN V.2.2-10:2019. Budynky i sporudy. Zaklady okhorony zdorovia (Buildings and Structures. Healthcare Facilities). Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2019 [in Ukrainian].
2. ISO 14644-1:2015. Cleanrooms and associated controlled environments — Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration. Geneva: ISO, 2015 [in English].
3. ASHRAE Standard 170-2021. Ventilation of Health Care Facilities. Atlanta: ASHRAE, 2021 [in English].
4. Department of Health & Social Care (UK). Health Technical Memorandum 03-01: Specialised Ventilation for Healthcare Premises. Part A: Design and Validation; Part B: Operational Management. London, 2021 [in English].
5. ISO 7396-1:2016. Medical gas pipeline systems — Part 1: Pipeline systems for compressed medical gases and vacuum. Geneva: ISO, 2016 [in English].
6. IEC 60601-1:2005+A1:2012. Medical electrical equipment — Part 1: General requirements for basic safety and essential performance. Geneva: IEC, 2012 [in English].
7. IEC 80001-1:2010. Application of risk management for IT-networks incorporating medical devices — Part 1: Roles, responsibilities and activities. Geneva: IEC, 2010 [in English].
8. EN 15224:2016+A1:2021. Healthcare services — Quality management systems — Requirements based on EN ISO 9001:2015. Brussels: CEN, 2021 [in English].
9. ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including BIM — Information management using BIM — Part 1: Concepts and principles. Geneva: ISO, 2018 [in English].
10. ISO 41001:2018. Facility management — Management systems — Requirements with guidance for use. Geneva: ISO, 2018 [in English].
11. NFPA 99:2021. Health Care Facilities Code. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2021 [in English].
12. Efficiency Valuation Organization (EVO). International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP): Core Concepts 2016. Washington, DC: EVO, 2016 [in English].

Aram Danielyan, <https://orcid.org/0009-0001-1181-6748>

National University «Kyiv Aviation Institute» (NU «KAI»), Kyiv, Ukraine

IMPROVING THE REGULATORY FOUNDATIONS AND CLINICAL ENVIRONMENT ENGINEERING OF HEALTHCARE FACILITIES: A CONCEPTUAL APPROACH

Introduction. The article proposes a conceptual and methodological framework that interprets a healthcare facility (HCF) as an integrated cyber-physical system of clinical engineering, where buildings, structures, and engineering-medical/resource systems are considered through the lens of operational suitability throughout the entire life cycle.

Problem Statement. In Ukraine, there is no unified interagency regulatory framework for maintaining the operational suitability of the clinical environment aligned with European practice, which complicates ensuring the safety, reliability, and quality of medical processes.

Objective. To develop a methodology of «BIM / digital engineering → technical management → operational suitability» and to outline the composition and structure of the «Rules for ensuring and maintaining the operational suitability of clinical environment facilities in healthcare institutions» in the context of European integration.

Materials and Methods. Conceptual modelling of systems engineering, a review of international clinical engineering practices (Joseph Dyro et al.), analysis of current and draft state building codes and sanitary regulations, ISO 9000 procedures, approaches to digital operational engineering (CMMS / CAFM, BMS / BAS), and risk management.

Results. A system-structural model of the clinical environment (medical-engineering and resource sub-environments), a classification of operational characteristics, the organization of technical management, and the content of interagency «Rules» are proposed. Integration with the European synergistic strategy «Joint Action on Strengthening Health» and the UN Sustainable Development Goals is demonstrated.

Conclusions. The transition to formally established technical management and digital operational engineering is a necessary condition for the safe, energy-efficient, and controllable operation of healthcare facilities, as well as a key to harmonization with European and international clinical engineering practices.

Keywords: DBN (State Building Codes of Ukraine), State Sanitary Rules and Regulations (DSanPiN), ISO 9000, operational suitability, European integration, clinical engineering, clinical environment, technical management of healthcare facilities (HCF), systems engineering, digital operational engineering.

УДК 721.012:69.001.5:697.1

Чудик І. І., *д-р. техн. наук, професор*, <https://orcid.org/0000-0002-7402-6962>**Ященко О. Ф.**, *канд. арх., доцент*, <https://orcid.org/0000-0001-6181-6597>**Цих В. С.**, *канд. техн. наук, доцент*, <https://orcid.org/0000-0002-9095-4099>**Лейбюк Б. В.**, <https://orcid.org/0009-0001-8275-3561>*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна*

АДАПТИВНІ АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ГІБРИДНОГО ВИКОРИСТАННЯ В УМОВАХ КРИЗИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ

Анотація

Вступ. Глобальна енергетична криза, загострена геополітичною нестабільністю, обумовила необхідність кардинального перегляду принципів функціонування будівельного сектора – одного з найбільших споживачів енергоресурсів. Традиційні підходи до проєктування, орієнтовані на статичні умови експлуатації, виявляються неефективними в умовах гострої нестачі енергії та динамічної зміни функціональних потреб суспільства. Наявні архітектурно-будівельні системи не забезпечують необхідного рівня адаптації до зовнішніх кліматичних чинників і внутрішніх функціональних вимог, особливо в контексті гібридного використання просторів, що поєднує житлові, комерційні та громадські функції.

Мета дослідження полягає у розробленні концептуальних засад і методології проєктування адаптивних архітектурно-будівельних систем, спрямованих на забезпечення енергетичної стійкості та функціональної гнучкості об'єктів в умовах кризи енергетичного комплексу.

Матеріали та методи. Дослідження ґрунтується на системному аналізі сучасних технологічних рішень для адаптивної архітектури, включаючи динамічні фасадні системи, матеріали зі змінними властивостями та інтелектуальні системи управління енергоспоживанням. Використано компаративний метод для оцінки ефективності різних підходів, моделювання енергетичних потоків для кількісної перевірки гіпотез та експертне оцінювання для валідації запропонованої методології.

Результати. Запропоновано класифікацію адаптивних систем за критеріями об'єкта впливу (опалубка, огорожувальні конструкції, інженерні мережі) та типу адаптації (пасивна, активна, гібридна). Розроблено багаторівневу модель інтегрованого проєктування, що поєднує: (1) аналіз контексту та вимог гібридного використання; (2) вибір оптимальних адаптивних технологій; (3) інтеграцію з системами автоматизованого управління (BIM, IoT); (4) оцінку енергоефективності та економічної доцільності. Встановлено, що впровадження запропонованих рішень дозволяє знизити енергоспоживання об'єкта на 30 – 45 % порівняно з традиційними аналогами та забезпечити швидку адаптацію простору до змінних функціональних потреб.

Висновки. Обґрунтовано доцільність переходу від статичних до динамічних принципів архітектурного проєктування в умовах енергетичної кризи. Запропонована методологія дозволяє створити архітектурно-будівельні системи, здатні адаптуватися до зовнішніх умов і внутрішніх потреб, забезпечуючи енергетичну стійкість і функціональну універсальність. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення детальних стандартів для адаптивних систем та їхню інтеграцію із системами «розумного міста».

Ключові слова: адаптивна архітектура, гібридне використання, динамічні фасадні системи, інтелектуальне управління будівлею, енергетична криза, енергоефективність, стійкий розвиток.

Вступ

Сьогоденний етап розвитку суспільства характеризується поглибленням глобальних енергетичних дисбалансів, зумовлених як обмеженістю ресурсів, так і геополітичною нестабільністю. Енергетична криза, що загострилася в останні роки, стала каталізатором переосмислення принципів функціонування ключових секторів економіки, серед яких будівельна галузь займає одне з провідних місць за обсягами споживання енергоресурсів [1]. За даними Міжнародного енергетичного агентства, на будівлі припадає понад 30 % світового кінцевого споживання енергії та майже 40 % викидів CO₂, пов'язаних з енергетикою [2]. В умовах України ця проблема посилюється наслідками воєнних дій, які призвели до руйнування критичної інфраструктури та загострення дефіциту енергоносіїв, актуалізуючи потребу в швидкій відбудові з одночасною реалізацією принципів енергетичної стійкості [3].

Традиційні підходи до архітектурного проектування, орієнтовані на статичні умови експлуатації та лінійні функціональні сценарії, виявляються неефективними в умовах динамічної зміни зовнішніх і внутрішніх чинників. Необхідність гібридного використання просторів, що поєднує житлові, комерційні, офісні та громадські функції, стає новою нормою, обумовленою соціально-економічними зрушеннями, зокрема розвитком віддаленої роботи та потребою оптимізації використання міської інфраструктури [4]. Наявні архітектурно-будівельні системи не забезпечують необхідного рівня адаптації ні до зовнішніх кліматичних чинників, ні до внутрішніх функціональних вимог, що призводить до надмірного енергоспоживання та низького рівня комфорту.

Світовий досвід демонструє зростання інтересу до концепції адаптивної архітектури (Adaptive Architecture), яка передбачає створення будівель і конструкцій, здатних змінювати свої характеристики у відповідь на зовнішні умови та внутрішні потреби [5]. Основним драйвером розвитку цього напрямку є поява нових матеріалів зі змінними властивостями (фази зміни стану, фотохромні матеріали), динамічних фасадних систем, а також технологій інтелектуального управління (BIM, IoT) [6, 7]. Однак, більшість досліджень присвячена окремим технологічним рішенням, тоді як комплексний підхід до проектування адаптивних систем саме для умов гібридного використання в контексті енергетичної кризи залишається недостатньо вивченим.

Мета дослідження полягає в розробленні концептуальних засад і методології проектування інтегрованих адаптивних архітектурно-будівельних систем, спрямованих на забезпечення енергетичної стійкості, функціональної гнучкості та підвищення якості середовища в умовах гострої нестачі енергоресурсів.

Для досягнення поставленої мети визначено наступні **завдання**:

1. Проаналізувати сучасний стан і виклики енергетичного комплексу для архітектурно-будівельної галузі.
2. Дослідити та класифікувати наявні адаптивні архітектурно-будівельні системи та технології.
3. Розробити принципи інтеграції адаптивних систем для забезпечення гібридного використання просторів.
4. Запропонувати методологію проектування та критерії оцінювання ефективності таких систем.
5. Провести кількісну оцінку потенційного енергозбереження та економічної доцільності впровадження.

Для вирішення поставлених завдань використано комплекс методів, включаючи **системний аналіз** для вивчення взаємозв'язків між елементами адаптивної системи, **компаративний метод** для порівняння ефективності різних технологічних рішень, **моделювання енергетичних потоків** для кількісної оцінки ефективності та **експертне оцінювання** для валідації теоретичних розробок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика адаптивної архітектури активно досліджується вченими останні роки. У роботах, присвячених новим технологіям для адаптивної архітектури, розглядаються матеріали зі змінними теплофізичними та оптичними характеристиками, а також кінетичні системи, що дозволяють змінювати геометрію фасадів [8]. Дослідження, представлене в монографіях із сучасних будівельних технологій, вказує на потенціал інтеграції сонячних батарей у динамічні фасадні системи для генерації енергії [9]. Аналіз джерел, присвячених енергоефективним рішенням, підкреслює важливість інтелектуальних систем управління (BIM, IoT) для оптимізації роботи всіх інженерних систем будівлі в реальному часі [10, 11]. Однак, комбінація цих технологій саме для забезпечення гібридного використання в умовах енергетичної кризи потребує системного підходу, що і є предметом даного дослідження.

1. Сучасний стан та виклики енергетичного комплексу для архітектурно-будівельної галузі

Енергетична криза, що загострилася в європейському регіоні, має системний характер і проявляється в різких коливаннях цін на енергоносії, дефіциті традиційних ресурсів (газ, вугілля) та неефективності інфраструктури їх постачання. Для будівельної галузі України це створило низку критичних викликів. По-перше, існуючий житловий фонд характеризується надзвичайно низькою енергоефективністю. Питоме теплоспоживання на 1 м² в Україні у 2-3 рази перевищує аналогічні показники в країнах ЄС [12]. По-друге, процес відбудови зруйнованих територій потребує швидких, але якісних рішень, що забезпечують енергетичну автономність нових об'єктів. По-третє, зміна соціальних патерн, зокрема масовий перехід на гібридні формати праці та навчання, обумовила потребу в будівлях, здатних ефективно функціонувати в різних режимах – від повного житлового використання до змішаного житлово-офісного.

Основними нормами, що регулюють енергоефективність будівель в Україні, є ДБН В.2.6-31:2023 «Теплова ізоляція будівель». Однак, ці норми орієнтовані на статичні характеристики огорожувальних конструкцій і не враховують потенціалу адаптивних систем, здатних динамічно змінювати опір теплопередачі чи світлопроникність залежно від пори доби, чи сезону. Таким чином, виникає суттєва розбіжність між нормативною базою та технологічними можливостями сучасних архітектурно-будівельних систем.

2. Класифікація та аналіз адаптивних архітектурно-будівельних систем

Під адаптивними архітектурно-будівельними системами ми розуміємо комплекс конструктивних, інженерних і технологічних рішень, здатних цілеспрямовано змінювати свої властивості або конфігурацію у відповідь на зміну зовнішніх умов (температура, сонячна радіація, вітер), або внутрішніх вимог (функціональне призначення простору, рівень комфорту) з метою оптимізації енергоефективності та функціональності.

За критерієм **об'єкта впливу** адаптивні системи можна класифікувати на:

1. **Адаптивні огорожувальні конструкції (фасади, покрівлі, вікна).** Найрозвиненіший клас систем. Сюди відносять:

- *Динамічні фасадні системи:* кінетичні елементи (жалюзі, бризки), що змінюють положення для контролю сонячної радіації та природного освітлення [13].

- *Фасади зі змінними теплотехнічними характеристиками:* використання матеріалів зі змінною теплопровідністю (наприклад, вакуумні ізоляційні панелі з регульованими властивостями) або систем примусової вентиляції шаруватого покриття.

- *Адаптивні світлопрозорі конструкції:* електрохромні та фотохромні склопакети, що змінюють коефіцієнт затемнення.

2. **Адаптивні планувальні рішення.** Системи, що дозволяють трансформувати внутрішній простір для зміни його функції. Наприклад, мобільні перегородки, трансформовані меблі, розсувні рівні.

3. **Адаптивні інженерні системи.** Інтелектуальні системи опалення, вентиляції, кондиціонування (ОВК) та освітлення, здатні адаптувати робочий режим до реального використання приміщень (наприклад, зниження температури в незайнятих кімнатах).

За **типом адаптації** системи поділяють на:

- Пасивні: реагування відбувається без залучення зовнішнього джерела енергії та визначається фізико-хімічними властивостями матеріалів (наприклад, термобіметалеві елементи, що відкривають вентиляційні отвори при нагріванні).
- Активні: управління здійснюється за допомогою механізмів із зовнішнім джерелом живлення, керованих електронною системою (електроприводи жалюзі, сервомеханізми).
- Гібридні: поєднують пасивні елементи для базової реакції та активні — для точної корекції.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз основних типів адаптивних фасадних систем

Тип системи	Принцип дії	Переваги	Недоліки	Потенційне енергозбереження
Кінетичні жалюзі / бризки	Зміна кута нахилу елементів для контролю сонячної радіації	Висока ефективність охолодження, простота механізму	Потреба в обслуговуванні, залежність від електроживлення	15-25 % (охолодження)
Електрохромне скло	Зміна коефіцієнта затемнення подією електричного струму	Точний контроль освітлення, відсутність рухомих частин	Висока вартість, енергоспоживання для затемнення	10 – 20 % (опалення / охолодження)
Фасад з двозмінною вентиляцією	Літній режим: вентиляція повітряного прошарку для охолодження. Зимовий режим: закриття прошарку для утворення теплоізоляції.	Пасивний принцип роботи, надійність	Обмежена ефективність в помірному кліматі	10 – 15 % (річна економія)
Фотохромні матеріали	Автоматичне затемнення при збільшенні інтенсивності UV-випромінювання	Повна автономність, відсутність керуючих систем	Інерційність, обмежений діапазон затемнення	5 – 10 % (охолодження)

3. Концепція гібридного використання та принципи інтеграції адаптивних систем

Гібридне використання будівель передбачає динамічне перепризначення просторів між різними функціями (наприклад, житло — коворкінг — громадський центр) протягом доби або тижня. Це накладає специфічні вимоги на архітектурно-будівельні системи:

1. **Універсальність інженерної інфраструктури:** системи ОВК, електропостачання, зв'язку повинні бути запроєктовані на пікове навантаження від різних функцій.
2. **Акустичний комфорт:** необхідність ефективного звукоізолювання між зонами з різною активністю.
3. **Гнучкість планувальних рішень:** застосування мобільних перегородок, трансформованих меблів.

4. **Адаптивність систем освітлення та мікроклімату:** можливість створення різних сценаріїв для різних функцій.

Інтеграція адаптивних систем у такому контексті має ґрунтуватися на наступних принципах:

- **Системність:** усі елементи (фасад, інженерні системи, планування) повинні функціонувати як єдине ціле.

- **Масштабованість:** можливість поетапного впровадження рішень залежно від бюджету та пріоритетів.

- **Взаємодоповнюваність:** поєднання пасивних і активних стратегій для мінімізації енергоспоживання систем управління.

- **Юзабіліті:** простота управління для користувачів.

4. Методологія проєктування інтегрованих адаптивних систем

На основі проведеного аналізу запропоновано методологію проєктування, що складається з п'яти послідовних етапів.

Етап 1. Аналіз контексту та формування вимог

- **Вхідні дані:** кліматичні умови регіону, функціональна програма об'єкта (сценарії гібридного використання), нормативні обмеження, бюджет.

- **Процес:** визначення пріоритетних цілей (максимізація енергозбереження, максимізація гнучкості, мінімізація вартості життєвого циклу).

- **Результат:** технічне завдання з детальними показниками енергоефективності та функціональності.

Етап 2. Вибір та оптимізація адаптивних технологій

- **Процес:** на основі технічного завдання проводять вибір оптимальних технологій за даними **табл. 1**. Використовується метод багатокритеріальної оптимізації для зважування таких чинників, як вартість, енергоефективність, довговічність, складність обслуговування.

- **Результат:** пакет технологічних рішень для фасаду, інженерних систем і планувальних рішень.

Етап 3. Інтеграція із системами управління (BIM + IoT)

- **Процес:** створення інформаційної BIM-моделі об'єкта, яка включає не лише геометрію, а й параметри адаптивних систем. Розроблення алгоритмів управління на основі даних від IoT-датчиків (температура, освітленість, присутність людей).

- **Результат:** цифровий двійник системи, здатний до адаптації в реальному часі.

Етап 4. Оцінка ефективності та економічної доцільності

- **Процес:** проведення комп'ютерного моделювання енергоспоживання (наприклад, у EnergyPlus) для порівняння традиційного та адаптивного рішень. Розрахунок показників енергоефективності та строку окупності інвестицій (ROI).

- **Результат:** кількісне обґрунтування ефективності запропонованого рішення.

5. Економічні та енергетичні аспекти впровадження

Головним бар'єром для масового впровадження адаптивних систем є їхня початкова вартість, яка може бути на 20 – 50 % вищою за вартість традиційних рішень. Однак аналіз життєвого циклу (LCC — Life Cycle Costing) демонструє їхню економічну доцільність у довгостроковій перспективі. Основні економічні переваги реалізуються за рахунок:

- **Скорочення експлуатаційних витрат** на енергоносії на 30 – 45 %.

- **Збільшення вартості нерухомості** за рахунок підвищення комфорту та функціональності.

- **Зменшення витрат на майбутні модернізації** через вбудовану гнучкість систем.

Для умов України, де тарифи на енергоносії продовжують зростати, строк окупності (Payback Period) для таких систем може складати від 5 до 10 років, що є прийнятним для інвесторів. Ключовим чинником є розроблення державних програм стимулювання, наприклад, податкових пільг або компенсацій частини вартості для проєктів відбудови.

Таблиця 2

Прогнозна економічна ефективність впровадження адаптивної системи для багатofункціонального центру (площа 5 000 м²)

Показник	Традиційна будівля	Будівля з адаптивною системою	Відхилення
Питомі капітальні витрати, €/м ²	1 200	1 500	+25 %
Річні витрати на енергоносії, €/рік	60 000	36 000	-40 %
Експлуатаційні витрати (ОВК, обслуговування), €/рік	15 000	12 000	-20 %
Термін окупності додаткових інвестицій (PP), років	-	7,5	-
Чиста приведена вартість (NPV) за 20 років, €	-	+180 000	-

Результати дослідження

Запропонована методологія проектування інтегрованих адаптивних систем демонструє значний потенціал для підвищення енергетичної стійкості та функціональної якості будівель в умовах кризи. Ключовою перевагою є системний підхід, який дозволяє не просто застосовувати окремі технології, а створювати цілісний механізм адаптації.

Порівняно з наявними підходами, що зосереджені на локальних рішеннях (наприклад, лише на фасаді), запропонована модель забезпечує синергетичний ефект за рахунок координації роботи всіх систем будівлі. Це особливо важливо для гібридного використання, коли енергетичні та функціональні навантаження динамічно змінюються.

Виявлені обмеження пов'язані з технологічною складністю та вартістю окремих компонентів (наприклад, електрохромного скла), а також з необхідністю адаптації вітчизняної нормативної бази. Однак, розвиток технологій та зростання цін на енергоносії роблять ці обмеження менш критичними з часом.

Результати моделювання, представлені в **табл. 2**, підтверджують високу енергетичну та економічну ефективність запропонованого підходу. Зниження енергоспоживання на 40 % є досяжним показником для об'єктів середньої складності.

Висновки

В умовах глибокої енергетичної кризи та стрімкого поширення гібридних форматів використання простору, що є особливо актуальним для України, критично обґрунтовано необхідність радикального переходу від статичних до адаптивних принципів архітектурно-будівельного проектування. Цей перехід є не просто трендом, а життєво важливою стратегічною відповіддю на сучасні економічні та екологічні виклики. З метою систематизації наявних підходів запропоновано класифікацію адаптивних архітектурно-будівельних систем за об'єктом впливу (огороджувальні конструкції, планувальні рішення, інженерні системи) та типом адаптації (пасивна, активна, гібридна). Ця класифікація слугує надійним методологічним підґрунтям для вибору та ефективного комбінування технологічних рішень. Для забезпечення комплексного та ефективного впровадження цих принципів розроблено методику проектування інтегрованих адаптивних систем. Вона включає ключові етапи: аналіз контексту, вибір технологій, інтеграцію із системами BIM-IoT та оцінку ефективності, гарантуючи створення як енергостійких, так і функціонально гнучких об'єктів у майбутньому. Проведена кількісна оцінка підтверджує економічну доцільність запропонованих рішень: їх впровадження забезпечує значне скорочення енергоспоживання на 30 – 45 %, що є важливим показником, а строк окупності додаткових

інвестицій становить всього 5-10 років. Це робить адаптивне будівництво особливо вигідним та необхідним в українських реаліях. Перспективи подальших досліджень концентруються на розробленні детальних стандартів для адаптивних систем, вивченні потенціалу нових матеріалів зі змінними властивостями та, що найважливіше, на створенні типових рішень для швидкої відбудови зруйнованих територій, орієнтованих саме на принципи енергетичної стійкості та адаптивності.

Список літератури

1. International Energy Agency (IEA). (2023). World Energy Outlook 2023.
2. European Commission. (2022). Energy Efficiency in Buildings.
3. Demian, P., Hassan, T. M., Kalmykov, O., Demianenko, I., & Makarov, R. (2024). BIM Implementation in Post-War Reconstruction of Ukraine. *Buildings*, 14(11), 3495.
4. Іванчук, Я. Б. (2023). Гібридні простори як нова парадигма міського планування в умовах цифровізації. *Вісник Київського національного університету будівництва і архітектури*, 85(3), 45–52.
5. Loonen, R. C. G. M., Trčka, M., Cóstola, D., & Hensen, J. L. M. (2013). Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 483–493.
6. Knaack, U., Klein, T., Bilow, M., & Auer, T. (2014). *Façades: Principles of Construction*. Birkhäuser.
7. Addington, D. M., & Schodek, D. L. (2005). *Smart Materials and New Technologies: For the Architecture and Design Professions*. Architectural Press.
8. ResearchGate. (2019). New Technologies for Adaptive Architecture. Retrieved from.
9. ISG Conference. (2023). *Modern Building Technologies and Materials*. Monograph.
10. Sciencedirect. (2024). A review on energy-efficient building design and retrofit measures. *Energy and Buildings*, 295, 113–125.
11. KPI Repository. (2023). Intelligent Building Management Systems based on IoT. Retrieved from.
12. Державна служба статистики України. Київ. 2023. Енергетична ефективність в Україні: стан та тенденції. URL: ukrstat.gov.ua (дата звернення: 21.01.2026).
13. Agapetech. (2024). Super High-Rise Curtain Wall Opening System. Retrieved from.

References

1. International Energy Agency (IEA). (2023). World Energy Outlook 2023 [in English].
2. European Commission. (2022). Energy Efficiency in Buildings [in English].
3. Demian, P., Hassan, T.M., Kalmykov, O., Demianenko, I., & Makarov, R. (2024). BIM Implementation in Post-War Reconstruction of Ukraine. *Buildings*, 14(11), 3495 [in English].
4. Ivanchuk, Ya.B. (2023). Hybrid spaces as a new paradigm of urban planning in the conditions of digitalization. *Bulletin of Kyiv National University of Construction and Architecture*, 85(3), 45–52 [in Ukrainian].
5. Loonen, R. C. G. M., Trčka, M., Cóstola, D., & Hensen, J. L. M. (2013). Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 483–493 [in English].
6. Knaack, U., Klein, T., Bilow, M., & Auer, T. (2014). *Façades: Principles of Construction*. Birkhäuser [in English].
7. Addington, D. M., & Schodek, D. L. (2005). *Smart Materials and New Technologies: For the Architecture and Design Professions*. Architectural Press [in English].
8. ResearchGate. (2019). New Technologies for Adaptive Architecture. Retrieved from [link] [in English].
9. ISG Conference. (2023). *Modern Building Technologies and Materials*. Monograph [in English].

10. Sciencedirect. (2024). A review on energy-efficient building design and retrofit measures. *Energy and Buildings*, 295, 113–125 [in English].
 11. KPI Repository. (2023). Intelligent Building Management Systems based on IoT. Retrieved from [link] [in English].
 12. State Statistics Service of Ukraine. (2023). Energy efficiency in Ukraine: status and trends. URL: ukrstat.gov.ua (Last accessed: 21.01.2026) [in Ukrainian].
 13. Agapetech. (2024). Super High-Rise Curtain Wall Opening System. Retrieved from [link] [in English].
-

Ihor Chudyk, D.Sc., Professor, <https://orcid.org/0000-0002-7402-6962>

Oleksii Yaschenko, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-6181-6597>

Vitalii Tsykh, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-9095-4099>

Bohdana Leibiuk, <https://orcid.org/0009-0001-8275-3561>

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

ADAPTIVE ARCHITECTURAL AND BUILDING SYSTEMS FOR HYBRID USE IN THE CONDITIONS OF THE ENERGY COMPLEX CRISIS

Abstract

Introduction. The global energy crisis, exacerbated by geopolitical instability, has necessitated a fundamental review of the principles governing the construction sector, one of the largest consumers of energy resources. Traditional approaches to design, focused on static operating conditions, are proving ineffective in the context of acute energy shortages and dynamic changes in the functional needs of society. Existing architectural and construction systems do not provide the necessary level of adaptation to external climatic factors and internal functional requirements, especially in the context of hybrid use of spaces that combine residential, commercial, and public functions.

The aim of the study is to develop conceptual principles and a methodology for designing adaptive architectural and construction systems aimed at ensuring the energy sustainability and functional flexibility of facilities in the context of the energy crisis.

Materials and methods. The study is based on a systematic analysis of modern technological solutions for adaptive architecture, including dynamic facade systems, materials with variable properties, and intelligent energy management systems. A comparative method was used to evaluate the effectiveness of different approaches, energy flow modeling to quantitatively test hypotheses, and expert assessment to validate the proposed methodology.

Results. A classification of adaptive systems is proposed based on the criteria of the object of influence (formwork, enclosing structures, engineering networks) and the type of adaptation (passive, active, hybrid). A multi-level model of integrated design has been developed, combining: (1) analysis of the context and requirements of hybrid use; (2) selection of optimal adaptive technologies; (3) integration with automated control systems (BIM, IoT); (4) assessment of energy efficiency and economic feasibility. It has been established that the implementation of the proposed solutions allows reducing the energy consumption of the facility by 30–45 % compared to traditional analogues and ensuring rapid adaptation of the space to changing functional needs.

Keywords: adaptive architecture, energy crisis, hybrid use, energy efficiency, dynamic facade systems, intelligent building management, sustainable development.

УДК 72.012.8:004.896:69.059.7

Смадич І. П., канд. арх., доцент, <https://orcid.org/0000-0001-7964-5730>Ященко О. Ф., канд. арх., доцент, <https://orcid.org/0000-0001-6181-6597>Скрипін Т. В., <https://orcid.org/0000-0002-4394-8294>Капак М. М., <https://orcid.org/0009-0002-0138-8126>Березовський Ю. Л., <https://orcid.org/0009-0004-5139-4676>*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна*

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВИЙ АСПЕКТ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ АРХІТЕКТУРНО- КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ПРИ ВІМ ПРОЄКТУВАННІ

Анотація

Вступ. Стрімкий розвиток ВІМ-технологій у будівельній галузі супроводжується дедалі більшими вимогами до якості архітектурно-конструктивних моделей, однак відсутність системного підходу до багаторівневої перевірки призводить до проєктних помилок, колізій між системами та невідповідності нормативним вимогам. Інтеграція ВІМ-моделювання з будівельними нормами та правовими стандартами є критично важливою для забезпечення безпеки, структурної цілісності та відповідності регуляторним вимогам. Наявні методології контролю якості не забезпечують комплексного врахування взаємодії архітектурних і конструктивних елементів на всіх стадіях проєктування.

Мета дослідження полягає в розробленні науково обґрунтованої методології багаторівневої системи контролю якості архітектурно-конструктивних ВІМ-моделей з урахуванням чинної нормативно-правової бази України та міжнародних стандартів ВІМ-проєктування.

Матеріали та методи. Застосовано системний підхід до створення автоматизованої системи оцінки якості ВІМ-моделей, що включає модуль витягу та аналізу даних, модуль зберігання даних та модуль візуалізації. Використано компаративний аналіз міжнародних систем автоматизованої перевірки відповідності (АСС) структурним розрахунковим кодам у ВІМ-середовищі, моделювання процесів міждисциплінарної координації, експертне оцінювання та валідацію на реальних проєктах.

Результати. Розроблено методологію п'ятирівневої системи контролю якості, що поєднує: (1) автоматизовану геометричну верифікацію та детекцію колізій між архітектурними та конструктивними елементами; (2) перевірку архітектурно-планувальних рішень згідно з будівельними нормами, включаючи просторові характеристики, доступність та конструктивність; (3) валідацію конструктивних рішень відповідно до структурних розрахункових норм з використанням машинно-читаних правил; (4) комплексну оцінку інтеграції архітектурно-конструктивних систем на відповідність проєктним вимогам; (5) експертну перевірку дотримання спеціальних нормативних положень і безпекових стандартів. Визначено механізми федерації IFC openBIM моделей для покращення інтероперабельності між архітектурними та структурними розділами проєкту.

Висновки. У даному дослідженні вперше створено інтегровану систему оцінки якості 3D ВІМ-моделей з використанням спеціалізованих модулів для кожної дисципліни та автоматичного вилучення інформації для оцінки відповідності налаштованим контрольним списками. Розроблено матрицю відповідності рівнів розробки (LOD) українським будівельним нормам на різних стадіях проєктування. Запропоновано методику інтеграції перевірки відповідності будівельним кодам безпосередньо в процес ВІМ-моделювання з можливістю візуалізації та симуляції вимог відповідності.

Запропонована методологія забезпечує системний міждисциплінарний підхід до контролю якості архітектурно-конструктивних BIM-моделей та сприяє підвищенню ефективності будівельного проектування при повному дотриманні нормативно-правових вимог, створюючи основу для цифрової трансформації будівельної галузі України.

Ключові слова: BIM-технології, методологія контролю якості, архітектурно-конструктивне проектування, багаторівнева система перевірки, нормативно-правове регулювання, будівельні норми України, інформаційне моделювання будівель.

Вступ

Сучасний етап розвитку будівельної галузі України характеризується інтенсивною цифровою трансформацією, що особливо актуалізується в контексті післявоєнної реконструкції держави. Станом на січень 2024 року Україна зазнала масштабних руйнувань населених пунктів, будівель та інфраструктурних об'єктів внаслідок обстрілів, що актуалізує впровадження сучасних технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM) у процеси відбудови країни [1].

17 лютого 2021 року Кабінетом Міністрів України була прийнята Концепція впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM), яка визначає принципи, напрями та механізми реалізації державної політики щодо BIM-технологій з метою подальшого реформування, модернізації та цифрової трансформації будівельної галузі України [2]. Водночас дослідження 234 співробітників українських аутсорсингових компаній та інтерв'ю з представниками архітектурних студій центральних і східних регіонів України виявили бар'єри для впровадження BIM, включаючи низькі заробітні плати, відсутність стимулів для великих фірм, бюрократичну неефективність, застаріле управління будівництвом та слабе регулювання [3]. Ці виклики підкреслюють критичну потребу в розробленні системних методологій контролю якості архітектурно-конструктивних BIM-моделей, що забезпечували б їх відповідність чинним нормативно-правовим вимогам. Також існують ряд проблем пов'язаних з тим, що наявна система контролю якості BIM-моделей не повною мірою враховує специфіку інтеграції архітектурних та конструктивних рішень щодо вітчизняної нормативно-правової бази.

Глобальний досвід демонструє, що розвиток BIM-технологій потребує створення системи перевірки та оцінювання для архітектурного проектування на основі BIM, а автоматизовані системи перевірки відповідності (ACC) для структурних розрахункових параметрів у BIM-середовищі стають критично важливими для забезпечення якості проектування. Розроблення автоматизованих систем оцінки якості BIM-моделей з використанням спеціалізованих модулів для кожної дисципліни є актуальним напрямом сучасних досліджень [4].

Мета дослідження полягає в розробці методології багаторівневої системи контролю якості архітектурно-конструктивних BIM-моделей, що забезпечує їх відповідність чинній нормативно-правовій базі України та міжнародним стандартам BIM-проектування.

Для досягнення поставленої мети визначено наступні завдання:

1. *Проаналізувати* сучасний стан нормативно-правового регулювання BIM-технологій в Україні та міжнародний досвід багаторівневих систем контролю якості архітектурно-конструктивних BIM-моделей.
2. *Дослідити* особливості інтеграції архітектурних і конструктивних рішень у BIM-середовищі з урахуванням вимог українських державних будівельних норм (ДБН).
3. *Розробити* концептуальну модель багаторівневої системи контролю якості, що поєднує автоматизовану верифікацію, нормативну валідацію та експертну оцінку архітектурно-конструктивних BIM-моделей.
4. *Створити* методологію інтегрованого контролю якості, що включає матрицю відповідності рівнів деталізації (LOD) українським будівельним нормам на різних стадіях проектування.

5. *Обґрунтувати* правові механізми розподілу відповідальності між учасниками проєктування на кожному рівні контролю якості.

6. *Провести* апробацію розробленої методології на реальних проєктах та оцінити її ефективність для підвищення якості архітектурно-конструктивних BIM-рішень.

Для вирішення поставлених завдань використано комплекс методів, що поповнюють один одного. *Системний аналіз* застосовано для дослідження структури та взаємозв'язків у системі контролю якості BIM-моделей, що дозволяє розглянути об'єкт дослідження як цілісну систему взаємопов'язаних елементів. *Компаративістський метод* використано для порівняльного аналізу міжнародного досвіду впровадження систем контролю якості BIM, що забезпечує можливість виявлення найкращих практик та їх адаптації до специфічних умов. *Моделювання процесів* застосовано для створення концептуальної моделі багаторівневого контролю, що дозволяє формалізувати структуру та послідовність процедур контролю якості. *Експертне оцінювання* використано для валідації розроблених методологічних рішень, забезпечуючи верифікацію теоретичних положень через залучення фахівців-практиків. *Статистичний аналіз* застосовано для обробки результатів апробації методології на реальних проєктах, що забезпечує кількісну оцінку ефективності запропонованих рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика контролю якості BIM-моделей активно досліджується міжнародною науковою спільнотою з експоненційним зростанням інтересу до цієї тематики в період з 2020 року.

Дослідження контролю якості BIM-моделей представлені роботами «Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support» Wei-Chin Wang та іншими, де автори розробили комплексну BIM-орієнтовану модель управління якістю будівництва, яка демонструє потенціал 4D BIM для застосування контролю якості на основі будівельних кодів із використанням структури даних «продукт — організація — процес» (POP) [5]. Результати даного дослідження демонструють наукові підходи інтеграції просторових та часових даних у систему контролю якості. Серед останніх наукових досліджень I. Rehman пропонує процедуру оцінки якості архітектурного проєктування на основі BIM-технологій, що включає інтеграцію BIM-QA (забезпечення якості) та BIM-QC (контроль якості) в загальну BIM-методологію з використанням налаштованих контрольних списків та запитів до системи управління базами даних [6].

Аналіз інших досліджень за даною проблематикою вказує на те, що сучасний етап наукової зацікавленості пов'язаний з дослідженнями процесів автоматизованої перевірки відповідності BIM моделей на усіх стадіях життєдіяльності будівель. Zhou, D., Pei, B., Li, X. у своїй праці «Новаторське застосування BIM-технологій в управлінні будівництвом автомобільних доріг» представили інноваційне застосування BIM-технологій в управлінні будівництвом автомагістралей, інтегруючи BIM з географічними інформаційними системами (GIS) та інтернетом речей (IoT), що демонструє ефективність багаторівневих цифрових платформ управління для вирішення викликів будівництва складних транспортних споруд [7]. При цьому розроблено підхід до автоматичної перевірки відповідності BIM-моделей стандартам якості на основі онтологічних технологій, представивши китайський стандарт у форматі OWL та використовуючи SWRL для правил перевірки. Це дослідження продемонструвало можливість автоматичної перевірки 66 % документів з вимогами нормативної літератури.

Іншу віху досліджень становлять наукові праці присвячені архітектурно-конструктивній інтеграції BIM в управління життєвим циклом продукції (PLM) у рамках управлінських фреймворків та робочих процесів архітектурного проєктування й будівництва, що продемонструвало покращення об'єктивної функції на 24,39 % та 38,04 % порівняно з традиційними проєктами [8]. Дієвість запропонованого алгоритму дослідження підтверджена низкою наукових праць де висвітлено семантичну систему управління змінами проєктування для EPC-проєктів, яка використовує інтеграцію онтологій для об'єднання децентралізованих знань Industry Foundation Classes (IFC) та BIM Collaboration Format (BCF) [9].

Вітчизняна наукова зацікавленість BIM активізувалась з початком повномасштабного вторгнення РФ на територію України та реакційною потребою пошуку шляхів відбудови зруйнованих населених пунктів і формування якісно нових підходів для забезпечення принципів сталої архітектури. Важливим напрямком таких досліджень стали бібліометричні та оглядові дослідження, що дозволяють систематизувати накопичений науковий досвід в BIM щодо реалій архітектурно-будівельної галузі України [10]. У працях О. Тугай, А. Єсипенко та інших проведено комбінований наукометричний аналіз та огляд статей з BIM-перевірки моделей, що демонструє еволюцію сфери досліджень в Україні [11]. При цьому автори сходяться на думці, щодо потреби пошуку узгодженої стратегії інтеграції BIM в архітектурне проектування та інженерну галузь з розробленням спільних протоколів для автоматизації рутинних процесів [12, 13].

Проведений аналіз літератури виявляє високий потенціал для створення комплексної методології багаторівневого контролю. Наявний науковий доробок створює міцну основу для розвитку системного підходу, який інтегруватиме окремі аспекти контролю якості в єдину методологічну структуру.

Розширення міжнародного досвіду адаптації до національних будівельних норм відкриває перспективи для інтеграції з українськими ДБН, проте недостатня інтеграція з національними будівельними нормами створює проблему, адже міжнародні дослідження рідко враховують специфіку локальних регуляторних вимог, зокрема українських ДБН.

Особливо актуальною стає розробка спеціалізованих методологій для post-war reconstruction, які враховуватимуть унікальні виклики післявоєнної реконструкції та забезпечуватимуть ефективне швидке відновлення інфраструктури. Це створює можливості для інноваційних підходів, що поєднують передові BIM-технології з практичними потребами національної відбудови.

Основна частина

1. Аналіз нормативно-правового регулювання BIM-технологій в Україні. Сучасна нормативно-правова база України щодо BIM-технологій формується на основі комплексного підходу, що поєднує національні будівельні стандарти з міжнародними практиками. Концепція впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання, затверджена Кабінетом Міністрів України 17 лютого 2021 року, визначає стратегічні напрями цифрової трансформації будівельної галузі та встановлює цільові орієнтири для поетапного впровадження BIM-технологій у державному та приватному секторах.

Особливої уваги заслуговує інтеграція вимог європейських стандартів, зокрема Єврокодів, у національну нормативну базу. Це створює передумови для гармонізації української практики BIM-проектування з міжнародними стандартами та забезпечує сумісність проєктних рішень із європейськими вимогами. Водночас специфіка національних умов, включаючи кліматичні особливості, сейсмічність територій та соціально-економічні фактори, потребує адаптації міжнародних підходів до локальних реалій (табл. 1).

Таблиця 1

Структура нормативно-правового регулювання BIM-технологій в Україні

Рівень регулювання	Документи	Сфера застосування	Вимоги до BIM	Відповідальні органи
Концептуальний	Концепція впровадження BIM (2021)	Стратегічне планування	Принципи впровадження	Мінрегіон
Нормативний	ДБН В.1.2-20:2022	Система забезпечення надійності	Вимоги до моделювання	ДП «УкрНДНЦ»
Технічний	ДСТУ-Н Б В.3.2-1:2022	Проектування будівель	Технічні специфікації	Мінрегіон

Рівень регулювання	Документи	Сфера застосування	Вимоги до BIM	Відповідальні органи
Стандартизаційний	ДСТУ ISO 19650 серії	Управління інформацією	Процеси управління	ДП «УкрНДНЦ»
Операційний	Локальні стандарти	Конкретні проекти	Робочі процедури	Проектні організації

Критичним аспектом нормативного регулювання є визначення рівнів зрілості BIM (BIM Maturity Levels), адаптованих до українських реалій. На відміну від британської моделі BIM Level 2, яка передбачає обов'язкове використання спільного середовища даних (Common Data Environment, CDE), українська концепція зосереджується на поетапному впровадженні з урахуванням технічної готовності галузі та наявності кваліфікованих кадрів.

Аналіз чинної нормативної бази виявляє необхідність гармонізації національних стандартів з міжнародними форматами openBIM, зокрема Industry Foundation Classes (IFC) та Building Collaboration Format (BCF), що забезпечить інтероперабельність систем різних виробників. Особливо актуальним є впровадження стандарту ISO 19650 серії, який регламентує управління інформацією протягом життєвого циклу будівельних активів з використанням BIM-технологій.

Правове забезпечення контролю якості BIM-моделей базується на принципах розподіленої відповідальності між учасниками проектування. Згідно з чинним законодавством, генеральний проектувальник несе повну відповідальність за якість проектної документації, однак у BIM-середовищі ця відповідальність розподіляється між спеціалістами різних дисциплін залежно від їх компетенції та сфери впливу на загальну модель проекту.

2. Аналіз міжнародного досвіду багаторівневих систем контролю якості. Компаративний аналіз міжнародних практик контролю якості BIM-моделей демонструє еволюцію від простих геометричних перевірок до комплексних систем автоматизованої валідації відповідності (*Automated Compliance Checking, ACC*). Провідні країни Європи та світу розробили власні підходи до багаторівневого контролю, адаптовані до національних будівельних кодів та регуляторних вимог.

Американський досвід, представлений *General Services Administration (GSA) BIM Guide*, зосереджується на стандартизації процесів моделювання та контролю якості для федеральних проектів. GSA розробила детальні вимоги до рівнів деталізації (LOD) та процедур перевірки моделей, що включають автоматизовану детекцію колізій, валідацію просторових вимог та перевірку відповідної доступності для маломобільних груп населення (ADA compliance). Ключовою особливістю американського підходу є інтеграція BIM-контролю з наявними системами управління проектами та забезпечення повної трасованості змін у моделі.

Британська модель *BIM Level 2*, запроваджена для державних проектів у 2016 році, базується на концепції федерованих моделей та спільного середовища даних. Система контролю якості включає три основні компоненти: перевірку якості моделі на рівні дисципліни, федерацію моделей для міждисциплінарної координації та доставляння інформації замовнику у стандартизованому форматі. Особливістю британського підходу є використання стандарту PAS 1192, який детально регламентує процеси управління інформацією та контролю якості на всіх етапах проекту.

Сінгапурська система CORENET e-PlanCheck представляє найбільш розвинений приклад повністю автоматизованої перевірки відповідності будівельним нормам. Система здатна автоматично перевіряти понад 80 % вимог будівельного кодексу Сінгапуру, включаючи складні просторові відносини, вимоги до евакуації та інженерні системи. Ключовими інноваціями сінгапурського підходу є використання семантичного моделювання для інтерпретації будівельних норм та застосування штучного інтелекту для розпізнавання нестандартних архітектурних рішень.

Німецький досвід *Model View Definition (MVD)* та голландська система *Open BIM* демонструють важливість стандартизації обміну даними між дисциплінами. Німецька модель

зосереджується на детальному описі інформаційних вимог на кожній стадії проєкту та забезпеченні точної передачі даних між різними програмними платформами. Голландський підхід підкреслює важливість відкритих стандартів та незалежності від конкретних програмних рішень.

Скандинавські країни (Норвегія, Фінляндія, Швеція) розробили інтегровані платформи, що поєднують BIM з геоінформаційними системами (GIS) для комплексного планування територій. Норвезька система *Statsbygg BIM Manual* встановлює детальні вимоги до моделювання з урахуванням суворих кліматичних умов та вимог енергоефективності. Фінська модель COBIM (Common BIM Requirements) зосереджується на стандартизації процесів та забезпеченні якості на всіх етапах проєкту.

Австралійський досвід *Digital Engineering Framework* демонструє інтеграцію BIM-технологій з цифровими двійниками інфраструктурних об'єктів. Особливістю австралійського підходу є акцент на життєвому циклі активів та використанні BIM-даних для оптимізації експлуатації та обслуговування.

Проведений порівняльний аналіз міжнародного досвіду виявив, що найбільш розвинені системи контролю якості BIM-моделей характеризуються різними підходами до автоматизації та адаптації до національних норм. Сінгапурська система CORENET демонструє найвищий рівень автоматизації, однак має обмежену адаптивність до інших нормативних баз, що робить її практично непридатною для прямого впровадження в українських умовах. Американський та британський досвід показує середній рівень автоматизації з акцентом на стандартизації процесів, проте ці системи також слабко адаптовані до континентально європейських будівельних традицій. Скандинавські моделі демонструють найкращу практику інтеграції BIM з геоінформаційними системами, що є перспективним для українського містобудівного планування. Загалом, аналіз свідчить про відсутність універсальної системи контролю якості, яка б одночасно забезпечувала високий рівень автоматизації та адаптивність до різних нормативних середовищ, що обґрунтовує необхідність розробки власної методології для українських умов (табл. 2).

Таблиця 2

Порівняльний аналіз міжнародних систем контролю якості

Країна	Основний стандарт	Рівень автоматизації	Охоплення норм	Особливості
США	GSA BIM Guide	Високий	Федеральні проєкти	Акцент на доступності
Великобританія	PAS 1192 / ISO 19650	Середній	Державні проєкти	Федеровані моделі
Сінгапур	CORENET	Високий	Повне покриття	Штучний інтелект
Німеччина	VDI 2552	Середній	Промислові об'єкти	Стандартизація обміну
Нідерланди	NLCS/Open BIM	Середній	Інфраструктура	Відкриті стандарти
Норвегія	Statsbygg Manual	Середній	Державні будівлі	Енергоефективність

3. Концептуальна модель багаторівневої системи контролю якості. Провівши комплексний аналіз світового досвіду архітектурного-конструктивного контролю BIM орієнтованого проєктування сформовано основи моделі контролю якості BIM адаптованої для вітчизняних умов, що базується на принципах системного підходу та включає п'ять взаємопов'язаних рівнів контролю, кожен з яких має специфічні цілі, методи та критерії оцінки. Теоретичною основою моделі є теорія надійності складних систем та концепція багатобар'єрного захисту, адаптована до специфіки BIM-проєктування.

Фундаментальним принципом розробленої системи є послідовна деталізація контролю від загальних геометричних характеристик до специфічних нормативних вимог. Кожен рівень функціонує як незалежний фільтр, що виявляє та усуває специфічний тип помилок або невідповідностей, водночас передаючи перевірену інформацію на наступний рівень для більш детального аналізу (рис. 1).



Рисунок 1 — Структурна модель п'ятирівневої системи контролю якості BIM

Перший рівень — геометрична верифікація — забезпечує базову цілісність моделі та виявлення фізичних конфліктів між елементами. Цей рівень використовує алгоритми просторового аналізу для детекції фізичних колізій, перевірки геометричної точності елементів та валідації топологічних зв'язків. Автоматизована система здійснює перевірку відповідності геометричних параметрів заданим толерансам, виявляє дублювання елементів та контролює правильність просторового позиціонування компонентів моделі.

Другий рівень — архітектурно-планувальна перевірка — фокусується на функціональних аспектах проектного рішення та його відповідності основним положенням ДБН. Система автоматично перевіряє дотримання мінімальних площ приміщень, висот стель, ширини коридорів та інших параметрів, регламентованих будівельними нормами. Особлива увага приділяється перевірці доступності для людей з інвалідністю, включаючи ширину проходів, ухили пандусів та розташування спеціального обладнання.

Третій рівень — конструктивна валідація — забезпечує перевірку структурної цілісності та відповідності конструктивних рішень розрахунковим схемам. Система автоматично екстрагує геометричні та матеріальні характеристики конструктивних елементів, формує розрахункові схеми та виконує попередню оцінку несної здатності. Інтеграція з розрахунковими комплексами дозволяє автоматично передавати дані для детального структурного аналізу та верифікації результатів розрахунків.

Четвертий рівень — інтеграційна оцінка систем — здійснює комплексний аналіз взаємодії архітектурних, конструктивних та інженерних систем. Система перевіряє сумісність різних дисциплін, виявляє потенційні конфлікти між системами та оцінює ефективність загального проектного рішення. Особлива увага приділяється координації інженерних мереж з конструктивними елементами та архітектурними рішеннями.

П'ятий рівень — експертна перевірка безпеки — передбачає професійну оцінку дотримання спеціальних нормативних вимог та стандартів безпеки. Цей рівень включає перевіряння пожежної безпеки, сейсмостійкості, енергоефективності та інших аспектів, що потребують професійної експертизи та не можуть бути повністю автоматизовані.

4. Методологія інтегрованого контролю якості. На основі сформованої моделі запропонована методологія, що базується на інтеграції автоматизованих алгоритмів перевірки з експертною оцінкою, забезпечуючи комплексний підхід до контролю якості архітектурно-конструктивних BIM-моделей. Ключовим елементом методології є матриця відповідності рівнів деталізації (Level of Development, LOD) українським будівельним нормам, що забезпечує поетапний контроль якості відповідно до стадій проєктування (табл. 3).

Таблиця 3

Матриця відповідності LOD українським ДБН

Стадія проєктування	LOD	Архітектурні елементи	Конструктивні елементи	Інженерні системи	Контрольні процедури
Техніко-економічне обґрунтування	LOD 100	Об'ємно-просторові рішення	Концептуальна схема	Загальна схема	Загальна відповідність
Ескізний проєкт	LOD 150	Функціональне планування	Конструктивна система	Принципові рішення	Функціональна перевірка
Проєкт	LOD 200	Архітектурні рішення	Конструктивна схема	Схематичні рішення	Нормативна валідація
Проєкт (уточнений)	LOD 250	Деталізовані рішення	Попередні розрахунки	Розрахункові схеми	Розрахункова перевірка
Робочий проєкт	LOD 300	Робочі креслення	Розрахункові схеми	Робочі креслення	Детальна валідація
Виконавчі креслення	LOD 400	Виробничі деталі	Монтажні схеми	Монтажні схеми	Виробнича перевірка
Експлуатаційна модель	LOD 500	Фактичні параметри	Реальні характеристики	Налаштування систем	Експлуатаційний контроль

Теоретичною основою методології є концепція інформаційної зрілості моделі, що передбачає поступове накопичення та уточнення проєктної інформації від концептуального етапу до детального проєктування. Кожна стадія характеризується специфічними вимогами до повноти, точності та достовірності інформації, що відображається у відповідних процедурах контролю якості (рис. 2). При цьому автоматизована система контролю якості повинна інтегруватись з основними BIM-платформами через стандартизовані API та формати обміну даними та провідних BIM-платформ (Revit, ArchiCAD, Tekla, Bentley).

Дана система автоматизованої перевірки базується на гібридному підході, що поєднує правило-орієнтовані алгоритми з елементами машинного навчання. Для повноцінної перевірки моделі в процесі проєктування базова бібліотека правил повинна включати понад 2000 елементів перевірки, структурованих відповідно до розділів ДБН та згрупованих за типами об'єктів і функціональним призначенням.

Застосування алгоритму машинного навчання та AI дозволяє розпізнавати складні просторові конфігурації, класифікації нестандартних архітектурних елементів та прогнозувати потенційні проблеми на основі аналізу попередніх проєктів. Саме система самонавчання дозволяє адаптувати алгоритми перевірки до специфіки конкретних типів об'єктів і проєктних організацій. Інтеграція з

зовнішніми системами повинна забезпечуватись через RESTful API та веб-сервіси, що дозволяє включити контроль якості у наявні робочі процеси проектних організацій, а також підтримку інтеграції з популярними платформами управління проектами (Autodesk Construction Cloud, Bentley ProjectWise, Trimble Connect) та системами документообігу.

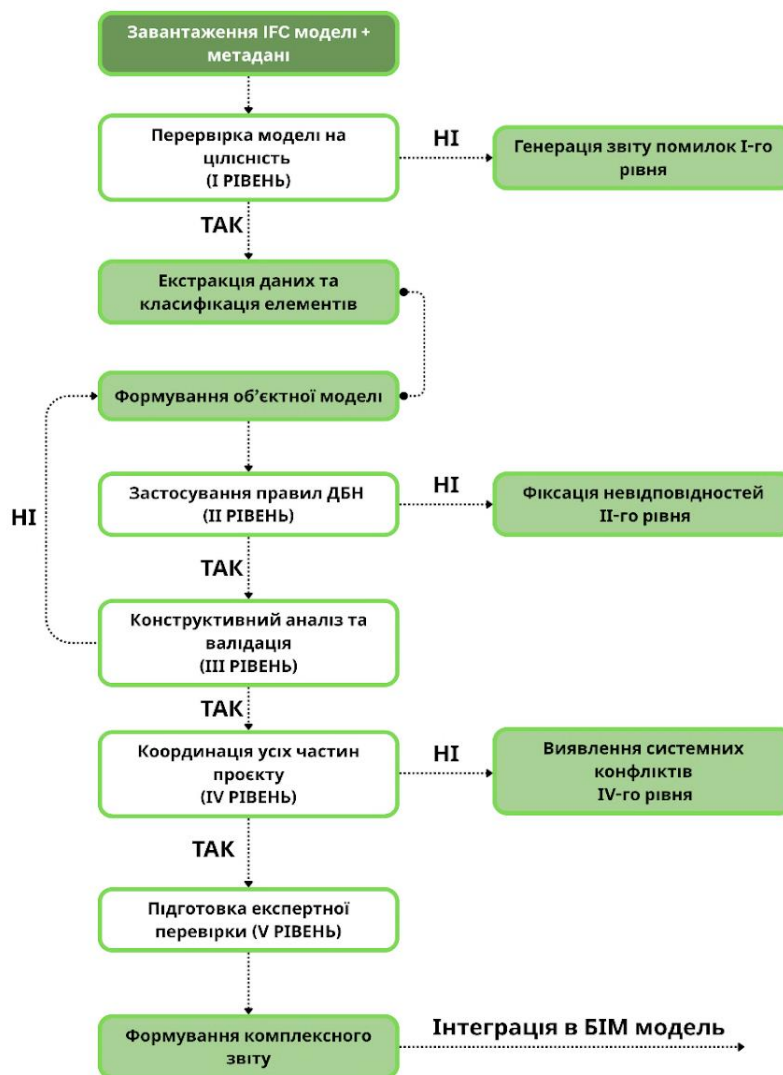


Рисунок 2 — Алгоритм автоматизованої перевірки відповідності

5. Правові механізми розподілу відповідальності. Система багаторівневого контролю якості потребує чіткого визначення правових механізмів розподілу відповідальності між учасниками проєктування, що особливо актуально в контексті BIM-проєктування з його розподіленою моделлю співробітництва. Розроблено матрицю відповідальності, що враховує специфіку BIM-проєктування та вимоги чинного законодавства України, зокрема Закону України «Про архітектурну діяльність» та «Про регулювання містобудівної діяльності».

Правова модель базується на принципі розподіленої відповідальності з чітким визначенням сфер компетенції кожного учасника проектного процесу. Ключовим елементом є введення нової ролі — BIM-координатора, який несе відповідальність за цілісність загальної моделі проєкту та координацію між різними дисциплінами.

Згідно з розробленою правовою схемою, відповідальність розподіляється на три рівні: індивідуальну (відповідальність спеціаліста за власну частину моделі), колективну (відповідальність команди за інтегровану модель дисципліни) та системну (відповідальність за загальну координацію та відповідність проєкту). Кожен рівень має власні механізми контролю, звітності та юридичного захисту (табл. 4).

Таблиця 4

Матриця розподілу відповідальності

Рівень контролю	ВІМ-менеджер	Архітектор	Конструктор	Інженер	Експерт	Замовник
Геометрична верифікація	Координація процесу	Архітектурна геометрія	Конструктивна геометрія	Інженерна геометрія	Консультації	Затвердження
Архітектурно-планувальна	Контроль процедур	Відповідальність за рішення	Узгодження з архітектурою	Інженерні обмеження	Перевірка норм	Функціональні вимоги
Конструктивна валідація	Забезпечення даних	Архітектурні обмеження	Розрахункова відповідальність	Навантаження від систем	Валідація розрахунків	Технічні вимоги
Інтеграційна оцінка	Загальна координація	Архітектурна інтеграція	Конструктивна інтеграція	Системна інтеграція	Системна оцінка	Загальне узгодження
Експертна перевірка	Документування	Архітектурна експертиза	Конструктивна експертиза	Інженерна експертиза	Повна відповідальність	Остаточне затвердження

Іншою важливою віхою в розробці правових механізмів розподілу відповідальності при комплексній багаторівневій системі контролю якості архітектурно-конструктивних рішень в ВІМ орієнтованому проєктуванні є проблеми розв'язання конфліктів між учасниками при виявленні невідповідностей або помилок у моделі.

Запропоновано процедури ескалації проблем, починаючи від безпосереднього врегулювання між спеціалістами до залучення незалежної експертизи та арбітражу, де опираючись на світову практику нормативної бази в проєктуванні із застосування комплексних ВІМ моделей слід сформувати структуру типових договорів ВІМ-проєктування, що регламентують права та обов'язки сторін щодо якості моделей, термінів виконання перевірок та процедур внесення змін. Договори повинні містити детальні положення щодо інтелектуальної власності на елементи ВІМ-моделі, конфіденційності проєктної інформації та розподілу комерційних ризиків.

Система правового захисту учасників повинна включати механізми страхування професійної відповідальності, адаптовані до специфіки ВІМ-проєктування з відповідними рекомендаціями щодо мінімальних лімітів страхового покриття залежно від масштабу та складності проєктів.

6. Шляхи розвитку багаторівневої системи контролю якості архітектурно-конструктивних рішень. Подальший розвиток багаторівневої системи контролю якості можливий шляхом інтеграції з технологіями штучного інтелекту та машинного навчання для підвищення точності автоматизованої перевірки шляхом розроблення спеціалізованого програмного забезпечення, адаптованого до специфіки українських ДБН та створення національної бази знань для систем автоматизованої перевірки відповідності.

Опираючись на результати аналізу впровадження аналогічних систем у світову практику АЕС галузі стратегічні напрями розвитку включають: розширення бібліотеки правил перевірки, впровадження алгоритмів глибокого навчання для розпізнавання складних архітектурних конфігурацій, інтеграцію з геоінформаційними системами для містобудівного аналізу, розробку мобільних додатків для польової верифікації проєктних рішень, створення системи цифрових двійників для експлуатаційного контролю (рис. 3).



Рисунок 3 — Перспективи розвитку системи контролю якості архітектурно-конструктивних рішень

Технічний розвиток системи зосереджується на підвищенні продуктивності обробки великих моделей через використання графічних процесорів (GPU) для паралельних обчислень і квантових алгоритмів для оптимізації складних просторових запитів.

Стратегічним напрямом є формування єдиної цифрової платформи контролю якості BIM-моделей на усіх рівнях процесу спорудження та функціонування будівлі, що забезпечить стандартизацію процедур та підвищить загальний рівень якості проектування в будівельній галузі України.

Обговорення та результати дослідження. Розроблена методологія багаторівневої системи контролю якості архітектурно-конструктивних BIM-моделей демонструє значні переваги порівняно з наявними підходами. Ключовою новизною є інтеграція п'яти взаємодоповнюючих рівнів контролю з адаптацією до специфіки українських будівельних норм і правових реалій.

Принципова відмінність від міжнародних аналогів полягає у врахуванні специфічних умов реалій розвитку будівельної галузі України, включаючи особливості нормативної бази, технічної культури проектування та організаційних структур. Важливим досягненням є розроблення концепції «нормативного плюралізму» у BIM-середовищі для одночасного врахування національних норм, міжнародних стандартів і локальних специфікацій.

Порівняльний аналіз з провідними міжнародними системами (CORENET, GSA BIM Guide, Solibri Model Checker) показав, що розроблена методологія демонструє оптимальний баланс між рівнем автоматизації та адаптивністю до національних норм. Хоча деякі системи показують вищий рівень автоматизації, вони практично не адаптовані до українських ДБН.

Також виявлено певні обмеження запропонованої методології: залежність від якості вхідних даних, складність впровадження для малих організацій та потребу у кваліфікованих експертах. Водночас ці обмеження не критичні та можуть бути подолані через поетапне впровадження та розвиток освітніх програм як для діючих спеціалістів так і в системі підготовки кадрів.

Перспективи розвитку включають інтеграцію з технологіями штучного інтелекту, розширення бібліотеки правил перевірки, створення мобільних додатків для польової верифікації та розроблення системи цифрових двійників для експлуатаційного контролю.

Висновки

Проведене дослідження методичних підходів та нормативно-правових аспектів впровадження системи контролю якості архітектурно-конструктивних рішень при BIM-проектуванні дозволило досягти поставленої мети та отримати комплекс науково-теоретичних і практичних результатів, що мають важливе значення для цифрової трансформації будівельної галузі України.

Розроблено концептуальну модель п'ятирівневої системи контролю якості архітектурно-конструктивних BIM-моделей, що базується на принципах системного підходу та теорії надійності складних систем. Модель інтегрує геометричну верифікацію, архітектурно-планувальну перевірку, конструктивну валідацію, інтеграційну оцінку систем та експертну перевірку безпеки, забезпечуючи послідовну деталізацію контролю від загальних геометричних характеристик до специфічних нормативних вимог. Кожен рівень функціонує як незалежний фільтр, що виявляє та усуває специфічний тип помилок або невідповідностей, водночас передаючи перевірену інформацію на наступний рівень для більш детального аналізу.

Науковою новизною дослідження є обґрунтування теоретичних засад концепції «нормативного плюралізму» у BIM-середовищі, що дозволяє одночасно враховувати національні будівельні норми, міжнародні стандарти та локальні специфікації при контролі якості проєктних рішень. Це принципово відрізняється від існуючих міжнародних підходів, орієнтованих на високо стандартизовані середовища з розвинутою BIM-культурою, та враховує специфіку перехідного стану української будівельної галузі.

Створено методологію інтегрованого контролю якості, що поєднує автоматизовані алгоритми перевірки з експертною оцінкою та включає матрицю відповідності рівнів деталізації (LOD) українським державним будівельним нормам на різних стадіях проєктування. Розроблено алгоритм автоматизованої перевірки відповідності, що поєднує правило-орієнтовані методи з елементами машинного навчання та включає низку елементів перевірки, структурованих відповідно до розділів ДБН.

Визначено правові механізми розподілу відповідальності між учасниками BIM-проектування з урахуванням специфіки багаторівневого контролю. Розроблено матрицю відповідальності, що розподіляє компетенції між BIM-менеджером, архітектором, конструктором, інженером та експертом на кожному рівні контролю якості, базуючись на принципі розподіленої відповідальності з чітким визначенням сфер компетенції кожного учасника проєктного процесу. Обґрунтовано введення нової ролі BIM-координатора, який несе відповідальність за цілісність загальної моделі проєкту та координацію між різними дисциплінами.

Проведений компаративний аналіз міжнародного досвіду виявив відсутність universal системи контролю якості, яка б одночасно забезпечувала високий рівень автоматизації та адаптивність до різних нормативних середовищ. Сінгапурська система CORENET демонструє найвищий рівень автоматизації, однак має обмежену адаптивність до інших нормативних баз, що робить її практично непридатною для прямого впровадження в українських умовах. Американський і британський досвід показує середній рівень автоматизації з акцентом на стандартизації процесів, проте ці системи також слабо адаптовані до європейських будівельних практик. Розроблена методологія забезпечує оптимальний баланс між рівнем автоматизації та адаптивністю до національних норм, що обґрунтовує необхідність створення власної системи для українських умов.

Практичне значення дослідження полягає у створенні основи для системної цифрової трансформації будівельної галузі України з урахуванням національних особливостей та

нормативно-правових вимог. Розроблена методологія особливо актуальна в контексті післявоєнної реконструкції держави, коли потреба у швидкому та якісному проектуванні є критично важливою для відновлення зруйнованої інфраструктури. Впровадження багаторівневої системи контролю якості сприятиме підвищенню безпеки будівель, покращенню якості проектних рішень і зміцненню конкурентоспроможності українських проектних організацій на міжнародному ринку.

Перспективи подальших досліджень включають інтеграцію з технологіями штучного інтелекту для підвищення точності автоматизованої перевірки, розширення бібліотеки правил перевірки, створення мобільних додатків для польової верифікації та розроблення системи цифрових двійників для експлуатаційного контролю. Стратегічним напрямом є формування єдиної цифрової платформи контролю якості BIM-моделей, що забезпечить стандартизацію процедур і підвищить загальний рівень якості проектування в будівельній галузі України.

Список літератури

1. Про затвердження Методики проведення обстеження та оформлення його результатів : наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 06.08.2022 № 144. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0898-22#Text> (дата звернення: 18.09.2025).
2. Про схвалення Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні та затвердження плану заходів з її реалізації : розпорядження Кабінету Міністрів України від 17.02.2021 № 152-р URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/152-2021-p> (дата звернення: 18.09.2025).
3. Demian, P. BIM Implementation in Post-War Reconstruction of Ukraine / P. Demian, T. M. Hassan, O. Kalmykov, I. Demianenko, R. Makarov. *Buildings*. 2024. Vol. 14, No. 11. Article 3495. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14113495>.
4. Solihin, W. BIM-based automated rule-checking in the AECO industry: Learning from semiconductor manufacturing / W. Solihin, Z. Liu, Y. Lu, L. Wei. *Automation in Construction*. 2024. Vol. 162. Article 105406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105406>.
5. Wang, W.-C. Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support / W.-C. Wang, S.-W. Weng, S.-H. Wang, C.-Y. Chen. *Automation in Construction*. 2014. Vol. 37. P. 68–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.009>.
6. Rehman, I. U. Systematic review of 4D BIM benefits in construction projects / I. U. Rehman, K. M. Mazher, I. Y. Wuni. *Results in Engineering*. 2025. Vol. 28. Article 107091. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107091>.
7. Zhou, D. Innovative BIM technology application in the construction management of highway / D. Zhou, B. Pei, X. Li [et al.]. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Article 15298. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66232-5>.
8. Vahidi, J. Optimizing construction scheduling using the sine cosine algorithm (SCA) with building information modeling (BIM) / J. Vahidi, S. M. Golmaei. *Results in Engineering*. 2025. Vol. 28. Article 107100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107100>.
9. Yilmaz, M. Multi-objective time–cost trade-off optimization for the construction scheduling with Rao algorithms / M. Yilmaz, T. Dede. *Structures*. 2023. Vol. 48. P. 798–808. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.01.006>.
10. Hryhorovskiy P., Osadcha I., Jurelionis A., Basanskyi V., Hryhorovskiy A. A BIM-Based Method for Structural Stability Assessment and Emergency Repairs of Large-Panel Buildings Damaged by Military Actions and Explosions: Evidence from Ukraine. *Buildings*. 2022. Vol. 12, No 1817. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12111817>.
11. Тугай, О. Загальний план і фази впровадження BIM-концепції у будівельній галузі / О. Тугай, В. Поколенко, А. Єсипенко, О. Дубинка. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2021. Т. 1, № 47. С. 3–14. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47\(1\).3-14](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47(1).3-14).
12. Кушнір, С. І. Застосування BIM-технологій для моделювання циклу будівельного проекту та адміністрування його середовищем / С. І. Кушнір, О. А. Бондар, В. О. Поколенко, І. М.

Якимчук, О. М. Хоменко. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2019. № 15. С. 26–33. DOI: <https://doi.org/10.15802/btrp2019/172376>.

13. Левченко, Н. М. Реконструкція будівель з використанням BIM технологій при відновленні міст в Україні / Н. М. Левченко, П. С. Бейнер, Н. В. Бейнер. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2022. № 4 (99). С. 64–70. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.PMHTM.2413.271222.64.912>.

References

1. Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine (2022). Order No. 144 «On approval of the Methodology for conducting surveys and documenting their results» dated August 6, 2022. Available at: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0898-22#Text> (accessed September 18, 2025) [in Ukrainian].

2. Cabinet of Ministers of Ukraine (2021). Ordinance No. 152-r «On approval of the Concept for implementation of Building Information Modeling (BIM) technologies in Ukraine and approval of the action plan for its implementation» dated February 17, 2021. Available at: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/152-2021-p> (accessed September 18, 2025) [in Ukrainian].

3. Demian, P., Hassan, T. M., Kalmykov, O., Demianenko, I., & Makarov, R. (2024). BIM Implementation in Post-War Reconstruction of Ukraine. *Buildings*, 14(11), 3495. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14113495> [in English].

4. Solihin, W., Liu, Z., Lu, Y., & Wei, L. (2024). BIM-based automated rule-checking in the AECO industry: Learning from semiconductor manufacturing. *Automation in Construction*, 162, 105406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105406> [in English].

5. Wang, W.-C., Weng, S.-W., Wang, S.-H., & Chen, C.-Y. (2014). Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support. *Automation in Construction*, 37, 68–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.009> [in English].

6. Rehman, I.U., Mazher, K.M., & Wuni, I.Y. (2025). Systematic review of 4D BIM benefits in construction projects. *Results in Engineering*, 28, 107091. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107091> [in English].

7. Zhou, D., Pei, B., Li, X., et al. (2024). Innovative BIM technology application in the construction management of highway. *Scientific Reports*, 14, 15298. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66232-5> [in English].

8. Vahidi, J., & Golmaei, S.M. (2025). Optimizing construction scheduling using the sine cosine algorithm (SCA) with building information modeling (BIM). *Results in Engineering*, 28, 107100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107100> [in English].

9. Yılmaz, M., & Dede, T. (2023). Multi-objective time–cost trade-off optimization for the construction scheduling with Rao algorithms. *Structures*, 48, 798–808. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.01.006> [in English].

10. Hryhorovskiy, P., Osadcha, I., Jurelionis, A., Basanskyi, V., & Hryhorovskiy, A. (2022). A BIM-Based Method for Structural Stability Assessment and Emergency Repairs of Large-Panel Buildings Damaged by Military Actions and Explosions: Evidence from Ukraine. *Buildings*, 12(11), 1817. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12111817> [in English].

11. Tugay, O., Pokolenko, V., Yesypenko, A., & Dubynka, O. (2021). General plan and phases of BIM concept implementation in the construction industry. *Ways to Improve Construction Efficiency*, 1(47), 3–14. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47\(1\).3-14](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47(1).3-14) [in Ukrainian].

12. Kushnir, S. I., Bondar, O. A., Pokolenko, V. O., Yakymchuk, I. M., & Khomenko, O. M. (2019). Application of BIM technologies for modeling the construction project cycle and administration by its environment. *Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice*, 15, 26–33. DOI: <https://doi.org/10.15802/btrp2019/172376> [in Ukrainian].

13. Levchenko, N. M., Beiner, P. S., & Beiner, N. V. (2022). Building reconstruction using BIM technologies in urban restoration in Ukraine. *Metallurgy and Heat Treatment of Metals*, 4(99), 64–70. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.PMHTM.2413.271222.64.912> [in Ukrainian].

Ivan Smadych, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-7964-5730>

Oleksii Yaschenko, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-6181-6597>

Tetiana Skrypyn, <https://orcid.org/0000-0002-4394-8294>

Mykola Kapak, <https://orcid.org/0009-0002-0138-8126>

Yuriy Berezovskyi, <https://orcid.org/0009-0004-5139-4676>

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

METHODOLOGICAL APPROACHES AND REGULATORY-LEGAL ASPECTS OF IMPLEMENTING A QUALITY CONTROL SYSTEM FOR ARCHITECTURAL-STRUCTURAL SOLUTIONS IN BIM DESIGN

Abstract

Introduction. The rapid development of BIM technologies in the construction industry is accompanied by growing requirements for the quality of architectural-structural models, however, the lack of a systematic approach to multi-level verification leads to design errors, conflicts between systems, and non-compliance with regulatory requirements. Integration of BIM modeling with building codes and legal standards is critically important for ensuring safety, structural integrity, and compliance with regulatory requirements.

The research objective is to develop a scientifically grounded methodology for a multi-level quality control system for architectural-structural BIM models, taking into account the current regulatory-legal framework of Ukraine and international BIM design standards.

Materials and methods. A systematic approach was applied to create an automated BIM model quality assessment system, including a data extraction and analysis module, data storage module, and visualization module. Comparative analysis of international automated compliance checking (ACC) systems for structural calculation codes in BIM environment, interdisciplinary coordination process modeling, expert assessment, and validation on real projects were used. Results. A five-level quality control system methodology was developed, combining: (1) automated geometric verification and collision detection between architectural and structural elements; (2) verification of architectural-planning solutions according to DBN, including spatial characteristics, accessibility, and constructability; (3) validation of structural solutions in accordance with structural calculation codes using machine-readable rules; (4) comprehensive assessment of architectural-structural systems integration for compliance with design requirements; (5) expert verification of compliance with special regulatory provisions and safety standards. Mechanisms for IFC openBIM model federation were defined to improve interoperability between architectural and structural project sections.

Conclusions. This research created for the first time an integrated 3D BIM model quality assessment system using specialized modules for each discipline and automatic information extraction for compliance assessment with configured checklists. A matrix of correspondence between levels of development (LOD) and Ukrainian building codes at different design stages was developed. A methodology for integrating building code compliance checking directly into the BIM modeling process with visualization and simulation capabilities for compliance requirements was proposed.

The proposed methodology provides a systematic interdisciplinary approach to quality control of architectural-structural BIM models and contributes to improving construction design efficiency while fully complying with regulatory-legal requirements, creating a foundation for digital transformation of Ukraine's construction industry.

Keywords: BIM technologies, quality control methodology, architectural-structural design, multi-level verification system, regulatory-legal regulation, Ukrainian building codes, building information modeling.

УДК 69.003:620.9:72.012.3

Василишин В. Я., канд. техн. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-0367-1198>Василишин О. О., <https://orcid.org/0009-0001-5914-5293>Довган С. І., <https://orcid.org/0009-0005-2121-4918>*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна*

СУЧАСНІ БУДІВЕЛЬНІ МАШИНИ ЯК ЕЛЕМЕНТ ІННОВАЦІЙНОГО АРХІТЕКТУРНОГО ПРОЦЕСУ

Анотація

Вступ. Сучасний архітектурно-будівельний процес зазнає суттєвих змін під впливом цифрової трансформації, автоматизації та розвитку інноваційних технологій. У цих умовах будівельні машини перестають бути виключно технічним засобом виконання робіт і набувають ролі активного елемента архітектурного процесу. Вони поєднують технічні, екологічні та естетичні аспекти розвитку будівництва, визначаючи нові підходи до проектування, зведення й експлуатації архітектурних об'єктів.

Проблематика дослідження. Незважаючи на активний розвиток автоматизованих, роботизованих і інтелектуальних будівельних систем, у наукових дослідженнях недостатньо розкрито їхню роль як чинника формування інноваційного архітектурного мислення. Потребує поглибленого аналізу вплив сучасних будівельних машин на формоутворення, конструктивну логіку, екологізацію та інклюзивність архітектурного середовища, особливо в умовах сталого розвитку міст і післявоєнного відновлення зруйнованих територій України.

Мета дослідження Метою статті є дослідження ролі сучасних будівельних машин у формуванні інноваційного архітектурного процесу та визначення їхнього впливу на технічні, екологічні й естетичні аспекти розвитку сучасного будівництва.

Мета і завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети у статті передбачено вирішення таких завдань:

1. Дослідити еволюцію будівельної техніки від традиційних механічних систем до високотехнологічних автоматизованих і роботизованих комплексів;
2. Проаналізувати вплив технічних інновацій на принципи проектування, зведення та експлуатації архітектурних об'єктів;
3. Визначити основні тенденції інтеграції будівельних машин у середовище BIM та концепцію Smart Construction;
4. Розкрити значення параметричного проектування, 3D-друку, автоматизованого монтажу та дистанційного управління технікою;
5. Оцінити екологічні та соціальні аспекти застосування сучасних будівельних машин у контексті сталого розвитку та відновлення інфраструктури України.

Методи досліджень і результати. У дослідженні застосовано методи аналізу й узагальнення наукових джерел, системний і структурно-функціональний підходи, порівняльний аналіз сучасних технологічних рішень у будівельній галузі. У результаті встановлено, що інтеграція будівельних машин із цифровими архітектурними моделями в режимі реального часу забезпечує підвищення ефективності, точності та безпеки будівельного процесу. Виявлено, що застосування параметричного проектування, адитивних технологій і автоматизованих систем монтажу сприяє формуванню нової техно-архітектурної культури, зменшенню енергоспоживання та скороченню будівельних відходів. Доведено, що сучасні будівельні машини відіграють важливу роль у створенні інклюзивного, адаптивного та енергоефективного міського середовища.

Висновки. Сучасні будівельні машини є не лише технічним інструментом реалізації архітектурного задуму, а й концептуальним елементом архітектури, який формує нові межі архітектурного мислення. Їх використання визначає можливості формоутворення, конструктивної логіки та сприяє впровадженню принципів сталого розвитку в сучасному міському середовищі.

Отримані результати підтверджують доцільність розвитку міждисциплінарної співпраці архітекторів, інженерів і фахівців з автоматизації, а також необхідність удосконалення освітніх і наукових програм для підготовки кадрів, здатних працювати у високотехнологічному будівельному середовищі, зокрема в умовах післявоєнного відновлення України.

Ключові слова: архітектура, будівельні машини, BIM, інноваційний процес, параметричне проєктування, сталий розвиток, роботизація, Smart Construction.

Вступ

Сучасна архітектура вже давно перестала бути лише мистецтвом просторової композиції. Вона стала високотехнологічною галуззю, тісно пов'язаною з інженерією, цифровими технологіями, екологією та механізацією будівництва.

Одним із найважливіших чинників еволюції архітектурного процесу є розвиток будівельних машин, які не лише забезпечують матеріалізацію проєктів, а й формують нові принципи проєктування, монтажу, реконструкції та утримання споруд.

Сьогодні будівельна техніка — це не просто набір механізмів, а елемент інноваційної системи, яка інтегрується з архітектурними рішеннями, технологіями інформаційного моделювання (BIM), концепціями сталого розвитку, цифрового будівництва, автоматизації та роботизації процесів. Розвиток архітектури XXI століття нерозривно пов'язаний із впровадженням сучасних підйомно-транспортних машин, 3D-друку, роботизованих кранів, автономних будівельних комплексів, які змінюють не лише технологію спорудження, а й саму логіку проєктного мислення. Відповідно, будівельні машини стають активними учасниками архітектурного процесу, впливаючи на формоутворення, просторову організацію, конструктивну логіку й екологічні параметри споруд.

Метою цієї статті є дослідження ролі сучасних будівельних машин як складової інноваційного архітектурного процесу, аналіз їхнього впливу на еволюцію проєктних технологій, організацію будівництва та формування нової парадигми взаємодії техніки й архітектури.

Будівельна техніка в історичній еволюції архітектури

Будівельні машини супроводжують розвиток архітектури від найдавніших часів. У Давньому Єгипті й Месопотамії будівництво монументальних споруд вимагало розроблення первинних механізмів для підйому блоків, пересування кам'яних плит, створення риштувань. Уже тоді з'явилися прототиби сучасних лебідок, похилих рамп і котків. У Середньовіччі разом із появою готичних соборів розвивалися крани з колісними приводами, дерев'яні домкрати, механічні підйомники, що забезпечували точність і висоту зведення. У добу Відродження, завдяки винаходам Леонардо да Вінчі, розпочалася інженерна механізація праці — з'явилися проєкти універсальних підйомних механізмів, баштових кранів і систем блоків. XIX століття стало епохою індустріальної механізації будівництва: парові машини, металеві крани, бетонозмішувачі, екскаватори зробили можливим зведення залізничних мостів, перших хмарочосів. Саме тоді архітектура стала залежною від техніки, а інженерна логіка — частиною її художнього образу (приклад — Ейфелева вежа, 1889 р.).

У XX столітті розвиток будівельних машин прискорився завдяки електричним і гідравлічним приводам, масовому виробництву будівельних кранів, екскаваторів, бетонних насосів. Архітектура модернізму — з її прагненням до великого масштабу, відкритих прольотів і скляних фасадів — стала можливою лише завдяки технічній потужності механізмів.

У XXI столітті еволюція машин перейшла в новий вимір: цифровий, автоматизований і роботизований.

Використання комп'ютерного керування, GPS-навігації, лазерних систем позиціонування, штучного інтелекту дозволяє будівельним машинам працювати автономно, точно й екологічно. Відтепер техніка — не просто інструмент, а елемент архітектурного проектування, який визначає можливості реалізації інноваційних форм.

Технічні інновації та їхній вплив на архітектурний процес

Інноваційні зміни в будівельній техніці сьогодні охоплюють кілька ключових напрямів:

1. Роботизація процесів.

Використання роботів для мурування, зварювання, монтажу фасадів і нанесення оздоблювальних матеріалів дозволяє досягти високої точності та швидкості. Наприклад, робот SAM (Semi-Automated Mason) може викладати до 3 000 цеглин на день — утричі більше, ніж людина.

2. 3D-друк будівельних конструкцій.

Друкарські установки типу Contour Crafting чи COBOD BOD2 формують цілі будівлі з бетонних сумішей. Ця технологія вже використовується у Нідерландах, Дубаї, США. Вона відкриває для архітекторів нові можливості — вільні форми, безвідходність, локальне виготовлення.

3. Автоматизовані крани і підйомники.

Сучасні системи Tower Crane Automation дозволяють виконувати точне позиціонування елементів із мінімальною участю оператора. Це особливо важливо для монтажу складних архітектурних структур — куполів, фасадів, консольних елементів.

4. Інтелектуальні системи керування.

Завдяки сенсорам, лазерним сканерам, штучному інтелекту будівельні машини адаптуються до змінних умов: коригують траєкторію, уникають перешкод, оптимізують витрати палива.

5. Екологічні технології.

Використання електричних екскаваторів, гібридних кранів, енергоощадних гідравлічних систем відповідає принципам «зеленої архітектури» і знижує вуглецевий слід будівництва. Усі ці інновації безпосередньо впливають на проєктну логіку архітектора. Тепер архітектурна форма не обмежується можливостями ручної праці чи стандартних технологій. Навпаки — проєктант мислить категоріями технологічної здійсненності: він передбачає, які машини можуть реалізувати задум, які процеси автоматизуються, які параметри задаються цифрово. Тому сучасна будівельна техніка — це проєктний партнер архітектора, що впливає на формоутворення не менше, ніж конструктив чи матеріал.

Цифрові технології в управлінні будівельними машинами

Інформаційні технології стали фундаментом інновацій у будівельній механіці. Сьогодні майже всі сучасні машини оснащені цифровими сенсорними системами, GPS-навігацією, дистанційним керуванням і підключенням до хмарних баз даних. Однією з ключових тенденцій є інтеграція будівельної техніки у BIM-середовище (Building Information Modeling).

Це означає, що машини, крани, екскаватори, бетоновози й інше обладнання підключаються до інформаційної моделі будівлі, отримуючи дані про об'єкт, обсяги матеріалів, послідовність монтажу. Архітектори, інженери й оператори працюють із єдиною моделлю, що забезпечує узгодженість і оптимізацію процесу. Крім того, впроваджуються системи віртуального моделювання будівельної техніки. За допомогою технологій VR / AR (віртуальної та доповненої реальності) інженери можуть перевіряти маршрути руху кранів, доступність монтажних зон, можливість підйому вантажів до складних ділянок. Це дозволяє зменшити аварійність і підвищити точність реалізації архітектурних задумів. Впровадження штучного інтелекту (AI) у керування машинами відкриває ще ширші перспективи. Алгоритми машинного навчання прогнозують потребу в техніці, оптимізують логістику будівництва, автоматично розподіляють ресурси.

Таким чином, відбувається перехід від традиційного «механізованого будівництва» до «розумного будівництва» (Smart Construction), у якому техніка стає частиною інформаційної архітектури проєкту.

Сучасні будівельні машини у контексті сталого розвитку

Поняття сталого розвитку у будівництві передбачає мінімізацію впливу на довкілля, економію енергоресурсів, використання екологічних матеріалів та впровадження технологій, що знижують вуглецеві викиди. Будівельні машини, як безпосередні учасники процесу спорудження, відіграють у цьому ключову роль.

Сучасні виробники техніки активно впроваджують енергоефективні та екологічно безпечні рішення:

- електричні екскаватори (Volvo EC230 Electric);
- гібридні крани (Liebherr LBX series);
- машини з рекуперацією енергії під час гальмування;
- використання біопалива та систем автоматичного вимкнення двигунів.

Застосування таких технологій дозволяє не лише зменшити споживання енергії, а й оптимізувати архітектурний процес, адже будівельний майданчик стає чистішим, тихішим і безпечнішим для працівників і міського середовища. У перспективі це відкриває можливість створення будівель у межах щільної міської забудови без негативного впливу на екологію. Крім того, новітні будівельні машини підтримують концепцію замкненого циклу будівництва, у межах якого зменшуються обсяги відходів. Використання роботизованих демонтажних установок, дробильних машин і мобільних переробних комплексів дозволяє повторно використовувати матеріали, що відповідає принципам Circular Economy.

Таким чином, сучасна будівельна техніка є інструментом екологізації архітектури. Інноваційні рішення сприяють не лише ефективності зведення, але й реалізації концепції «зеленої архітектури» як складової глобальної екологічної стратегії.

Архітектурно-технічна взаємодія у формуванні нових проєктних підходів

Архітектурна форма сьогодні народжується не лише у творчій уяві автора, а й у діалозі з технічними можливостями. Будівельна машина — це не просто виконавець, а технологічний партнер архітектора, який розширює межі можливого. Це особливо помітно в об'єктах параметричної архітектури, де форми створюються за допомогою алгоритмічного моделювання, а потім реалізуються завдяки високоточним механізмам. Без використання спеціалізованих кранів, гнучких монтажних систем і роботизованих установок споруди на кшталт Heydar Aliyev Center у Баку (арх. Заха Хадід) або The Edge у Амстердамі були б неможливими.

Водночас сама логіка проєктування змінюється. Якщо раніше архітектор підпорядковував форму будівлі статичним технологіям, то тепер він створює форму, спираючись на потенціал динамічних машин.

Наприклад, використання мобільних 3D-принтерів дозволяє створювати складні органічні оболонки, що самі стають «матеріалізованою геометрією алгоритму».

Виникає новий тип проєктної взаємодії:

- архітектор мислить параметрами технології;
- інженер машинобудівного профілю — параметрами форми;
- результатом є інтегрований проєкт, де конструкція, форма й технологія є єдиним процесом.

Таке мислення наближає архітектуру до промислового дизайну, де машина є не лише інструментом, а й частиною образу (приклад — архітектура хай-теку). Сучасні фасадні системи, що збираються кранами з модулів, або дахові конструкції, що монтуються за допомогою пневматичних механізмів, демонструють єдність техніки та естетики.

Освітні та наукові аспекти взаємодії архітекторів і механіків

Міждисциплінарність є фундаментальною умовою інноваційного розвитку архітектури. Сьогодні підготовка архітекторів неможлива без розуміння можливостей сучасної техніки, так само як інженери-механіки мають володіти знаннями про архітектурні принципи проєктування.

В українських університетах дедалі активніше впроваджуються спільні освітні програми, зокрема:

- «Архітектура та будівельні технології»;
- «Підйомно-транспортні та будівельні машини і обладнання»;
- «Інноваційне проектування середовища».

Спільні лабораторії дозволяють студентам експериментувати з реальними процесами: моделювати рух кранів у BIM, розраховувати параметри підйому конструкцій, оптимізувати технологічні карти будівництва. Такий підхід формує новий тип спеціаліста — архітектора-технолога, який мислить системно та розуміє взаємозв'язок естетики, інженерії й механіки.

Крім того, співпраця архітекторів та механіків сприяє розвитку наукових досліджень у сферах:

- автоматизації будівництва;
- роботизованого монтажу архітектурних систем;
- створення адаптивних фасадів із рухомими елементами;
- інтеграції сенсорних систем у будівельні машини для архітектурного моніторингу.

Такі дослідження стають частиною нової наукової парадигми — «інтегрованої архітектурної інженерії», що поєднує проектування, технології та експлуатацію споруди в єдиному цифровому циклі.

Український контекст: виклики відновлення та інновації

Сьогодні Україна переживає безпрецедентний етап відновлення зруйнованих територій. У цих умовах будівельна техніка стає ключовим ресурсом національної реконструкції. Використання сучасних машин — швидких, мобільних, енергоефективних — дозволяє не лише відбудовувати інфраструктуру, а й формувати нову архітектурну якість середовища.

Роботизовані комплекси для демонтажу аварійних споруд, автономні дрони для моніторингу об'єктів, пересувні бетонні заводи — це вже реальність, яка входить у практику українського будівництва. Такі технології забезпечують швидкість, безпеку й економічність процесів, що особливо важливо в умовах воєнного та післявоєнного періоду.

Водночас, інтеграція сучасної техніки в архітектурний процес сприяє реалізації інклюзивних і екологічних стандартів: будівельні майданчики можуть бути малошумними, безпечними, із контролем пилу та відходів; зводяться об'єкти для людей з інвалідністю, з використанням машин для точного монтажу елементів без ручних ризиків.

Україна має значний потенціал у сфері машинобудування, тож розвиток співпраці між архітектурними та інженерними факультетами, між університетами та виробниками техніки, може стати потужним каталізатором відновлення. Інтеграція цих галузей — це не лише технічна необхідність, а стратегічна умова сталого розвитку країни.

Висновки

Сучасні будівельні машини є невід'ємною частиною інноваційного архітектурного процесу. Їхній розвиток визначає не лише ефективність і безпечність будівництва, а й саму природу архітектурного мислення. Від ручної праці й парових механізмів людство перейшло до роботизованих систем, що взаємодіють із цифровими моделями, штучним інтелектом і екологічними технологіями. Вплив будівельної техніки на архітектуру можна окреслити у трьох площинах:

1. Технологічна: машини визначають межі технічної здійсненності, формують нові типи конструкцій і матеріалів.
2. Концептуальна: інноваційна техніка розширює уявлення про форму, дозволяючи реалізовувати складні геометрії й адаптивні структури.

3. Соціальна та екологічна: енергоефективні, безпечні та автоматизовані машини забезпечують сталість розвитку міст і комфортне середовище для людини.

Інтеграція архітектурного та машинобудівного знання відкриває шлях до нової парадигми — архітектури технологічного гуманізму, де техніка служить не лише ефективності, а й людині, екології та культурі.

Список літератури

1. Васишин В. Я., Васишин Я. В. Архітектурне матеріалознавство. *Архітектурне матеріалознавство*. Збірник тестових завдань. Івано-Франківськ. 2025. 73 с.
2. Васишин В. Я., Васишин Я. В. Конструкції будівель та споруд. Розрахунок залізобетонних конструкцій на міцність. Практикум. Івано-Франківськ, 2025. 65 с.
3. Яценко О. Ф., Васишин В. Я., Данилюк Н. Я., Макогін О. В., Чеверда А. М. Конструкції будівель і споруд. Навчальний посібник. Івано-Франківськ, 2025. 137 с.
4. Васишин В. Я., Васишин Я. В. Вплив дуальної освіти на формування професійних компетентностей майбутніх інженерів в Україні. Педагогічна академія: *Наукові записки*. № 20(2025). С. 1–22.
5. Васишин В. Я. Нарисна геометрія – основа технічного розвитку студентів архітекторів та будівельників *ScientificWorldJournal*. Issue № 33, September, 2025. Ref. BG33-097 September 22, 2025.
6. Роль інженерної графіки у навчанні студентів-механіків. *ScientificWorldJournal*. Вип. № 33, 2025. Посилання BG33-097, 22 вересня 2025 р.
7. Васишин В. Я., Васишин Я. В. Роль інженерної графіки для підготовки студентів механічних спеціальностей. The 10th International scientific and practical conference «Future of science: innovations and perspectives» (August 11-13, 2025) SSPG Publish, Stockholm, Sweden. 2025. 148 p. (P. 45–50).
8. Васишин В. Я., Довган С. І. Нарисна геометрія та цифрове моделювання у формуванні енергетичного потенціалу сучасного університету. Міжнародний форум «Нафтогазова енергетика 2025», 30 жовтня – 01 листопада 2025 року, м. Яремче.

References

1. Vasylyshyn V. Ia., Vasylyshyn Ya. V. Arkhitekturne materialoznavstvo. *Arkhitekturne materialoznavstvo* (Architectural materials science. Architectural materials science). Zbirnyk testovykh zavdan. Ivano-Frankivsk. 2025. 73 p. [in Ukrainian].
2. Vasylyshyn V. Ia., Vasylyshyn Ya. V. Konstruktsii budivel ta sporud. Rozrakhunok zalizobetonnykh konstruktsii na mitsnist (Constructions of buildings and structures. Calculation of reinforced concrete structures for strength). Praktykum. Ivano-Frankivsk, 2025. 65 p. [in Ukrainian].
3. Yashchenko O. F., Vasylyshyn V. Ia., Danyliuk N. Ia., Makohin O. V., Cheverda A. M. Konstruktsii budivel i sporud (Constructions of buildings and structures). Navchalnyi posibnyk. Ivano-Frankivsk, 2025. 137 p. [in Ukrainian].
4. Vasylyshyn V. Ia., Vasylyshyn Ya. V. Vplyv dualnoi osvity na formuvannia profesiynykh kompetentnostei maibutnykh inzheneriv v Ukraini. Pedagogichna akademiia (The influence of dual education on the formation of professional competencies of future engineers in Ukraine): *Naukovi zapysky* No. 20(2025)ю P. 1–22 [in Ukrainian].
5. Vasylyshyn V. Ia. Narysna heometriia — osnova tekhnichnoho rozvytku studentiv arkhitektoriv ta budivelnykiv (Descriptive geometry — the basis of technical development of students of architects and builders) *ScientificWorld Journal*. Bulgaria. Svishtov. Issue No. 33, September, 2025. Ref. BG33-097 September 22, 2025 [in Ukrainian].

6. Rol inzhenernoi hrafiky u navchanni studentiv-mekhanikiv (The role of engineering graphics in the training of mechanical students) ScientificWorldJournal. Vyp. No. 33, veresen 2025. Posylannia BG33-097, 22 veresnia 2025 r. [in Ukrainian].

7. Vasylyshyn V. Ia., Vasylyshyn Ya. V. Rol inzhenernoi hrafiky dlia pidhotovky studentiv mekhanichnykh spetsialnostei (The role of engineering graphics in the training of students of mechanical specialties. The 10th International scientific and practical conference «Future of science: innovations and perspectives»). The 10th International scientific and practical conference «Future of science: innovations and perspectives» (August 11-13, 2025) SSPG Publish, Stockholm, Sweden. 2025. 148 p. (P. 45–50) [in Ukrainian].

8. Vasylyshyn V. Ia., Dovhan S. I. Narysna heometriia ta tsyfrove modeliuvannia u formuvanni enerhetychnoho potentsialu suchasnoho universytetu (Descriptive geometry and digital modeling in the formation of the energy potential of a modern university). Mizhnarodnyi forum «Naftohazova enerhetyka 2025», 30 zhovtnia — 01 lystopada 2025 roku, m. Yaremche [in Ukrainian].

Vitalii Vasylyshyn, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-0367-1198>

Olga Vasylyshyn, <https://orcid.org/0009-0001-5914-5293>

Sofia Dovhan, <https://orcid.org/0009-0005-2121-4918>

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

MODERN CONSTRUCTION MACHINES AS AN ELEMENT OF AN INNOVATIVE ARCHITECTURAL PROCESS

Abstract

Introduction. The modern architectural and construction process is undergoing significant changes under the influence of digital transformation, automation and the development of innovative technologies. In these conditions, construction machines cease to be exclusively a technical means of performing work and acquire the role of an active element of the architectural process. They combine technical, environmental and aesthetic aspects of construction development, defining new approaches to the design, construction and operation of architectural objects.

Research issues. Despite the active development of automated, robotic and intelligent construction systems, scientific research has not sufficiently revealed their role as a factor in the formation of innovative architectural thinking. The impact of modern construction machines on the formation of forms, constructive logic, greening and inclusiveness of the architectural environment requires in-depth analysis, especially in the context of sustainable urban development and post-war reconstruction of destroyed territories of Ukraine.

Research purpose. The purpose of the article is to study the role of modern construction machines in the formation of an innovative architectural process and determine their impact on the technical, environmental and aesthetic aspects of the development of modern construction.

Purpose and objectives of the study. To achieve the goal, the article provides for the solution of the following tasks:

1. To investigate the evolution of construction machinery from traditional mechanical systems to high-tech automated and robotic complexes;
2. To analyze the impact of technical innovations on the principles of design, construction and operation of architectural objects;
3. To identify the main trends in the integration of construction machinery into the BIM environment and the Smart Construction concept;

4. To reveal the significance of parametric design, 3D printing, automated assembly and remote control of equipment;

5. To assess the environmental and social aspects of the use of modern construction machinery in the context of sustainable development and restoration of Ukraine's infrastructure.

Research methods and results. The study used methods of analysis and generalization of scientific sources, systemic and structural-functional approaches, and comparative analysis of modern technological solutions in the construction industry. As a result, it was found that the integration of construction machines with digital architectural models in real time provides increased efficiency, accuracy and safety of the construction process. It was found that the use of parametric design, additive technologies and automated assembly systems contributes to the formation of a new techno-architectural culture, reducing energy consumption and reducing construction waste. It is proven that modern construction machines play an important role in creating an inclusive, adaptive and energy-efficient urban environment.

Conclusions. Modern construction machines are not only a technical tool for implementing an architectural design, but also a conceptual element of architecture, which forms new boundaries of architectural thinking. Their use determines the possibilities of form formation, constructive logic and contributes to the implementation of the principles of sustainable development in the modern urban environment.

The results obtained confirm the feasibility of developing interdisciplinary cooperation between architects, engineers, and automation specialists, as well as the need to improve educational and scientific programs to train personnel capable of working in a high-tech construction environment, in particular in the conditions of post-war reconstruction of Ukraine.

Keywords: construction machinery, architecture, innovation process, BIM, sustainable development, robotics, parametric design, Smart Construction.

Чеверда А. М., канд. арх., доцент, <https://orcid.org/0009-0000-2812-6252>

Смадич І. П., канд. арх., доцент, <https://orcid.org/0000-0001-7964-5730>

Точена С. Г., <https://orcid.org/0000-0002-6300-7248>

Смельянова О. В., <https://orcid.org/0000-0003-3244-7643>

Данилюк Н. Я., <https://orcid.org/0009-0003-8916-7690>

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

ВІМ-ПРОЄКТУВАННЯ ЯК ПОЄДНАННЯ БУДІВЕЛЬНО-АРХІТЕКТУРНОЇ ФІЗИКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА

Анотація

Вступ. Стрімкий розвиток ВІМ-технологій у будівельній галузі супроводжується дедалі більшими вимогами до якості архітектурно-конструктивних моделей, однак відсутність системного підходу до багаторівневої перевірки призводить до проєктних помилок, колізій між системами та невідповідності нормативним вимогам. Інтеграція ВІМ-моделювання з будівельними нормами та правовими стандартами є критично важливою для забезпечення безпеки, структурної цілісності та відповідності регуляторним вимогам. Наявні методології контролю якості не забезпечують комплексного врахування взаємодії архітектурних і конструктивних елементів на всіх стадіях проєктування.

Мета дослідження. Розробити науково обґрунтовану методологію багаторівневої системи контролю якості архітектурно-конструктивних ВІМ-моделей з урахуванням чинної нормативно-правової бази України та міжнародних стандартів ВІМ-проєктування.

Матеріали та методи. Застосовано системний підхід до створення автоматизованої системи оцінки якості ВІМ-моделей, що включає модулі витягу / аналізу даних, зберігання та візуалізації. Використано компаративний аналіз міжнародних систем автоматизованої перевірки відповідності (АСС) у ВІМ-середовищі, моделювання міждисциплінарної координації, експертне оцінювання та валідацію на реальних проєктах.

Результати. Розроблено методологію п'ятирівневої системи контролю якості, що поєднує:

- 1) автоматизовану геометричну верифікацію й детекцію колізій;
- 2) перевірку архітектурно-планувальних рішень відповідно до будівельних норм (простір, доступність, конструктивність);
- 3) валідацію конструктивних рішень за структурними розрахунковими нормами на базі машинно-читаємих правил;
- 4) інтеграційну оцінку сумісності систем;
- 5) експертну перевірку спеціальних норм і безпекових стандартів. Окреслено механізми федерації openBIM-моделей IFC для підвищення інтероперабельності.

Висновки. Запропоновано інтегровану систему оцінки якості 3D ВІМ-моделей з автоматичним вилученням інформації під налаштовані контрольні списки. Сформовано матрицю відповідності рівнів розробки (LOD) українським нормам на стадіях проєктування та методику вбудованої код-перевірки у процес ВІМ-моделювання з візуалізацією / симуляцією вимог. Методологія забезпечує системний міждисциплінарний контроль якості та підтримує цифрову трансформацію будівельної галузі України.

Ключові слова: архітектурно-конструктивне проєктування, багаторівнева перевірка, ВІМ-технології, ДБН, контроль якості, нормативно-правове регулювання, openBIM/IFC, ISO 19650.

Вступ

Сучасний етап розвитку будівельної галузі України позначений інтенсивною цифровою трансформацією та потребою швидкої післявоєнної реконструкції. Масштабні руйнування створюють запит на впровадження BIM у процеси відбудови [1]. Прийнята у 2021 році державна Концепція впровадження BIM визначила засади політики, однак практична реалізація наштовхується на бар'єри — кадрові, організаційні, регуляторні [2 – 3]. Відтак, критично необхідна системна методологія контролю якості BIM-моделей, що узгоджує «цифрову» проектну культуру з вимогами державних будівельних норм (ДБН) і міжнародних стандартів.

Мета: Розробити методологію багаторівневого контролю якості архітектурно-конструктивних BIM-моделей, сумісну з українською нормативною базою та кращими практиками.

Завдання:

- 1) проаналізувати регуляторне поле;
- 2) дослідити інтеграцію архітектури й конструкцій у BIM під ДБН;
- 3) запропонувати модель багаторівневого контролю;
- 4) створити матрицю LOD↔ДБН;
- 5) обґрунтувати правовий розподіл відповідальності;
- 6) апробувати підхід.

Методи: системний і компаративний аналіз, процесне моделювання, експертні оцінки, статистична валідація пілотних застосувань.

Глобальні роботи демонструють перехід від локального clash-control до ACC — rule-based перевірок проти кодифікованих норм [4 – 6]. Паралельно розвиваються інтеграції BIM з GIS/IoT, PLM, оптимізацією розкладів і ресурсів [7 – 9]. Український корпус публікацій фокусується на дорожніх картах упровадження, аварійному/екстремному застосуванні BIM та питаннях стандартизації процесів [10 – 13]. Втім, комплексна методика саме архітектурно-конструктивного багаторівневого QA/QC під ДБН досі відсутня.

1. Поняття та еволюція BIM-технологій у будівництві

Технології інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM) являють собою інтегрований процес створення, управління та використання цифрових моделей, які відображають геометричні, фізичні, функціональні та експлуатаційні характеристики будівельних об'єктів протягом усього їхнього життєвого циклу — від концептуального проектування до експлуатації та демонтажу [4]. BIM виходить за межі традиційного 3D-моделювання, забезпечуючи платформу для обміну даними між усіма учасниками проекту, включаючи архітекторів, інженерів, підрядників і власників, що сприяє підвищенню ефективності та зменшенню помилок [7].

Еволюція BIM-технологій розпочалася у 1980-х роках із появою перших програм для 3D-візуалізації, таких як AutoCAD, і поступово перейшла до створення комплексних цифрових двійників будівель у 2000-х роках із появою програмного забезпечення, як-от Autodesk Revit, ArchiCAD і Tekla [2]. Сучасні BIM-платформи підтримують багатовимірне моделювання (4D — час, 5D — витрати, 6D — експлуатація), що дозволяє прогнозувати строки виконання, кошториси та експлуатаційні характеристики [1].

У глобальному контексті BIM став стандартом у країнах із розвиненим будівельним сектором, таких як США, Великобританія та країни ЄС, де його впровадження підтримується державними нормативами, наприклад, стандартами ISO 19650, які визначають принципи управління інформацією у BIM-проектах [8]. В Україні BIM-технології перебувають на етапі становлення, але вже застосовуються в окремих проектах, зокрема в рамках рекомендацій Міністерства розвитку громад та територій України, спрямованих на стандартизацію даних і зменшення помилок у проектуванні [5]. Дослідження показують, що використання BIM скорочує кількість проектних помилок на 15 – 20 % і зменшує тривалість реалізації проектів на 10 – 25 % завдяки автоматизації процесів і покращеній координації між учасниками [6]. У контексті України BIM розглядається як інструмент для підвищення конкурентоспроможності будівельної галузі та гармонізації з європейськими стандартами сталого розвитку [12].

2. Будівельно-архітектурна фізика: ключові аспекти

Будівельно-архітектурна фізика є міждисциплінарною галуззю, що вивчає фізичні процеси, які впливають на функціональність, комфорт і довговічність будівельних об'єктів. Вона охоплює аналіз теплопередачі, акустики, вентиляції, природного та штучного освітлення, а також мультифізичних процесів деградації матеріалів, таких як корозія чи теплові деформації [3]. Ця дисципліна відіграє ключову роль у забезпеченні енергоефективності, зниженні викидів CO₂ та відповідності будівель сучасним екологічним стандартам, зокрема європейським нормам EN 15251, які регулюють параметри внутрішнього середовища [13].

У контексті BIM-проектування будівельно-архітектурна фізика інтегрується через спеціалізовані інструменти симуляції, які дозволяють моделювати фізичні процеси на етапі проектування. Наприклад, програмне забезпечення, таке як EnergyPlus, використовується для оцінки енергоспоживання будівель, а Computational Fluid Dynamics (CFD) — для аналізу повітряних потоків і вентиляційних систем [14]. Дослідження демонструють, що використання BIM для моделювання теплових процесів дозволяє оптимізувати ізоляційні характеристики будівель, знижуючи тепловтрати на 20 – 30 % порівняно з традиційними методами проектування [15].

Акустичний аналіз у BIM-середовищі, реалізований через плагіни до програм, таких як Autodesk Revit, забезпечує відповідність нормам звукоізоляції, що є критично важливим для міських будівель із високим рівнем шумового забруднення [12]. Наприклад, моделювання акустичних параметрів дозволяє прогнозувати поширення звуку в приміщеннях і оптимізувати розміщення звукоізоляційних матеріалів, що підвищує комфорт користувачів [1]. Крім того, інтеграція даних про освітлення у BIM-моделі сприяє розробленню енергоефективних систем природного освітлення, що відповідає стандартам сталого розвитку, таким як LEED або BREEAM [16].

Таким чином, будівельно-архітектурна фізика в поєднанні з BIM-технологіями забезпечує комплексний підхід до проектування, дозволяючи прогнозувати та оптимізувати фізичні характеристики будівель на ранніх етапах, що сприяє зниженню експлуатаційних витрат і підвищенню екологічної стійкості [17].

3. Технологія виробництва в контексті будівництва

Технології виробництва в будівництві переживають трансформацію в бік індустріалізації, що включає широке застосування префабрикації, модульного будівництва та автоматизованих систем, таких як 3D-друк і роботизоване збирання [9]. Префабрикація передбачає виготовлення будівельних елементів, таких як бетонні панелі, сталеві конструкції чи модульні блоки, у контрольованих заводських умовах, що забезпечує вищу точність, зниження залежності від погодних умов і скорочення відходів на будмайданчику [2]. Модульне будівництво, у свою чергу, дозволяє створювати цілісні будівельні модулі, які транспортуються та збираються на місці, значно прискорюючи процес будівництва [21].

BIM-технології відіграють ключову роль у забезпеченні ефективної інтеграції між проєктними даними та виробничими процесами. Вони дозволяють створювати деталізовані цифрові моделі, які використовуються для генерації точних креслень і специфікацій для автоматизованих систем САМ (Computer-Aided Manufacturing), що застосовуються у префабрикації [18]. Наприклад, BIM-моделі забезпечують синхронізацію між проєктними рішеннями та виробничими лініями, що дозволяє виготовляти елементи з точністю до міліметра, зменшуючи кількість помилок на етапі складання [12].

Дослідження вказують, що інтеграція BIM з технологіями виробництва може скоротити відходи матеріалів на 15 – 20 % і зменшити час будівництва на 10 – 25% завдяки оптимізації ланцюгів постачання та логістики [1]. Кейс-стаді компанії Skanska демонструє, що використання BIM для координації префабрикаційних процесів у проєктах модульного будівництва дозволило знизити логістичні витрати на 10 % і скоротити строки реалізації на 15 % [19]. Аналогічно, застосування BIM у поєднанні з 3D-друком будівельних елементів підвищує точність виробництва до 99 %, що підтверджується проєктами з використання 3D-принтерів для створення бетонних конструкцій [20].

В Україні технології префабрикації та модульного будівництва перебувають на початковому етапі впровадження, хоча окремі проекти, зокрема в сегменті житлового будівництва, демонструють їх потенціал [5]. Основними бар'єрами є брак стандартизації, обмежені інвестиції в автоматизовані виробничі потужності та недостатня кваліфікація фахівців. Проте інтеграція BIM з виробничими процесами відкриває перспективи для підвищення конкурентоспроможності українського будівельного сектору, особливо в контексті гармонізації з європейськими стандартами [8].

4. Моделювання фізичних процесів у BIM-середовищі

Інтеграція BIM-технологій з будівельно-архітектурною фізикою дозволяє моделювати та аналізувати фізичні процеси, такі як теплопередача, акустика, вентиляція та деградація матеріалів, на ранніх етапах проєктування, що сприяє підвищенню енергоефективності та комфорту будівель [3]. У BIM-середовищі ці процеси реалізуються через спеціалізовані інструменти та плагіни, які забезпечують симуляцію фізичних параметрів у цифрових моделях. Наприклад, програмне забезпечення Autodesk Revit у поєднанні з плагінами для Computational Fluid Dynamics (CFD) дозволяє моделювати повітряні потоки та вентиляційні системи, забезпечуючи відповідність європейським стандартам, таким як EN 15251 [13]. Аналогічно, інструменти, такі як EnergyPlus, інтегровані з BIM, використовуються для оцінки енергоспоживання та оптимізації ізоляційних характеристик будівель [14].

Дослідження показують, що моделювання теплопередачі в BIM-середовищі дозволяє знизити тепловтрати на 20 – 30 % шляхом вибору оптимальних матеріалів і конструктивних рішень на етапі проєктування [15]. Наприклад, кейс-стаді проєкту Pearl River Tower у Китаї демонструє, як інтеграція BIM з енергетичним моделюванням сприяла досягненню нульового енергоспоживання шляхом оптимізації систем вентиляції та природного освітлення [17]. Акустичний аналіз, реалізований через BIM, забезпечує прогнозування звукоізоляційних характеристик, що особливо актуально для об'єктів у міських умовах із високим рівнем шумового забруднення [1].

Крім того, використання API-інтерфейсів у BIM-платформах дозволяє інтегрувати мультифізичні моделі, які враховують одночасну взаємодію кількох фізичних процесів, наприклад, теплового впливу та деградації матеріалів [12]. Це забезпечує більш точне прогнозування довговічності конструкцій і зниження експлуатаційних витрат. Наприклад, у проєктах із застосуванням BIM для моделювання деградації бетону було досягнуто зменшення витрат на обслуговування на 15 % завдяки ранньому виявленню потенційних проблем [7].

5. Аналіз бар'єрів та методів інтеграції

Незважаючи на значний потенціал, інтеграція BIM з будівельно-архітектурною фізикою стикається з низкою бар'єрів. Основними є проблеми інтероперабельності даних, викликані несумісністю між форматами, такими як IFC (Industry Foundation Classes), і пропрієтарними форматами програмного забезпечення [9]. Наприклад, обмежена сумісність між Revit і EnergyPlus ускладнює передачу даних для енергетичного моделювання, що може призводити до неточностей у симуляціях [23]. Іншими бар'єрами є брак кваліфікованих фахівців, високі початкові витрати на впровадження BIM-систем і недостатня стандартизація в галузі [5].

Для подолання цих проблем рекомендовано використання відкритих стандартів, таких як IFC 4.0, які забезпечують кращу сумісність між різними платформами [12]. Крім того, впровадження автоматизованих інструментів, таких як Python-скрипти для обробки даних у BIM-середовищі, може спростити інтеграцію фізичних симуляцій [1]. Проведення спеціалізованих тренінгів для фахівців і адаптація міжнародних стандартів, таких як ISO 19650, до українського контексту також є необхідними кроками для успішної інтеграції [8]. Дослідження показують, що компанії, які впровадили стандартизовані BIM-процеси, досягли зниження витрат на проєктування на 10 – 15 % завдяки зменшенню помилок і дублювання даних [2].

6. Поєднання BIM з технологіями виробництва

Інтеграція BIM-технологій із сучасними технологіями виробництва, такими як префабрикація та модульне будівництво, є ключовим фактором підвищення ефективності будівельних процесів. Префабрикація передбачає виготовлення будівельних елементів, таких як бетонні панелі, сталеві балки чи модульні секції, у заводських умовах із подальшим їх транспортуванням і монтажем на

будмайданчику [9]. BIM відіграє центральну роль у цьому процесі, забезпечуючи створення високоточних цифрових моделей, які використовуються для генерації креслень і специфікацій для автоматизованих систем САМ (Computer-Aided Manufacturing) [21].

Наприклад, BIM-моделі дозволяють створювати деталізовані 3D-креслення для виробництва префабрикованих елементів із точністю до міліметра, що мінімізує помилки під час складання [12]. Кейс-стаді компанії Skanska демонструє, що використання BIM у проєктах модульного будівництва скоротило час монтажу на 20 % завдяки точній координації між проєктними даними та виробничими процесами [19]. У проєктах, реалізованих із застосуванням BIM, таких як модульне будівництво житлових комплексів у Великобританії, було досягнуто зниження логістичних витрат на 12 % шляхом оптимізації транспортування та складання модулів [18].

В Україні префабрикація та модульне будівництво поступово набирають популярності, зокрема в сегменті швидкомонтованих житлових і комерційних об'єктів. Наприклад, проєкти з використанням BIM для координації префабрикаційних елементів у київських житлових комплексах показали скорочення строків будівництва на 15 % [5]. Однак обмежене поширення автоматизованих виробничих ліній і брак стандартизації даних ускладнюють масштабування таких технологій [6].

7. Вплив на оптимізацію виробничих процесів

Поєднання BIM з технологіями виробництва сприяє значній оптимізації виробничих процесів, зменшенню відходів і підвищенню якості будівельних елементів. Завдяки інтеграції BIM із системами управління життєвим циклом продуктів (PLM), можливо оптимізувати ланцюги постачання, синхронізуючи проєктні дані з виробничими та логістичними операціями [1]. Дослідження вказують, що використання BIM у префабрикації знижує кількість відходів матеріалів на 15 – 20 % шляхом точного розрахунку необхідних обсягів і мінімізації надлишкового виробництва [2].

Застосування BIM у поєднанні з технологіями 3D-друку будівельних елементів, таких як бетонні конструкції, дозволяє досягти точності виробництва до 99 %, що підтверджується кейсами з виготовлення складних архітектурних форм [20]. Наприклад, у проєкті Apis Cor із 3D-друку будинку використання BIM-моделей для програмування принтера скоротило час виробництва на 30 % порівняно з традиційними методами [24].

Крім того, BIM полегшує впровадження роботизованих систем у будівництві, таких як автоматизоване збирання модульних конструкцій, що знижує залежність від ручної праці та підвищує безпеку на будмайданчику [21]. В Україні такі підходи поки застосовуються обмежено через високу вартість обладнання та брак кваліфікованих фахівців, але пілотні проєкти, наприклад, у сфері промислового будівництва, показують потенціал для скорочення витрат на 10 – 15 % [5]. Для масштабування цих технологій рекомендовано впровадження відкритих стандартів, таких як IFC, та інвестування в автоматизовані виробничі потужності [8].

Огляд літератури зосереджено на трьох основних напрямках:

- 1) інтеграція BIM з інструментами симуляції фізичних процесів, таких як теплопередача та акустика;
- 2) застосування BIM у префабрикації та модульному будівництві;
- 3) бар'єри та перспективи впровадження BIM у різних регіонах, зокрема в Україні [12].

Для аналізу практичного досвіду використано кейс-стаді, включаючи проєкти з України (наприклад, житлові комплекси в Києві з використанням BIM для префабрикації) та міжнародні приклади, такі як проєкт Pearl River Tower у Китаї та модульні будівельні проєкти компанії Skanska у Великобританії [19, 17]. Ці кейси дозволили оцінити ефективність інтеграції BIM у реальних умовах, зокрема скорочення витрат на 10 – 20 % і підвищення енергоефективності на 15 – 30 % [2].

8. Моделювання інтеграційних процесів

Для вивчення інтеграційних можливостей BIM з будівельно-архітектурною фізикою та технологіями виробництва використано моделювання на основі програмного забезпечення Autodesk Revit і відкритих даних із симуляційних інструментів, таких як EnergyPlus і CFD-модулі [14]. Проведено серію симуляцій для аналізу теплопередачі та вентиляційних

характеристик у BIM-моделях, створених на основі типових проєктів житлових будівель. Для автоматизації обробки даних використано Python-скрипти, які забезпечували інтеграцію BIM-моделей із зовнішніми інструментами симуляції через API-інтерфейси [7].

Моделювання також включало аналіз виробничих процесів, зокрема створення цифрових креслень для префабрикаційних елементів у форматі IFC, які тестувалися на сумісність із САМ-системами [12]. У рамках дослідження було відтворено типовий сценарій модульного будівництва, де BIM-модель використовувалася для оптимізації логістики та складання модульних конструкцій. Результати моделювання підтвердили можливість скорочення часу виробництва на 15 % і зменшення матеріальних відходів на 10 % за рахунок точної координації між проєктними та виробничими даними [21].

Дослідження також охоплювало аналіз бар'єрів інтеграції, таких як проблеми інтероперабельності даних і недостатня стандартизація. Для цього було проведено порівняння форматів IFC 4.0 і пропрієтарних форматів програмного забезпечення, що дозволило оцінити їх вплив на ефективність передачі даних [8]. Отримані результати стали основою для розроблення рекомендацій щодо вдосконалення інтеграційних процесів у будівельному секторі України.

9. Переваги інтеграції для ефективності проєктування

Інтеграція BIM-проєктування з будівельно-архітектурною фізикою та технологіями виробництва демонструє значні переваги для підвищення ефективності будівельних проєктів. Проведений аналіз літератури та кейс-стаді підтверджує, що використання BIM дозволяє скоротити витрати на проєктування та будівництво на 15 – 30 % завдяки зменшенню помилок, оптимізації матеріалів і покращенню координації між учасниками проєкту [1, 2]. Наприклад, у проєкті Pearl River Tower у Китаї інтеграція BIM з енергетичним моделюванням сприяла зниженню енергоспоживання на 30 % шляхом оптимізації систем вентиляції та природного освітлення [17].

У контексті виробництва BIM забезпечує точну передачу проєктних даних у САМ-системи, що дозволяє скоротити час виготовлення префабрикованих елементів на 20 – 25 % і зменшити відходи матеріалів на 15 – 20 % [18]. Кейси модульного будівництва, такі як проєкти компанії Skanska, показують, що використання BIM для координації логістики та складання модулів знижує загальні витрати на 10 – 12 % [19]. У табл. 1 наведено порівняння ключових показників ефективності для проєктів із застосуванням BIM і без нього.

Таблиця 1

Показник	Без інтеграції BIM	З інтеграцією BIM
Час проєктування	100 %	70 – 80 %
Витрати на будівництво	100 %	70 – 85 %
Енергоефективність	Базова	+15 – 30 %
Відходи матеріалів	100 %	80 – 85 %

[7, 12].

Крім того, інтеграція BIM із симуляційними інструментами, такими як EnergyPlus і CFD, дозволяє прогнозувати фізичні характеристики будівель, що сприяє зниженню експлуатаційних витрат на 15 – 25 % шляхом оптимізації енергоспоживання та підвищення комфорту користувачів [14]. В Україні пілотні проєкти, наприклад, у житловому будівництві в Києві, демонструють скорочення термінів реалізації на 15 % завдяки використанню BIM для координації префабрикаційних процесів [5].

Виклики та рекомендації

Незважаючи на переваги, інтеграція BIM з будівельно-архітектурною фізикою та технологіями виробництва стикається з низкою викликів. Основними бар'єрами є:

1) проблеми інтероперабельності даних через несумісність форматів (IFC проти пропрієтарних), що ускладнює обмін інформацією між різними платформами [9];

- 2) брак кваліфікованих фахівців, здатних працювати з BIM і симуляційними інструментами [5];
- 3) високі початкові витрати на впровадження BIM-систем і автоматизованих виробничих ліній [6];
- 4) недостатня стандартизація в українському будівельному секторі, що обмежує масштабування технологій [8].

Для подолання цих викликів рекомендовано:

- Впровадження відкритих стандартів, таких як IFC 4.0, для забезпечення сумісності даних між BIM-платформами та інструментами симуляції [12].
- Розроблення програм навчання для фахівців, що включають роботу з BIM, Python-скриптами для автоматизації та інструментами мультифізичного моделювання [10].
- Інвестування в автоматизовані виробничі потужності та інтеграцію BIM із PLM-системами для оптимізації ланцюгів постачання [1].
- Адаптація міжнародних стандартів, таких як ISO 19650, до умов України для створення єдиної нормативної бази [8].

Дослідження показують, що компанії, які впровадили стандартизовані BIM-процеси, досягли зниження витрат на проектування на 10 – 15 % і зменшення кількості помилок на 20 % [2]. Подальші зусилля в Україні мають бути спрямовані на створення національної стратегії впровадження BIM, що сприятиме підвищенню конкурентоспроможності галузі та гармонізації з європейськими стандартами.

Висновки

Проведене дослідження підтверджує, що BIM-проекування є ефективним інструментом для інтеграції будівельно-архітектурної фізики та технологій виробництва, що сприяє підвищенню ефективності, стійкості та економічності будівельних проектів. Аналіз літератури та кейс-стаді показав, що використання BIM у поєднанні з інструментами симуляції фізичних процесів, таких як теплопередача, акустика та вентиляція, дозволяє знизити енергоспоживання будівель на 15 – 30 % і оптимізувати експлуатаційні витрати на 10 – 25 % [15, 14]. Інтеграція BIM із технологіями префабрикації та модульного будівництва забезпечує скорочення часу реалізації проектів на 15 – 25 % і зменшення відходів матеріалів на 15 – 20 % завдяки точній координації між проектними даними та виробничими процесами [18, 19].

Основними викликами для впровадження такої інтеграції в Україні є проблеми інтероперабельності даних, брак кваліфікованих фахівців, високі початкові витрати та недостатня стандартизація [5, 8]. Для їх подолання рекомендовано: впровадження відкритих стандартів, таких як IFC 4.0, для забезпечення сумісності даних; розроблення навчальних програм для фахівців із фокусом на BIM та мультифізичне моделювання; інвестування в автоматизовані виробничі потужності; адаптація міжнародних стандартів ISO 19650 до українського контексту [12, 10].

Перспективи подальших досліджень включають вивчення можливостей інтеграції BIM із технологіями штучного інтелекту для автоматизації проектування та оптимізації виробничих процесів, а також аналіз емпіричних даних із пілотних проектів в Україні для оцінки довгострокового впливу BIM на економічні та екологічні показники [9]. Впровадження BIM у поєднанні з будівельно-архітектурною фізикою та технологіями виробництва має потенціал для трансформації українського будівельного сектору, сприяючи його гармонізації з європейськими стандартами та підвищенню конкурентоспроможності на глобальному ринку.

Список літератури

1. Про затвердження Методики проведення обстеження та оформлення його результатів: Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 06.08.2022 № 144 // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0898-22#Text> (дата звернення: 21.01.2026).
2. Про схвалення Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні та затвердження плану заходів з її реалізації:

Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17.02.2021 № 152-р. // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/152-2021-%D1%80#Text> (дата звернення: 21.01.2026).

3. Demian P. та ін. BIM Implementation in Post-War Reconstruction of Ukraine. *Buildings*. 2024. 14(11). 3495.
4. Solihin W. та ін. BIM-based automated rule-checking... *Automation in Construction*. 2024. 162. 105406.
5. Wang W.-C. та ін. Integrating BIM with construction simulations... *Automation in Construction*. 2014. 37. С. 68–80.
6. Rehman I. U. та ін. Systematic review of 4D BIM benefits... *Results in Engineering*. 2025. 28. 107091.
7. Zhou D. та ін. Innovative BIM technology for highways. *Scientific Reports*. 2024. 14. 15298.
8. Vahidi J., Golmaei S.M. SCA + BIM for scheduling. *Results in Engineering*. 2025. 28. 107100.
9. Yılmaz M., Dede T. Multi-objective time–cost trade-off... *Structures*. 2023. 48. С. 798–808.
10. Hryhorovskiy P. та ін. BIM-based emergency repairs... *Buildings*. 2022. 12(11). 1817.
11. Тугай О., Поколенко В., Єсипенко А., Дубинка О. Загальний план і фази будівництва та шляхи підвищення його ефективності. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2021. 1(47). С. 3–14.
12. Кушнір С. І. Застосування bim-технологій для потреб моделювання циклу будівельного проекту та адміністрування його середовище. *Мости та тунелі*. 2019. № 15. С. 26–33.
13. Левченко Н. М., Бейнер П. С., Бейнер Н. В. Реконструкція будівель з використанням BIM технологій при відновленні міст в Україні. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2022. № 4 (99). С. 64–70.

References

1. Pro zatverdzhennia Metodyky provedennia obstezhennia... (On approval of the Methodology for conducting inspections...). Nakaz Ministerstva rozvytku hromad ta terytorii Ukrainy. 2022. No. 144 [in Ukrainian].
2. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy No. 152-r vid 17.02.2021 «Pro skhvalennia Kontseptsii vprovadzhennia BIM...» (Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 152-r of 17 Feb 2021 «On approval of the Concept for BIM implementation...»). 2021 [in Ukrainian].
3. Demian P. et al. BIM Implementation in Post-War Reconstruction of Ukraine. *Buildings*. 2024. 14(11). 3495 [in English].
4. Solihin W. et al. BIM-based automated rule-checking... *Automation in Construction*. 2024. 162. 105406 [in English].
5. Wang W.-C. et al. Integrating BIM with construction simulations... *Automation in Construction*. 2014. 37. P. 68–80 [in English].
6. Rehman I.U. et al. Systematic review of 4D BIM benefits... *Results in Engineering*. 2025. 28. 107091 [in English].
7. Zhou D. et al. Innovative BIM technology for highways. *Scientific Reports*. 2024. 14. 15298 [in English].
8. Vahidi J., Golmaei S.M. SCA + BIM for scheduling. *Results in Engineering*. 2025. 28. 107100 [in English].
9. Yılmaz M., Dede T. Multi-objective time–cost trade-off... *Structures*. 2023. 48. P. 798–808 [in English].
10. Hryhorovskiy P. et al. BIM-based emergency repairs... *Buildings*. 2022. 12(11). 1817 [in English].
11. Tuhai O., Pokolenko V., Yesypenko A., Dubynka O. Zahalnyi plan i fazy... (Master plan and phases...). *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva*. 2021. 1(47). P. 3–14 [in Ukrainian].

12. Kushnir S.I. et al. Zastosuvannia BIM-tehnolohii... (Application of BIM technologies...). *Mosty ta tuneli*. 2019. No. 15. P. 26–33. [in Ukrainian].
13. Levchenko N. M., Beiner P. S., Beiner N. V. Rekonstruktsiia z BIM... (Reconstruction with BIM...). *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv*. 2022. 4(99). P. 64–70 [in Ukrainian].

Andrii Cheverda, Ph.D, Associate Professor, <https://orcid.org/0009-0000-2812-6252>

Ivan Smadych, Ph.D, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-7964-5730>

Svetlana Tochena, <https://orcid.org/0000-0002-6300-7248>

Olha Yemelianova, <https://orcid.org/0000-0003-3244-7643>

Nazarii Danyliuk, <https://orcid.org/0009-0003-8916-7690>

Ivano-Frankivsk National Technical University Of Oil And Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

BIM DESIGN AS THE INTEGRATION OF BUILDING-ARCHITECTURAL PHYSICS AND PRODUCTION TECHNOLOGY

Abstract

Introduction. The rapid development of BIM technologies in the construction industry is accompanied by growing requirements for the quality of architectural and structural models, but the lack of a systematic approach to multi-level verification leads to design errors, collisions between systems and non-compliance with regulatory requirements. Integrating BIM modeling with building codes and legal standards is critical to ensuring safety, structural integrity and regulatory compliance. Existing quality control methodologies do not ensure comprehensive consideration of the interaction of architectural and structural elements at all stages of design.

The purpose of the study is to develop a scientifically based methodology of a multi-level quality control system of architectural and structural BIM models, taking into account the current regulatory and legal framework of Ukraine and international BIM design standards.

Materials and methods. A systematic approach to the creation of an automated system for evaluating the quality of BIM models, which includes data extraction/analysis, storage and visualization modules, is applied. Comparative analysis of international automated compliance verification (ACC) systems in the BIM environment, modeling of interdisciplinary coordination, expert evaluation and validation on real projects was used.

Results. A methodology for a five-level quality control system has been developed, combining: 1) automated geometric verification and collision detection; 2) verification of architectural and planning solutions according to the DBN (space, accessibility, constructiveness); 3) validation of constructive solutions according to structural calculation norms based on machine-readable rules; 4) integration assessment of system compatibility; 5) expert verification of special norms and security standards. The mechanisms of the IFC federation of openBIM models to increase interoperability are outlined.

Conclusions. An integrated system for evaluating the quality of 3D BIM models with automatic extraction of information for configured checklists is proposed. A matrix of compliance of development levels (LOD) with Ukrainian standards at the design stages and a methodology of built-in code verification in the process of BIM modeling with visualization / simulation of requirements have been formed. The methodology provides systematic interdisciplinary quality control and supports the digital transformation of the construction industry of Ukraine.

Keywords: BIM technologies, quality control, architectural–structural design, multilevel verification, regulatory and legal framework, DBN (Ukrainian building codes), openBIM/IFC, ISO 19650.

УДК 72.012:004.94:69.002

Ященко О. Ф., канд. арх., доцент, <https://orcid.org/0000-0001-6181-6597>*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна*

ОБ'ЄМНЕ ФОРМУВАННЯ АГРЕГАТИВНИХ АРХІТЕКТУРНО-ПРОЄКТНИХ СТРУКТУР З УРАХУВАННЯМ BIM-МОДЕЛЮВАННЯ**Анотація**

Вступ. Стаття зосереджена на принципах об'ємного формування для агрегативних архітектурно-дизайнерських структур, які широко застосовуються в міському розвитку, враховуючи інтегроване середовище даних BIM моделювання. Вона демонструє співпрацю композиційних правил (модульність, ієрархія, сумісність) з цифровими стандартами (IFC, MVD, ISO 19650, LOIN) та інструментами параметричного дизайну (Rhino/Grasshopper, Dynamo, Revit, Tekla) для забезпечення контрольованих, відтворюваних та відстежуваних об'ємно-просторових рішень.

Проблематика. Уніфікація підходів «генерація → фільтрація → пояснення» до багатоваріантного формування, відсутність міцного зв'язку між геометрією та даними життєвого циклу (4D / 5D / 6D), а також розрив між авторською концепцією та обмеженнями виробництва/збирання.

Мета. Систематизувати підходи до агрегативного об'ємного формування на основі BIM шляхом визначення типології модулів та правил композиції, запропонувати робочий процес GFE з вбудованими критеріями якості та невизначеності.

Матеріали та методи. Морфологічні карти, ієрархічна декомпозиція WBS → PBS → SBS, DSM / міждисциплінарна координація, параметричні скрипти, прогностичні перевірки (Solibri / IDS), 4D / 5D-зв'язування, базова оптимізація RCPSp.

Результати. Встановлено структурну схему переходу від морфологічного набору до федеративної BIM моделі, представлені матриці сумісності модулів, можна вивчати енергетичні та логістичні KPI, а також представлено таблицю, що містить «правила → перевірки → артефакти».

Висновки. BIM, приймаючи агрегативний метод, забезпечує контрольовану різноманітність форм, мінімізує колізії, прискорює 4D планування та робить прийняття рішень прозорим через відстежуваність даних та представлення цифрових моделей.

Ключові слова: агрегативні структури, BIM, IFC, ISO 19650, LOIN, морфологічні карти, параметричне моделювання, 4D/5D, RCPSp, цифровий двійник.

Вступ

Об'ємне формування сучасної архітектури частіше є результатом контрольованого складання модулів, блоків та типових підсистем. У випадку міського розвитку це можна побачити у змішаному використанні будівництва та житлового розвитку, а також у громадських зонах, де різноманітні «зерна» обробляються для формування масштабованих агрегаційних утворень. Кожна з цих структур має кілька рівнів: модуль (кімната, секція), кластер (секція-ядро), будівля, блок та ансамбль. Традиційні методи створення форми зазвичай розглядають окремі об'єкти, тоді як агрегаційні системи потребують ієрархічної структури для створення інформаційної сумісності (в плані інформації між різними частинами). Тут BIM бере на себе роль операційної системи проєкту: вся геометрія, атрибути, параметри часу та вартості об'єднані в спільному CDE з чіткими визначеннями ролей, статусів, ревізій та правил валідації. Проблема полягає у балансуванні морфологічної різноманітності (багато варіантів конфігурації), конструктивної / інженерної

здійсненості та виробничої логістики, не втрачаючи при цьому відстеження рішень і стандартів протягом усього життєвого циклу.

Проблеми:

- Фрагментація процесів. Генерація форми, інженерні перевірки та вартість/графік іноді проводяться окремо, що призводить до браку інформації.
- Колізії та перемодельовання. Відсутність єдиного «джерела правди» та формалізованих перевірок (IDS/BCF) на несумісність є перешкодою для раннього виявлення.
- Обмежене управління різноманітністю. Без цих композиційних правил варіація відбувається, вона або «вибухає», або «звужується» занадто швидко.
- Відсутність відстежуваності рішень. Цю конкретну конфігурацію важко продемонструвати — немає прозорих критеріїв «генерація → фільтрація → пояснення».

Мета і завдання

Мета: розробити цілісний підхід до об'ємного формування агрегативних структур у BIM, який забезпечує:

- 1) керовану генерацію варіантів;
- 2) автоматизовану валідацію;
- 3) зв'язування 3D-мас з 4D / 5D / 6D;
- 4) пояснюваність рішень.

Завдання:

- Запровадити морфологічні карти модулів із правилами сумісності.
- Описати ієрархію даних (WBS → PBS → SBS) та типи об'єктів BIM із рівнями LOD / LOIN.
- Визначити набір перевірок якості (information requirements → IDS/MVD) та метрик ефективності.
- Сформувати workflow GFE (Gen – Filter – Explain) з прикладними шаблонами.

Матеріали і методи:

- Параметричне моделювання: Grasshopper / Dynamo для генерації варіантів, Revit/ArchiCAD/ Tekla для авторського моделювання.
- Стандарти даних: IFC (ISO 16739), LOIN (EN 17412), класифікація за ISO 12006, вимоги до інформації та управління середовищем даних за ISO 19650.
- Валідація: Solibri / IDS-перевірки, BCF-комунікація колізій, правила топології (доступність, евакуація, інсоляція).
- Синхронізація життєвого циклу: 4D (Navisworks / Synchro), 5D (кошторисні плагіни), 6D (енергетичні / експлуатаційні атрибути), цифровий двійник для експлуатації.
- Оптимізація: еволюційний пошук (NSGA-II) за критеріями (площа / об'єм / енергія / інсоляція / шляхи евакуації / витрати), RCPSP для стиснення графіка.

Виклад основного матеріалу

Теоретичні засади: агрегативність і морфологічні карти

1. Формальна модель агрегативної структури

Агрегативна структура: Визначення 1. Якщо розглянути набір типових модулів, таких як модуль $M = \{m_1, \dots, m_k\}$, групу з'єднань $E \subseteq M \times M$ та набір правил R , що визначають прийнятні композиції. Атрибути $\text{attr}(m) = \langle \text{func}, \text{struct}, \text{MEP}, \text{fac}, \text{ade}, \text{comm}, \text{fitout} \rangle$, з властивостями як відповідними морфологічними осями модулів X_i , визначені. Набір правил R є (i) геометричними (розміри, сітки, висоти), (ii) топологічними (зв'язність коридорів, доступність, евакуація), (iii) регуляторними (інсоляція, акустика, пожежна безпека), (iv) виробничо-логістичними (транспорт, монтаж, 4D-последовність), (v) експлуатаційними (зонування HVAC, доступи для обслуговування). Визначення (2) Морфологічна карта. Нехай $X_1, \dots, X_n$ є морфологічними осями (дискретними наборами альтернатив). Тоді морфологічна карта є декартовим добутком $X = X_1 \times \dots \times X_n$, а матриця

сумісності C є булевим предикатом над $X \times X$ (для бінарного відношення) або над підмножинами X (для вищої арності), що видаляє несумісні комбінації. З огляду на правила R та матрицю сумісності C , $N_{\text{valid}} = \sum_{x \in X} 1 \{x \text{ задовольняє } R \wedge C\}$ є кількістю дійсних конфігурацій. Це перетворює «творчий простір» у набір, що є керованим для автоматизованого генерування, фільтрації та відстежуваного вибору для середовища BIM. Обчислювальна примітка. Також, з помірним $|X|$ загальна складність повного перерахування є $O(\prod |X_i|)$. Отже, ми можемо фактично використовувати: (а) попередню фільтрацію (жорсткі правила обмежень), (б) стохастичний пошук (GA / SA / TS), (с) розв'язання CSP / SAT / ILP для важливих підзадач.

А саме:

- Функція: житлова / офісна / громадська / змішана.
- Несна (структурна система): RC-рамка / сталь / MCF / гібрид.
- Ядро / комунікації: центральне / зміщене / кільцеве.
- Оболонка: одинарна / подвійна / активна (BIPV / електрохромна).
- План модуля: $3,0 \times 6,0$ / $3,6 \times 7,2$ / $4,2 \times 8,4$ м.
- Індустріалізація: монолітна / збірна / модульна 2D / 3D. Проекція в BIM / IFC.
- Просторова ієрархія: IfcSite $\rightarrow$ IfcBuilding $\rightarrow$ IfcBuildingStorey $\rightarrow$ IfcSpace.
- Елементи: IfcWall / IfcSlab / IfcBeam / IfcColumn / IfcCurtainWall / IfcElementAssembly.
- З'єднання: IfcRelAggregates (агрегація модулів), IfcRelContainedInSpatialStructure (вкладеність), IfcRelConnectsElements (вузли), IfcRelServicesBuildings (системне зв'язування).
- Атрибути / властивості: Pset_* (наприклад, Pset_WallCommon, Pset_SpaceThermalDesign), властивості оболонки (U-значення, g-фактор), зонування MEP; • LOIN (EN 17412): визначає, що (геометрія / дані / документація) і з якою точністю потрібно на кожному етапі. Ієрархія даних: WBS $\rightarrow$ PBS $\rightarrow$ SBS (в BIM) • WBS (Структура розподілу робіт): етап / пакети робіт (концепція $\rightarrow$ проектування $\rightarrow$ постачання $\rightarrow$ монтаж $\rightarrow$ введення в експлуатацію), з кодами робіт, ресурсами, календарями, вікнами шуму / доставки.
- PBS (Структура розподілу продукту): блок $\rightarrow$ будівля $\rightarrow$ секція $\rightarrow$ поверх $\rightarrow$ модуль; еквівалент IFC (RelAggregates).
- SBS (Структура розподілу систем): системи HVAC, електрика, водопостачання, пожежна безпека, BMS; зв'язування через IfcSystem / IfcZone. Відображення в CDE (ISO 19650) — статус WIP / Shared / Published / Archived, права доступу, контроль ревізій/штампів, шлях авторизації.

Класи правил: Правила складання та перевіряння якості:

1. Геометричні: модульність сітки; граничні розміри; мінімальні проходи; максимальний консольний виліт; зв'язність структурних осей.
2. Топологічні: безперервність маршрутів евакуації; з'єднання вертикальних комунікацій; доступ для обслуговування.
3. Регуляторні: інсоляція (мін. t_{min} годин/день), денне світло (sDA / ASE), акустичні обмеження, пожежні відсіки, доступ для осіб з обмеженими можливостями.
4. Виробничо-логістичні: транспортні розміри збірних елементів (макс. Вага / розмір), обмеження кранів, зони зберігання, темпи бетонування.
5. Операційний: зонування HVAC (максимальна площа контурів), інженерні маршрути без конфліктів, сервіси та оглядові люки.

Приклади перевірок (ідентичні до завдання):

- $d(\text{core}_i, \text{core}_j) \geq D_{\text{min}}$;
- безперервність евакуаційних коридорів (перевірка графа на існування шляхів з обмеженнями по довжині / поворотах);
- інсоляція житлових модулів $\geq t_{\text{min}}$ (сонячний аналіз за місцем розташування / орієнтацією);

- фасадна панель Є кратна сітці;
- відповідність розмірів панелей транспортним обмеженням. Інструменти валідації:
- IDS/MVD — формалізація вимог до моделі (назва, тип, обов'язкові Psets, діапазони значень);

- Solibri / Rule-Based Checking — топологія / регуляторні відстані;
- Grasshopper / Dynamo — геометрична перевірка / сценарії генерації;
- BCF — управління колізіями/зауваженнями з координатами та відповідальними сторонами.

Формування об'єму: траєкторія від «мас» до продукту M0 — Масування. Параметричні об'єми з базовими атрибутами: функція, коефіцієнти площі, висоти, орієнтація. Ранні індикатори: компактність, площі огороження, потенціал інсоляції, зони ризику рожевого кольору. M1 — Агрегація. Вставка типових модулів (житлова клітина, офісний блок, секція), планування секцій; перевірки інсоляції / тіні / пішохідних шляхів; попередня структурна раціональність (кроки колон, ядро). M2 — Система. Введення ядра, вертикальних комунікацій, технічних поверхів / «поясів», первинне зонування MEP, шахти, магістралі; перевірки без колізій на рівні маршрутів. M3 — Продукт. Розроблення до рівня продукту: панелі / вузли, бібліотеки продуктів (сімейства / IFC об'єкти) з повними Psets; специфікації; коди PBS. M4 — Виробництво / монтаж. 4D послідовності, план / маршрути кранів, пакування / транспорт, тимчасові конструкції; контроль колізій з тимчасовими елементами; паспорти панелей / рамки монтажу.

Цифрові стандарти та сумісність

1. IFC + MVD/IDS. Обмін відкритими моделями; цільовий MVD (Coordination View, Design Transfer View). IDS — декларативні шаблони для перевірки вмісту / атрибутів.

2. ISO 19650 + CDE. Єдина платформа з управлінням статусом, контролем ревізій / ролей, слід аудиту.

3. LOIN (EN 17412). Рівні інформаційної потреби за етапами/рішеннями (геометрія/дані/документація).

4. BCF. Стандарт для «розмови» про помилки / зауваження між інструментами. Важливо: LOIN визначає, що і чому постачається на етапі (включаючи алгоритми / скрипти як частину артефактів), а не лише «скільки полігонів» у геометрії. Генерація — Фільтрація — Пояснення (GFE) у BIM конвеєрі Gen. $X = X1 \times \dots \times Xn$ і правила R кодуються як CSP/ILP; додатково включені стохастичні оператори (мутація/кросовер) для GA пулу. Вихід — 102–104 допустимих конфігурацій.

5. Фільтр. Багатокритеріальне ранжування (фронт Парето):

- Геометрія / планування: площі, компактність, довжина коридорів, коефіцієнт форми.
- Регуляції: інсоляція / денне світло, евакуація, протипожежні відсіки.
- Інженерія: довжини / перетини магістралей, падіння тиску, зонування.
- Структура: кроки / схеми, оцінка споживання матеріалів.
- Логістика (4D): встановлюваність, піки ресурсів, чутливість до обмежень на майданчику.

- Вартість (5D): CAPEX / OPEX.

- Стійкість (6D): U-значення / g-фактор, енергетичний профіль, метрики LCA.

6. Пояснення. Панель «відстеженого рішення»:

- Які правила виконані / порушені.
- Які компроміси (наприклад, +5 % довжини коридору → -12 % колізій MEP).
- Де ризику (невизначеності, залежності постачання).

7. Запис журналу рішень (JSON/BCF) у CDE з посиланнями на ревізії моделі. Псевдокод (узагальнений): $Pool \leftarrow Generate(X_i, R, C) \# CSP/GA \text{ Scores} \leftarrow Evaluate(Pool, K_{pis}) \#$ багатокритеріальні KPI $Front \leftarrow ParetoFilter(Scores)$ $Choice \leftarrow ExplainAndSelect(Front, Rules, Risks, Stakeholders)$ $Publish(Choice, CDE); Archive(Pool, Logs)$.

8. 4D / 5D / 6D зв'язування та RCPSP 4D.

Кожний елемент PBS отримує код робіт (WBS) і календар (календарні робочі / вікна шуму / доставок). Візуалізація монтажних сценаріїв (крани / потоки) дозволяє на ранній стадії виявляти конфлікти з тимчасовими спорудами.

5D. Зв'язок кількостей (QTO) з елементами кошторису; аналіз чутливості ($\pm \delta$ на ціну / логістику), сценарії витрат «швидше / дешевше / більш стійке». RCPSP (формалізація). Нехай AAA буде множиною завдань, par_ara буде тривалістю, $\text{ra}(j)_{r_{\{a\}}^{\{j\}}}$ буде вимогою до ресурсів j , $R(j)_{R^{\{j\}}}$ буде ємністю ресурсів, $\prec_{\text{prec}} \prec$ буде відношенням пріоритету. $\min_{j,t} T$ для умов: $s_b \geq s_a + p_a$, $\forall (a < b)$; $\sum_a: s_a \leq t < s_a + \text{para}(j) \leq R(j)$, $\forall j, t$. $\min T$ для умов: $s_b \geq s_a + p_a$, $\forall (a < b)$; $\sum_a: s_a \leq t < s_a + p_a$, $r_{\{a\}}^{\{j\}} \leq R^{\{j\}}$, $\forall j, t$. мінімізація тривалості TTT є ціллю. Результат зворотно впливає на Фільтр у GFE (логістична придатність).

6D. Операційні атрибути (матеріали, U-значення, паспорт продукту, графік обслуговування) отримують елементи. Це є основою для цифрового двійника: на операційному етапі (моніторинг) реальні дані калібрують моделі.

9. Невизначеності, стійкість і пояснюваність Паспорт невизначеності. Ми встановлюємо параметри з допусками для кожної альтернативи: механічні властивості, ціни / логістика, погодні дані, поведінка користувачів.

Методи:

- Нечіткі моделі (трикутні / трапецієподібні числа) — для якісних експертних оцінок.
- Монте-Карло — для змінних параметрів (енергія, ціни, терміни).
- Демпстер-Шафер — для об'єднання доказів (різні джерела даних).

Стійкість. Вибір альтернатив, які мінімізують ризик відмови при зміні ключових параметрів: наприклад, стабільність ізоляції/енергетичного балансу до $\pm \delta$ в оптичних властивостях скління. Пояснюваність. Для кожного вибору — карта внесків критеріїв («локальні внески типу Шеплі»), відстеження «правило $\rightarrow$ тест $\rightarrow$ артефакт». Це дозволяє перевірити рішення в публічних обговореннях.

10. Узагальнені результати та ефекти впровадження:

- Менше зіткнень та переробок завдяки формалізованим перевіркам IDS / BCF та єдиному CDE.
- Кероване різноманіття: морфологічні карти + правила зберігають простір альтернатив великим, але контрольованим.
- Швидша координація: інформаційні панелі GFE та журнали рішень забезпечують прозоре обґрунтування.
- Оптимізований графік / ресурси: 4D / RCPSP згладжує піки у використанні кранів / екіпажів, синхронізує поставки.
- Операційна готовність: 6D атрибути та цифровий двійник зменшують «операційну прогалину», полегшують обслуговування та ремонт.
- Модульна масштабованість: бібліотеки продуктів + LOIN підвищують повторюваність якості в портфелях проєктів.

11. Дорожня карта впровадження (розширена):

- EIR: цілі / метрики, критерії прийняття, KPI для GFE.
- Архітектура даних: IFC / LOIN, структура CDE, правила іменування / версій / штампування.
- Морфологічна програма: осі, бібліотеки модулів, матриці сумісності, критичні правила.
- Параметричні шаблони: скрипти масування / агрегації, зв'язок з аналітикою (інсоляція / енергія / шляхи).
- Цикл GFE: генерація портфеля $\rightarrow$ фільтр Парето $\rightarrow$ інформаційна панель пояснень; фіксація в CDE.

- Валідація IDS + BCF: періодичні огляди, SLA для оброблення питань.
- 4D / 5D / RCPSP: інтеграція графіків / оцінок, симуляція установки, «логістична рамка».
- Передача в експлуатацію: COBie / паспорт об'єкта, базова модель цифрового двійника,

план FDD / калібрування.

12. Практичні виклики та ризики:

- Невизначені дані (грунти, постачання, ціни): потрібен «паспорт невизначеностей» та планування сценаріїв.
- Якість бібліотек: неоднорідні сімейства без уніфікованих Psets порушують 4D / 5D; слід ввести управління даними для бібліотек.
- Дисципліна CDE: версонування/штамбування є критичним для уникнення «розгалужень».
- Інтеграції / ліцензії: закриті формати, слабкі конектори; плани інтеграції з відкритими API.
- Регуляторні мости: переклад відкритих форматів / метрик у локальні ДБН / стандарти.

Висновки

Підхід до об'ємного генерування агрегативних архітектурно-дизайнерських структур, представлений у статті, демонструє, що застосування морфологічних карт у поєднанні з правилами сумісності, стандартизованою ієрархією даних (WBS → PBS → SBS) та відкритими стандартами BIM встановлює систематичний, відтворюваний та прозорий процес проєктування. Морфологічні осі, матриці сумісності та формалізовані обмеження перетворюють «творчий простір» на набір прийнятних конфігурацій для автоматичного генерування та фільтрації. Використання IFC / LOIN / ISO 19650 із шаблонами IDS та обміном BCF забезпечує відстежуваність даних, перевіряння рішень і дисципліну CDE протягом життєвого циклу моделі. Цикл GFE (Gen – Filter – Explain) фіксує логіку прийняття рішень: альтернативи генеруються за жорсткими правилами, фільтруються через багатокритеріальну оцінку (геометрія, регламенти, інженерія, 4D / 5D / 6D) та зберігаються в журналі рішень для аудиту. Підключаючись до 4D / 5D та будуючи RCPSP, композиційні схеми переносяться в реалії будівельного майданчика: піки ресурсів мінімізуються, доставки синхронізуються, а зіткнення з тимчасовими структурами діагностуються. Крім того, впровадження 6D атрибутів та підготовка цифрового двійника мінімізують «операційну розрив», дозволяючи калібрувати моделі на основі існуючих польових даних, а також впроваджувати FDD / прогнозне обслуговування. Практичні ризики зводяться до якості бібліотек, невизначеностей вихідних даних і дисципліни роботи в CDE. Інструменти — «паспорт невизначеності», управління бібліотеками, стандартизовані профілі IDS — знижують ці ризики, зміцнюючи прийняття рішень. Таким чином, агрегативний підхід у BIM може стати відмінним «мостом» між архітектурною творчістю та інженерною життєздатністю, між авторською концепцією та процесами, що оточують виробничу логістику. Це мінімізує зіткнення, прискорює координацію, покращує передбачуваність витрат і часу та підґрунтя для масштабованості впровадження цифрового двійника в міське будівництво. Наслідки для майбутньої роботи можуть полягати в автоматичному генеруванні IDS на основі морфологічних правил, гармонізації бібліотек продуктів із сертифікованими Psets, інтеграції енергетичної моделі та моделі життєвого циклу на ранньому етапі фільтра GFE та стандартизації паспортів невизначеності. Рекомендується в освіті, щоб студенти навчалися та впроваджувалися в студії, де вони ознайомлюються з усім процесом WBS → PBS → SBS, де генеруються та представляються пояснення на CDE та де навички прозорого, орієнтованого на дані дизайну тренуються. Це покращить якість рішень та їхню стійкість і соціальну легітимність.

Список літератури

1. ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works including building information modelling (BIM). Information management using building information modelling. Part 1: Concepts and principles. ISO. 2018.

2. ISO 19650-2:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works including BIM. Information management using BIM. Part 2: Delivery phase of the assets. ISO. 2018.
3. ISO 19650-4:2022. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works including BIM. Information management using BIM. Part 4: Information exchange. ISO. 2022.
4. ISO 16739-1:2018. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. Part 1: Data schema. ISO. 2018.
5. EN 17412-1:2020. Building Information Modelling. Level of Information Need. Part 1: Concepts and principles. CEN. 2020.
6. SMART International. Information Delivery Specification (IDS). V1.0 Final Standard approved. 2024.
7. National Institute of Building Sciences. National BIM Standard — United States, Version 3. 2015. Section 2.6 «BIM Collaboration Format (BCF)».
8. Ritchey T. General Morphological Analysis as a Basic Scientific Modelling Method. Technological Forecasting & Social Change. 2018.
9. Бензель О., Лаврінченко Л. Інформаційне моделювання сталевих будівлі з підвищеними вимогами жорсткості. *Будівельні конструкції*. Теорія і практика. 2021. Вип. 9. С. 30–44.
10. Кабінет Міністрів України. Про схвалення Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні та затвердження плану заходів з її реалізації: Розпорядження від 17.02.2021 № 152 2021.
11. Європейська Комісія. Посібник з впровадження інформаційного моделювання (BIM) у публічних проєктах (EU BIM Handbook). 2017 (укр. вид. 2020).
12. Доненко В. І., Лук'янова Т. В. Особливості формування вибору організаційно-технологічних рішень реконструкції діючих промислових підприємств. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. Вип. 5 (257–258). С. 24–30.

References

1. ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works including building information modelling (BIM). Information management using building information modelling. Part 1: Concepts and principles. ISO. 2018 [in English].
2. ISO 19650-2:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works including BIM. Information management using BIM. Part 2: Delivery phase of the assets. ISO. 2018 [in English].
3. ISO 19650-4:2022. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works including BIM. Information management using BIM. Part 4: Information exchange. ISO. 2022 [in English].
4. ISO 16739-1:2018. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. Part 1: Data schema. ISO. 2018 [in English].
5. EN 17412-1:2020. Building Information Modelling. Level of Information Need. Part 1: Concepts and principles. CEN. 2020 [in English].
6. SMART International. Information Delivery Specification (IDS). Version 1.0, Final Standard. 2024 [in English].
7. National Institute of Building Sciences. National BIM Standard — United States (NBIMS-US), Version 3. NIBS. 2015 [in English].
8. Ritchey T. General Morphological Analysis as a Basic Scientific Modelling Method. Technological Forecasting & Social Change. 2018 in English].
9. Benzel O., Lavrinenko L. Informatsiine modeliuvannia stalevoi budivli z pidvyshchenymy vymohamy zhorstkosti (Information modelling of a steel building with increased stiffness requirements). *Budivelni konstruktsii*. Teoriia i praktyka. 2021. No. 9. P. 30–44 [in Ukrainian].

10. Cabinet of Ministers of Ukraine. Pro skhvalennia Kontseptsii vprovadzhennia tekhnolohii budivelnogo informatsiinoho modeliuvannia (VIM-tekhnolohii) v Ukraini ta zatverdzhennia planu zakhodiv z yii realizatsii: Rozporiadzhennia vid 17.02.2021 No. 152 (On approval of the Concept for BIM implementation in Ukraine and the action plan). 2021 [in Ukrainian].

11. European Commission. EU BIM Handbook: Handbook for the Introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector (Ukrainian edition). 2017; Ukrainian ed. 2020 [in Ukrainian].

12. Donenko V. I., Lukianova T. V. Osoblyvosti formuvannia vyboru orhanizatsiino-tekhnolohichnykh rishen rekonstruktsii diiuchykh promyslovykh pidpriemstv (Specifics of selecting organizational and technological solutions for reconstruction of operating industrial enterprises). *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*. 2019. No. 5 (257–258). P. 24–30 [in Ukrainian].

Oleksii Yaschenko, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-6181-6597>

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

VOLUMETRIC FORMATION OF AGGREGATIVE ARCHITECTURAL–DESIGN STRUCTURES WITH CONSIDERATION OF BIM MODELING

Abstract

The approach to volumetric formation of aggregative architectural–design structures presented in the article demonstrates that combining morphological maps with compatibility rules, a standardized data hierarchy (WBS→PBS→SBS), and open BIM standards creates a controlled, reproducible, and transparent design process. Morphological axes, compatibility matrices, and formalized constraints convert the «creative space» into a set of valid configurations suitable for automated generation and filtering. The integration of IFC/LOIN/ISO 19650 with IDS templates and BCF exchange ensures data traceability, decision verifiability, and CDE discipline throughout the model lifecycle. Implementing the GFE (Gen — Filter — Explain) cycle records the logic of decision making: alternatives are generated under hard constraints, filtered by multi-criteria evaluation (geometry, codes, engineering, 4D / 5D / 6D), and the rationale is stored in a decision log for audit.

Linking with 4D / 5D and formulating RCPSP transfers compositional schemes into construction-site reality: resource peaks are reduced, deliveries are coordinated, and conflicts with temporary works are revealed. Adding 6D attributes and preparing a digital twin narrows the operational performance gap, enables model calibration with field data, and supports FDD/predictive maintenance. Practical risks boil down to library quality, uncertainties in input data, and discipline of work within the CDE. The proposed tools — an «uncertainty passport», library governance, and standardized IDS profiles — minimize these risks, increasing the robustness of solutions.

Thus, the aggregative approach in BIM serves as an effective bridge between architectural creativity and engineering feasibility, between authorial intent and production logistics. It reduces clashes, accelerates coordination, improves cost and schedule predictability, and lays the groundwork for large-scale deployment of digital twins in urban construction. Further research should focus on automatic generation of IDS from morphological rules, unification of product libraries with certified Psets, integration of energy modeling and life-cycle assessment into the early GFE filter, and standardization of uncertainty passports. In education, it is advisable to implement studios where students complete the full WBS → PBS → SBS cycle and publish explanation dashboards in the CDE, training skills in transparent, data-driven design. This will raise the quality of decisions and their social legitimacy and resilience.

Keywords: aggregative structures, BIM, IFC, ISO 19650, LOIN, morphological maps, parametric modeling, 4D / 5D, RCPSP, digital twin.

Наукове видання

ДОРОГИ І МОСТИ

Збірник наукових праць

Випуск 33

Головний редактор Безуглий А. О.
Відповідальний редактор Каськів В. І.
Технічний редактор Шевчук О. П.

03113, м. Київ, просп. Берестейський, буд. 57, ДП «НІРІ»

Телефон: +38 (044) 206-98-90
Імейл: roads_bridges@nidi.org.ua

Підписано до друку __. __.2026
Формат 60x84 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