

**ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ (УКРАВТОДОР)  
STATE ROAD AGENCY OF UKRAINE**

**ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
«ДЕРЖАВНИЙ ДОРОЖНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ М.П. ШУЛЬГІНА» (ДП «ДЕРЖДОРНДІ»)  
M.P. SHULGIN STATE ROAD RESEARCH INSTITUTE STATE ENTERPRISE –  
DERZHDORNDI SE**



# **ДОРОГИ І МОСТИ**

**Збірник наукових праць  
Заснований у 2003 р.**

**Випуск 24**

# **ROADS AND BRIDGES**

**Collection of scientific papers  
Established in 2003**

**Issue 24**

КИЇВ  
KYIV  
2021

## Присвячується пам'яті Ковалю Петра Миколайовича

Коваль Петро Миколайович народився 01 травня 1955 року на Волині. Професійне зростання Петра Миколайовича було пов'язано з Національним університетом «Львівська політехніка». Після закінчення з відзнакою у 1977 році інженерно-будівельного факультету, тоді ще, Львівського політехнічного інституту, він розпочав свою трудову діяльність старшим інженером Луцької районної шляхової дільниці.

У 1981 році закінчив аспірантуру при кафедрі «Будівельні конструкції» того ж інституту. З 1981 до 2002 року працював у НУ «Львівська політехніка» інженером, науковим співробітником, завідувачем науково-дослідної лабораторії, доцентом, заступником завідувача кафедри. У 1988 році захистив кандидатську дисертацію.

З 2002 до 2009 року Петро Миколайович — директор Державного дорожнього науково-дослідного інституту імені М.П. Шульгіна (ДП «ДерждорНД»). Саме за його сприянням наш інститут став головною науково-дослідною установою України з будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг і транспортних споруд, що входить до сфери управління Державної служби автомобільних доріг України.

Під управлінням Ковалю Петра Миколайовича інститут розвинувся у сучасний науково-дослідний комплекс, до складу якого входили 18 наукових підрозділів: профільні відділи з випробувальними лабораторіями, головний випробувальний центр, орган сертифікації дорожньо-будівельних матеріалів і дорожньої техніки.

Коваль П. М. був кандидатом технічних наук, професором, дійсним членом Академії будівництва України, членом-кореспондентом Транспортної академії України, спеціалістом у галузі технічної діагностики транспортних споруд, автором більше ніж 400 наукових праць, 29 винаходів/патентів, розробником близько 50 нормативних документів. Під його керівництвом захищено 10 кандидатських дисертацій.

Під його керівництвом розроблено методика дослідження автодорожніх мостів високоінформативним методом акустичної емісії з використанням програмно-технічного комплексу для обробки та локації сигналів «АКЕМ» та «АКІМ». На базі цього методу виконується високоточна діагностика споруд і плануються найбільш ефективні заходи з попередження аварійних ситуацій, проведення реконструкцій та ремонтів мостів. Це дозволило створити «Аналітичну експертну систему управління мостами» (АЕСУМ), яка встановлена у всіх обласних Службах автомобільних доріг України.

Ця та інші науково-дослідні розробки Ковалю Петра Миколайовича викладені у монографіях: «Методи дослідження та випробування будівельних матеріалів і конструкцій», «Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій», «Мости: конструкції та надійність», у співавторстві з іншими видатними ученими.

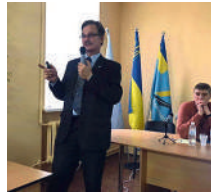
За період з 2002 до 2009 років значно розширились міжнародні наукові взаємини інституту зі спорідненими фаховими установами Європейського співтовариства.

У 2007 році завдяки його клопотанням ДП «ДерждорНД» прийнятий членом до FENRL — Європейського форуму дорожніх дослідних інститутів, і по сьогодні інститут бере участь у дослідженнях у рамках міжнародних проєктів.

Коваль П. М. був фундатором та головою редакційної колегії фахового збірника наукових праць «Дороги і мости».

05 травня 2020 року Петро Миколайович пішов з життя.

З 2021 року в пам'ять про Петра Миколайовича Ковалю з метою визнання його здобутків та розвитку мостової справи, започаткувала свою роботу щорічна Міжнародна науково-практична конференція імені П.М. Ковалю «Актуальні питання мостового господарства та шляхи його покращення».



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

УДК 625.7/.8

Дороги і мости : збірник наукових праць. Київ, 2021. Вип. 24. 220 с.

У збірнику публікуються результати наукових досліджень із питань: впровадження новітніх дорожньо-будівельних 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 дорожньо-транспортної інфраструктури; захисту навколишнього середовища від шкідливого впливу об'єктів дорожньо-транспортної інфраструктури тощо.

Для працівників проектних 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 техн. наук, проф. Внукова Н. В.; д-р техн. наук, проф. Гамеляк І. П.; д-р техн. наук, проф. Дехтяр А. С.; д-р екон. наук, доц. Кузькін Є. Ю.; 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, доц. 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. техн. наук, ст. наук. співр. Вирожемський В. К.; канд. техн. наук Головка С. К.; канд. екон. наук, доц. Іванченко В. О.; канд. екон. наук, доц. Концева В. В.; канд. техн. наук Краюшкіна К. В.; канд. техн. наук, доц. Нагайчук В. М.; 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. Оліверо Росі Цезаре (Італія); D.Sc. (Sp. Tech.), Prof. Самберг Андре (Фінляндія); д-р техн. наук, проф. Телтаєв Багдат Бурханбайули (Казахстан); канд. техн. наук Шумчик В. К. (Білорусь).

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

**Технічний редактор:** Малій Т. С.

**Адреса редакційної колегії:** 03113, м. Київ, просп. Перемоги, 57, ДП «ДерждорНДІ», [www.dorogimosti.org.ua](http://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 «ДерждорНДІ» (протокол від 07.10.2021 № 9).

Номер свідоцтва про державну реєстрацію збірника Серія КВ № 8005 від 20.10.2003 р.

© Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна», 2021 р.

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

UDC 625.7/.8

Roads and Bridges : collection of scientific papers Kyiv, 2021. Issue 24. 220 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.), Prof. Nataliia Vnukova; D.Sc. (Eng.), Prof. Ihor Gameliak; D.Sc. (Eng.), Prof. Anatolii Dehtyar; D.Sc. (Econ.), Associate Prof. Yevhen Kuzkin; D.Sc. (Eng.), Associate Prof. Serhii Lazarenko; D.Sc. (Eng.), Associate Prof. Tetiana Melenchuk; D.Sc. (Eng.), Associate 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. (Eng.), Sen. Research. Valerii Vyrozhemskiy; Ph.D. (Eng.) Serhii Holovko; Ph.D. (Econ.), Associate Prof. Vitalii Ivanchenko; Ph.D. (Econ.), Associate Prof. Valentyna Kontseva; Ph.D. (Eng.) Kateryna Krayushkina; Ph.D. (Eng.), Associate Prof. Vasyl Nahaichuk; 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. (Sp. Tech.), Prof. Andre Sumberg (Finland); D.Sc. (Eng.), Prof. Bahdat Teltayev (Kazakhstan); Ph.D. (Eng.) Viktor Shumchik (Belarus).*

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

**Technical editor:** Tetiana Malii.

**Address of Editorial board:** 03113, Kyiv, Peremohy Ave., 57, DerzhdorNDI SE, [www.dorogimosti.org.ua](http://www.dorogimosti.org.ua)

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

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

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

Recommended by the decision of the Scientific and Technical Council of DerzhdorNDI SE (Minutes on October 07, 2021 N 9).

Certificate number of the state registration of the collection Series KB N 8005 of 10/20/2003

© M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, 2021

## ЗМІСТ

### ЕКОНОМІКА. МЕНЕДЖМЕНТ

- Безуглий А. О., Бібик Ю. М., Гресько І. Л., Бельська О. Л., Концева В. В.*  
Фінансова спроможність дорожніх підприємств — як один із критеріїв для участі у процедурі закупівлі..... 8
- Іванченко В. О., Загорняк О. В.*  
Стан та перспективи розвитку дорожньої інфраструктури в регіонах, які зазнали негативного впливу збройного конфлікту на сході України.....20

### БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

- Sergii Illiash, Tatyana Tereshchenko, Anatolii Tsynka*  
Crushed stone materials and gravel materials bound by mineral binders. Standardization.....28
- Каськів В. І., Копинець І. В., Соколов О. В.*  
Дослідження золи-винесення електрогенеруючих підприємств з метою її використання як альтернативи вапняковому мінеральному порошку для виробництва асфальтобетонних сумішей..... 40
- Ілляш С. І., Мудриченко А. Я., Балашов О. І.*  
Використання акрилової кополімерної добавки Soil Stabilization Plus для приготування сумішей, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу та щебенево-піщаних сумішей у шарах основи дорожнього одягу..... 48
- Головко С. К.*  
Дослідження способів повторного використання дорожньо-будівельних матеріалів при ремонті дорожніх одягів капітального типу..... 60
- Терещенко Т. А.*  
Методи неруйнівної діагностики розташування металевої арматури штирових з'єднань у швах жорстких дорожніх одягів..... 72
- Молодід О. С., Руднєва І. М., Богдан С. М.*  
Експериментальне дослідження підсилення металевих конструкцій зовнішнім армуванням методом наклеювання високоміцних композитних вуглецевих матеріалів (FRP)..... 84

### ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Єрмакова І. А., Нечипоренко М. В., Сухостат О. С.*  
Повторне використання мостових балок в якості прогонових будов тимчасових мостів..... 97
- Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Клименко М. І.*  
Аналіз проектування та будівництва гідротехнічних споруд транспортного будівництва у вигляді водопропускних труб з полімерних матеріалів на автомобільних дорогах..... 112

## ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

**Бондар Т. В., Беленчук О. В., Пина О. Г., Міненко Є. В.**

Аналіз та результати заходів із забезпечення безпеки дорожнього руху в Україні за період 2011–2020 роки..... 134

**Гостєв Ю. Г., Кострульова Т. Є.**

Аналіз технічних вимог та методів випробувань матеріалів для дорожньої розмітки згідно українських та європейських норм..... 149

**Неівестний С. В., Пальчик А. М., Неівестна Н. В., Додух К. М.**

Розроблення заходів з покращення дорожніх умов на ділянках автомобільних доріг на основі аналізу умов руху..... 159

**Петрашенко О. П., Єфименко Р. В., Міненко Є. В.**

Аналіз сезонних змін аварійності на автомобільних дорогах державного значення та їх вплив на статистику ДТП..... 169

## ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

**Харитоновна Н. М., Лозова Т. М.**

Системи виявлення тварин на автомобільних дорогах. Досвід Америки та країн Європи..... 177

**Каськів В. І., Копинець І. В., Соколов О. В.**

Використання побічних відходів промисловості в якості мінерального порошку в дорожньому будівництві..... 183

**Міронова Н. Г., Морозов А. В., Морозова Т. В., Рибак В. В.**

Дослідження акустичного навантаження від транспортного потоку на прикладі міста Хмельницького..... 193

## НАУКОВІ ЗАХОДИ

**Безуглий А. О., Каськів В. І., Боднар Л. П., Болотов Я. В.**

Результати I Міжнародної науково-практичної конференції імені П.М. Ковалю «Актуальні питання мостового господарства та шляхи його покращення»..... 206

# CONTENTS

## ECONOMY. MANAGEMENT

*Artem Bezugliy, Yuliya Bibyk, Ihor Hresko, Olena Belska, Valentyna Kontseva*

Financial capacity of road enterprises — as one of the criteria for participation in the procurement procedur.....8

*Vitalii Ivanchenko, Oleg Zagornyak*

State and prospects of road infrastructure development in the regions which have sensed the negative impact of the armed conflict in the eastern Ukraine.....20

## CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING

*Sergii Illiash, Tatyana Tereshchenko, Anatolii Tsynka*

Crushed stone materials and gravel materials bound by mineral binders. Standardization.....28

*Volodymyr Kaskiv, Ivan Kopynets, Oleksii Sokolov*

Study of fly ash from power generating enterprises to use it as an alternative to lime mineral filler for the production of asphalt mixtures..... 40

*Sergii Illiash, Anatolii Mudrychenko, Ivan Balashov*

Use of acrylic copolymer additive Soil Stabilization Plus for preparation of mixtures made by cold recycling technology and crushed stone-sand mixtures in pavement foundation layers..... 48

*Sergey Golovko*

On methods of reuse of road construction materials when repairing of major type pavements..... 60

*Tatyana Tereshchenko*

The methods of non-destructive testing of positioning of metallic dowel bars in joints of rigid pavements.....72

*Oleksandr Molodid, Iryna Rudnieva, Sergey Bogdan*

Experimental study of strengthening of metal structures with external reinforcement by the method of gluing high-strength carbon fibre-reinforced polymer (FRP) materials ..... 84

## HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION, WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES

*Inna Yermakova, Maksym Nechyporenko*

Reuse of bridge girders as bridge span structures of temporary bridges .....97

*Artur Onyshchenko, Mykola Harkusha, Mykola Klymenko*

Analysis of design and construction of hydrotechnical structures of transport construction in the form of water pipes made of polymer matters ..... 112

## TRANSPORT TECHNOLOGIES

*Tetiana Bondar, Olha Belenchuk, Oleksandr Pyna, Yevhen Minenko*

Analysis and results of measures to ensure road safety in Ukraine for the period (2011–2020)..... 134



<b><i>Yuriy Gostev, Tetyana Kostrulyova</i></b> Analysis of technical requirements and test methods for road marking materials according to ukrainian and european standards.....	149
<b><i>Sergiy Neizvestniy, Anatoliy Palchyk, Natalia Neizvestna, Kateryna Dodukh</i></b> Development of measures to improve road conditions on road sections based on the analysis of traffic conditions.....	159
<b><i>Oleksii Petrashenko, Roman Yefymenko, Yevhen Minenko</i></b> Analysis of seasonal changes of accident level on the roads of state importance and their impact on road accidents statistics.....	169

## ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES

<b><i>Nataliia Kharytonova, Tetiana Lozova</i></b> Systems of animal detection on highways. experience of USA and European countries.....	177
<b><i>Volodymyr Kaskiv, Ivan Kopynets, Oleksii Sokolov</i></b> Use of industrial by-products as mineral powders in road construction.....	183
<b><i>Nataliia Mironova, Anatolii Morozov, Tetiana Morozova, Victor Rybak</i></b> Investigation of acoustic load from traffic flow on the example of the city of Khmelnytsky.....	193

## SCIENTIFIC EVENTS

<b><i>Artem Bezugliy, Volodymyr Kaskiv, Larysa Bodnar, Yaroslav Bolotov</i></b> Results of the 1 <sup>st</sup> International Scientific and Practical Conference named after P.M. Koval «Current Issues of Bridge Economy and Ways of its Improvement».....	206
--	-----

УДК 338.5:625.08

Безуглий А. О.<sup>1</sup>, канд. екон. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0003-3883-7968>Бібік Ю. М.<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-7197-8909>Гресько І. Л.<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-7175-7436>Бельська О. Л.<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-6900-796X>Концева В. В.<sup>2</sup>, канд. екон. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-4911-7723><sup>1</sup> Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНД»), м. Київ, Україна<sup>2</sup> Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

---

## ФІНАНСОВА СПРОМОЖНІСТЬ ДОРОЖНІХ ПІДПРИЄМСТВ — ЯК ОДИН ІЗ КРИТЕРІЇВ ДЛЯ УЧАСТІ У ПРОЦЕДУРІ ЗАКУПІВЛІ

### *Анотація*

**Вступ.** Фінансова спроможність є комплексним поняттям, яке перебуває під впливом різних фінансових та економічних факторів та визначається можливістю підприємства здійснювати свою фінансову діяльність. Одним із кваліфікаційних критеріїв, передбачених в [1], є наявність фінансової спроможності, яка підтверджується фінансовою звітністю. При виконанні цього критерію, підприємства допускаються до прийняття участі у процедурі закупівлі на виконання дорожніх робіт чи послуг. На сьогодні аналіз фінансового стану за даними фінансової звітності є необхідною умовою оцінки якості фінансово-господарської діяльності підприємства, а визначення фінансової спроможності підприємств має істотне та практичне значення, адже від нього залежить економічний рівень підприємства в цілому та можливість ведення аналізу фінансової та господарської діяльності.

**Проблематика.** Вимоги до тендерної документації встановлюються замовником з метою перевірки учасника, його можливостей забезпечити реалізацію проекту закупівлі та виконати всі необхідні вимоги. Замовнику необхідно впевнитися, що державні кошти, витрачені на закупівлю, не будуть втрачені через фінансові проблеми підрядної організації, а також чи достатньо фінансових можливостей має підрядна організація для виконання дорожніх робіт. Критерій фінансової спроможності можна застосовувати до будь-яких закупівель, адже він передбачає підтвердження фінансових можливостей учасника.

Необхідність розгляду даної тематики полягає в проведенні оцінювання фінансової спроможності дорожніх підприємств, застосуванні теоретико-практичних підходів під час проведення оцінки. Оцінювання та визначення рівня фінансової спроможності дорожніх підприємств є важливим завданням і з огляду потреби самих підприємств і з огляду замовників дорожніх робіт та послуг.

**Мета.** Метою статті є висвітлення теоретичних та практичних підходів щодо оцінки фінансової спроможності дорожніх підприємств, визначення ефективності їхньої діяльності за результатами проведеної оцінки та визначення учасників, які допускатимуться до участі у процедурі закупівлі.

З огляду на необхідність встановлення рівня фінансової спроможності, як результату реалізації дорожнім підприємством свого потенціалу, важливо визначити та обґрунтувати конкретні показники фінансової спроможності та пропозиції щодо їх практичного застосування.

**Матеріали та методи.** Для визначення фінансової спроможності дорожніх підприємств використовується комплекс науково-методичних інструментів, економіко-математичних прийомів та методів на основі фінансової та статистичної інформації про діяльність підприємств і показників, які на неї впливають.

У цілому порядок проведення оцінки фінансової спроможності дорожніх підприємств передбачає виконання наступних етапів:

- здійснення збору необхідної інформації та даних про конкретні показники, що дозволять охарактеризувати фінансовий стан підприємства;
- проведення розрахунків показників;
- порівняння їх з нормативними значеннями.

Фінансова звітність підприємств містить інформацію щодо стану фінансів підприємств, на основі аналізу якої визначаються основні тенденції формування й використання фінансових ресурсів підприємства, причини змін, що сталися, виявлення сильних та слабких сторін підприємства, а також резервів для поліпшення фінансового стану підприємства у перспективі. Саме для проведення оцінки фінансової спроможності дорожніх підприємств сформовано комплекс показників аналізу фінансового стану підприємства. Дані фінансової звітності слугують базою для розрахунку показників.

**Результати.** У роботі висвітлено механізм з проведення оцінювання фінансової спроможності допоможе здійснювати комплексний аналіз фінансової діяльності дорожніх підприємств та визначати чи допускається підприємство, враховуючи його фінансові можливості, для участі у закупівлях на дорожні роботи чи послуги. Проведення оцінювання за фінансовими показниками та коефіцієнтами допоможе планувати та прогнозувати майбутню діяльність дорожніх підприємств для їх участі у процедурі закупівлі на виконання дорожніх робіт або надання послуг.

**Висновки.** У ході написання статті наведено приклад оцінювання фінансової спроможності, а також визначено її значимість на діяльність дорожніх підприємств. Коефіцієнти та показники, запропоновані в роботі, можуть використовуватися для проведення об'єктивного оцінювання фінансової спроможності дорожніх підприємств та дозволять: визначити ступінь платоспроможності дорожніх підприємств, ліквідність, рівень їх фінансової стійкості та ділової активності, визначити їх кредитоспроможність.

**Ключові слова:** дорожнє підприємство, показники, процедура закупівлі, фінансова звітність, фінансова спроможність.

### Вступ

Реалізація поставлених завдань і цільових програм розвитку країни безпосередньо взаємопов'язані з фінансовою стійкістю дорожніх підприємств — основних суб'єктів дорожньої галузі. У період глобальної перебудови світової економіки забезпечення стабільного функціонування дорожніх організацій вимагає постійного удосконалення механізмів та інструментів, що відповідають за фінансовий стан підприємства.

Фінансова спроможність дорожніх підприємств, в основі якої є забезпечення достатніми обсягами фінансових ресурсів, є чи не найважливішим фактором розвитку підприємства, сприяє веденню господарської діяльності належним чином, а також підвищує рівень розвитку підприємства в цілому. Тому, важливість оцінки фінансового стану будь-якого підприємства є беззаперечною.

**Мета й завдання роботи.** Метою статті є практичне висвітлення процесу проведення оцінки фінансової спроможності дорожніх підприємств для визначення серед них учасників, які допускатимуться до прийняття участі у процедурі закупівлі.

### Основна частина

Джерелом інформації для визначення фінансової спроможності є показники бухгалтерської (фінансової) звітності, які згідно з 1 розділу II [2], містяться у наступних формах фінансової звітності:

- форма 1 «Баланс» (далі — Ф.1), містить інформацію про стан активів, зобов'язань та власного капіталу підприємства на певну дату (на кінець кварталу або року);

- форма 2 «Звіт про фінансові результати» (далі – Ф.2), містить інформацію про доходи, витрати, прибутки і збитки від діяльності підприємства за звітний період (рік, квартал);
- форма 3 «Звіт про рух грошових коштів», містить інформацію про зміни, що відбулися в грошових коштах підприємства в результаті операційної, інвестиційної та фінансової діяльності підприємства за звітний період (рік);
- форма 4 «Звіт про власний капітал», містить інформацію зміни у складі власного капіталу підприємства за звітний період (рік);
- форма 5 примітки до фінансових звітів, містить детальнішу інформацію про фінансовий стан і діяльність, які відображені у балансі і звіті про фінансові результати.

Оцінювання фінансової спроможності дорожніх підприємств проводять на основі розрахунків п'яти груп показників (рис. 1).

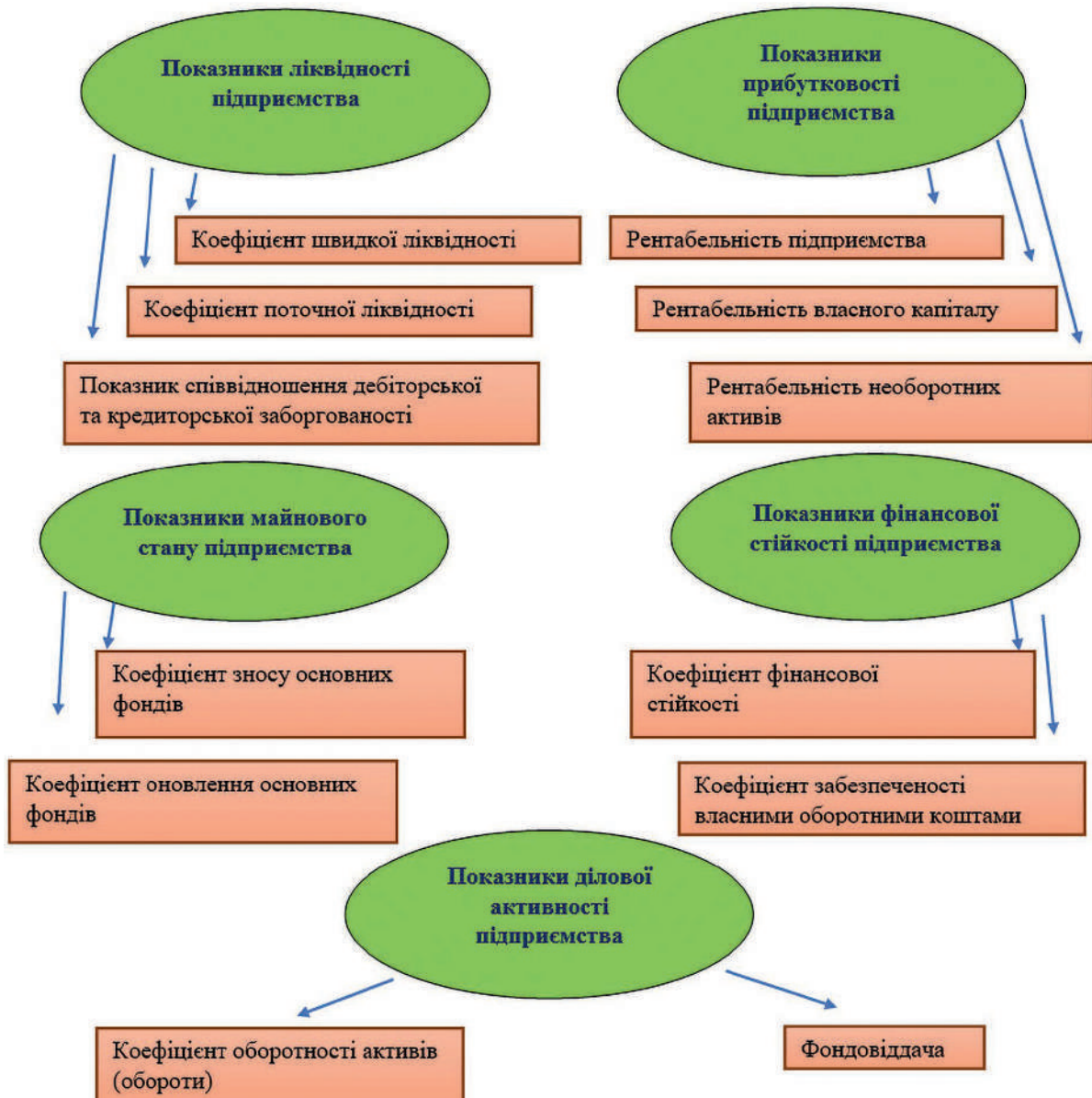
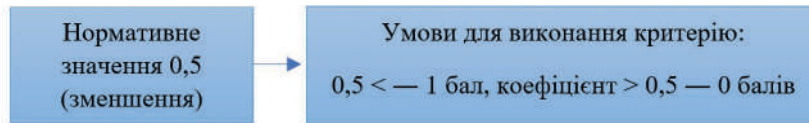


Рисунок 1 — Показники для проведення оцінювання фінансової спроможності

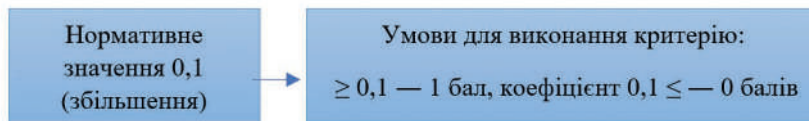
До цих груп входять такі показники:

## 1. Показники майнового стану підприємства.

1.1 Коефіцієнт зносу основних фондів. Коефіцієнт рівний відношенню суми нарахованої амортизації до первісної вартості основних засобів.

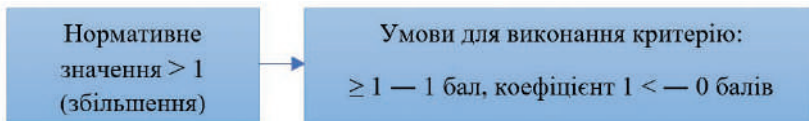


1.2 Коефіцієнт оновлення основних фондів. Обчислюється як відношення вартості основних фондів, введених в експлуатацію протягом року, до їх вартості на кінець року.

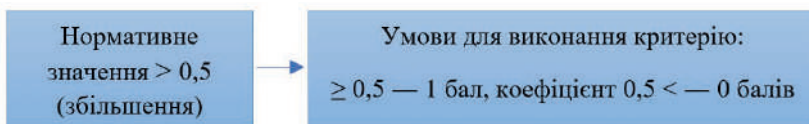


## 2. Показники ліквідності підприємства.

2.1 Коефіцієнт поточної ліквідності. Характеризує здатність підприємства забезпечити свої короткострокові зобов'язання за допомогою оборотних коштів.



2.2 Коефіцієнт швидкої ліквідності. Показник показує платіжні можливості підприємства щодо погашення поточних зобов'язань за умови своєчасного здійснення розрахунків з дебіторами.

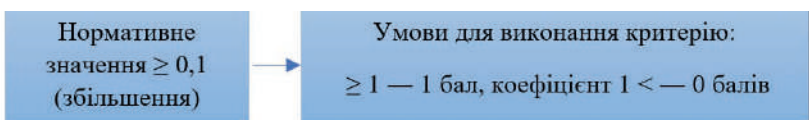


2.3 Показник співвідношення дебіторської та кредиторської заборгованості. Показник враховує вплив кредиторської та дебіторської заборгованості на ліквідність і платоспроможність.

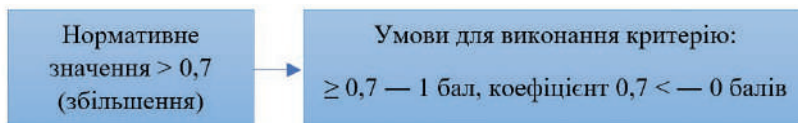


## 3. Показники фінансової стійкості підприємства.

3.1 Коефіцієнт забезпеченості власними оборотними коштами. Коефіцієнт свідчить про рівень фінансування запасів за рахунок довгострокових джерел фінансових ресурсів.

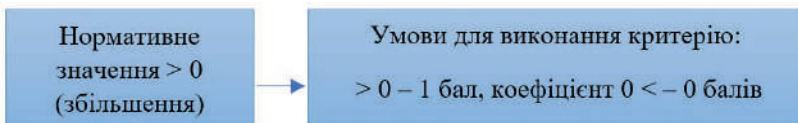


3.2 Коефіцієнт фінансової стійкості. Коефіцієнт фінансової стійкості є індикатором, який говорить про здатність підприємства залишатися платоспроможним в довгостроковій перспективі.

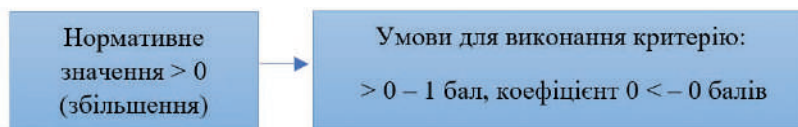


## 4. Показники ділової активності підприємства.

4.1 Коефіцієнт оборотності активів. Характеризує ефективність використання підприємством усіх наявних ресурсів, незалежно від джерел їхнього залучення.

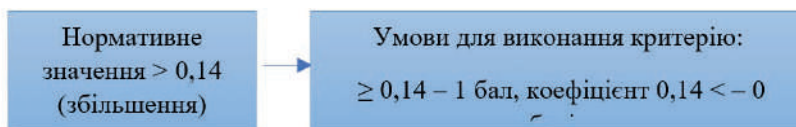


4.2 Фондовіддача. Показує ефективність використання основних засобів підприємства.

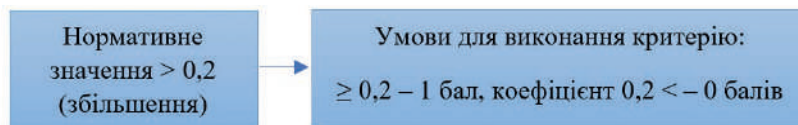


## 5. Показники прибутковості підприємства.

5.1 Рентабельність підприємства. Рентабельність необхідна для аналізу господарської та економічної діяльності будь-якого підприємства.



5.2 Рентабельність власного капіталу. Дозволяє визначити зростання діяльності підприємства за аналізований період.



5.3 Рентабельність необоротних активів. Демонструє здатність підприємства забезпечувати достатній обсяг прибутку по відношенню до основних засобів підприємства.

Наведемо приклад проведення оцінки фінансової спроможності підприємств дорожньої галузі, які виконують роботи на автомобільних дорогах загального користування, на основі даних фінансової звітності 3-х підприємств. Вихідні дані, відповідно до яких здійснювався розрахунок показників для визначення фінансової спроможності, є умовними. Вихідні дані для розрахунку занесені у **табл. 1**, а результати проведених розрахунків занесені до **табл. 2**. Інформація щодо результатів оцінки фінансової спроможності дорожніх підприємств занесена у **табл. 3**.

Таблиця 1

Вихідні дані для проведення оцінювання фінансової спроможності

Назва підприємства	Ф.1 рядок 1012	Ф.1 рядок 1011 (на кінець поточного року)	Ф.1 рядок 1011 (на кінець попереднього року)	Ф.1 рядок 1195	Ф.1 рядок 1695	Ф.1 рядок 1100	Ф.1 рядок 1095 (на кінець поточного року)	Ф.1 рядок 1495 (на кінець поточного року)	Ф.1 рядок 1595	Ф.2 рядок 2000 (на кінець поточного року)	Ф.1 рядок 1300 (на кінець поточного року)
Підприємство А	61 650	342 365	199 734	167770	89 635	27 722	283 877	341 801	20 211	1 316 665	451 647
Підприємство Б	7 262	29 512	16 167	324234	332 149	9 065	22 283	14 368	0	877 139	346 517
Підприємство В	112 651	393 724	244 855	3737581	320 8477	372 256	385 510	529 104	0	634 042	3 737 581

Продовження таблиці 1

Назва підприємства	Ф.1 рядок 1300 (на кінець попереднього року)	Ф.1 рядок 1010 (на кінець поточного року)	Ф.1 рядок 1010 (на кінець попереднього року)	Ф.1 рядок 1900 (на кінець поточного року)	Ф.1 рядок 1900 (на кінець попереднього року)	Ф.1 рядок 1495 (на кінець попереднього року)	Ф.1 рядок 1095 (на кінець попереднього року)	Ф.1 рядок 1125 (на кінець поточного року)	Ф.1 рядок 1615 (на кінець поточного року)	Ф.2 рядок 2350 (на кінець поточного року)
Підприємство А	263 774	280 715	171 105	451 647	263 774	178 703	171 250	528 002	53 608	142 129
Підприємство Б	103 888	22 250	14 303	346 517	103 888	2 968	14 331	95 977	293 896	11 400
Підприємство В	2 449 723	281 073	182 205	3 737 581	2 449 723	367 501	189 483	468 906	2 644 528	67 278

Таблиця 2

Розрахунок фінансової спроможності

Назва підприємства	Показники майнового стану		Показники ліквідності				Показники фінансової стійкості	
	Коефіцієнт зносу основних фондів	Коефіцієнт оновлення основних фондів	Коефіцієнт поточної ліквідності (покриття)	Коефіцієнт швидкої ліквідності	Показник співвідношення дебіторської та кредиторської заборгованості	Коефіцієнт забезпеченості власними оборотними коштами	Коефіцієнт фінансової стійкості	
	$0,5 \leq$	$0,1$	$> 1$	$> 0,5$	від 1 до 2	$\geq 0,1$	$> 0,7$	
Підприємство А	зменшення	збільшення	збільшення	збільшення	1,02	збільшення	збільшення	
	0,18	0,4	1,87	1,56		0,35	0,8	
Підприємство Б	0,25	0,5	0,98	0,95	3,06	-0,02	0	
Підприємство В	0,29	0,4	1,16	1,05	5,64	0,04	0,1	

Продовження таблиці 2

Назва підприємства	Показники ділової активності		Показники прибутковості підприємства		
	Коефіцієнт оборотності активів (оборотів)	Фондо-відача	Рентабельність підприємства	Рентабельність власного капіталу	Рентабельність необоротних активів
	$> 0$	$> 0$	$\geq 0,14$	$\geq 0,2$	$\geq 0,2$
	збільшення	збільшення	збільшення	збільшення	збільшення
Підприємство А	3,68	5,83	0,40	0,55	0,62
Підприємство Б	3,89	47,99	0,05	1,32	0,62
Підприємство В	0,20	2,74	0,02	0,15	0,23



Виконавши розрахунки коефіцієнтів по підприємствах дорожньої галузі, можемо зробити такі висновки.

Коефіцієнт зносу основних фондів. Усі підприємства мають значення в межах нормативного (від 0,18 до 0,28), а отже рівень придатності дорожніх машин і механізмів є достатнім. При збільшенні коефіцієнта зносу основних фондів, необхідно звернути на це увагу, адже його збільшення може негативно вплинути на виконання дорожніх робіт у майбутньому.

Коефіцієнт оновлення основних фондів. За результатами розрахунків видно, що значення коефіцієнта аналізованих підприємств знаходиться вище нормативного рівня (від 0,4 до 0,5), це означає, що підприємства своєчасно оновлюють парк дорожніх машин та механізмів, що задіяні при виконанні дорожніх робіт. Дорожні машини та механізми, строк корисного використання яких закінчився, замінюються новими дорожніми машинами та механізмами або виконується їх капітальний ремонт, що дозволяє підприємствам підтримувати парк дорожніх машин і механізмів на належному рівні, що звісно позначиться на результатах виконання дорожніх робіт.

Коефіцієнт поточної ліквідності (покриття). Аналіз результатів розрахунків даного коефіцієнта по підприємствах показує нам, що Підприємство А (1,87) та Підприємство В (1,16) мають достатній рівень платоспроможності, у той час як Підприємство Б (0,98) має незначні проблеми з платоспроможністю, адже фактичне значення коефіцієнта наближене до нормативного.

Коефіцієнт швидкої ліквідності. Значення коефіцієнта (від 0,95 до 1,56) показує, що всі підприємства мають достатній рівень обігових коштів для того, щоб швидко розрахуватися за своїми короткостроковими зобов'язаннями.

Показник співвідношення дебіторської та кредиторської заборгованості. Значення даного показника більше за 2 та означає, що Підприємство Б (3,06) та Підприємство В (5,64) залучають кошти від кредиторів більше ніж надають дебіторам. Значення показника Підприємства А (1,02) знаходиться в межах нормативного. Необхідно звернути увагу, що неможливість погасити свої зобов'язання вчасно може призвести до погіршення відносин, наприклад із постачальниками дорожніх матеріалів.

Коефіцієнт забезпеченості власними оборотними коштами. Аналіз результатів даного показника показав, що значення показників Підприємства Б (- 0,02) та Підприємства В (0,04) мають залежність від зовнішніх кредиторів. Значення показника Підприємства А (0,35) свідчить про фінансову стійкість підприємства і здатність вести активну діяльність.

Коефіцієнт фінансової стійкості. Результати розрахунку даного коефіцієнта показують, що Підприємство А (0,8) є платоспроможним у довгостроковій перспективі. Значення показників Підприємства Б (0) та Підприємства В (0,1) показують недостатню фінансову стійкість в довгостроковій перспективі.

Коефіцієнт оборотності активів (обороту). Порівнюючи значення коефіцієнта, можна зробити висновки, що більш високі значення показників Підприємства А (3,68) та Підприємства Б (3,89) свідчать про те, що вони більш ефективніше використовують свої ресурси порівняно з Підприємством В (0,20).

Фондовіддача. Більш високий показник Підприємства Б (47,99) свідчить про високу завантаженість основних засобів підприємства, що означає регулярну участь у виконанні дорожніх робіт. Два інших підприємства — Підприємство А (5,83) та Підприємство В (2,74) також мають позитивну динаміку до зростання цього показника.

Рентабельність підприємства. Саме показник рентабельності виступає основним критерієм ефективності роботи підприємства. Бачимо, що Підприємство А (0,40) має найвищий показник рентабельності (прибутковості) серед інших аналізованих підприємств — Підприємства Б (0,05) та Підприємства В (0,02).

Рентабельність власного капіталу. Аналіз даного показника показав нам, що капітал Підприємства А (0,55) та Підприємства Б (1,32) використовується більш ефективніше, ніж капітал Підприємства В (0,15).

Рентабельність необоротних активів. Аналіз даного показника показав, що його значення є в межах нормативних для всіх підприємств. Вищі значення показника у Підприємства А (0,62) та Підприємства Б (0,62) показують більшу ефективність від використання основних засобів, а також швидші темпи зростання власного капіталу.

Після проведення фінансової оцінки за визначеними показниками, необхідно провести ретельне вивчення основних причин змін тих чи інших показників від їх нормативного рівня. Всі ці заходи проводяться, щоб визначити поточний стан фінансової спроможності підприємства, обґрунтувати подальші заходи щодо його покращення. Адже капіталовкладення в першу чергу необхідно робити у підприємства, які є фінансово стабільними, мають не застарілі основні засоби, обладнання та технології, що збільшує їх інвестиційну привабливість перед замовником.

*Таблиця 3*

*Визначення фінансової спроможності за результатами проведеного оцінювання*

Назва підприємства	Коефіцієнт зносу основних фондів	Коефіцієнт оновлення основних фондів	Коефіцієнт поточної ліквідності (покриття)	Коефіцієнт швидкої ліквідності	Показник співвідношення дебіторської та кредиторської заборгованості	Коефіцієнт забезпеченості власними оборотними коштами	Коефіцієнт фінансової стійкості
Підприємство А	1	1	1	1	0	1	1
Підприємство Б	1	1	0	1	0	0	0
Підприємство В	1	1	1	1	0	0	0

*Продовження таблиці 3*

Назва підприємства	Коефіцієнт оборотності активів (обороту)	Фондовіддача	Рентабельність підприємства	Рентабельність власного капіталу	Рентабельність необоротних активів	Загальна оцінка фінансової спроможності (кількість балів)
Підприємство А	1	1	1	1	1	11
Підприємство Б	1	1	0	1	1	7
Підприємство В	1	1	0	0	1	7

За результатами проведення оцінки фінансової спроможності дорожніх підприємств визначається кількість набраних балів, що відображають фінансовий стан підприємства. Результат проведення оцінки фінансової спроможності дорожніх підприємств, згідно із [3], може мати наступні значення:

- хороша фінансова спроможність від 9 до 12 набраних балів;
- допустима фінансова спроможність від 4 до 8 набраних балів;
- недостатня фінансова спроможність від 0 до 3 набраних балів.

Отже, виконавши розрахунки відповідно до методології наведеної вище, можемо зробити висновки щодо отриманих результатів: загальна оцінка фінансової спроможності Підприємства А

складає 11 балів, що свідчить про те, що підприємство має хорошу фінансову спроможність. Підприємство Б та Підприємство В у результаті проведення оцінки фінансової спроможності отримали по 7 балів, що свідчить про те, що вони мають допустиму фінансову спроможність. Отже, за результатами проведення оцінки фінансової спроможності, всі підприємства допускаються до прийняття участі в процедурі закупівлі послуг чи робіт, що виконуються на автомобільних дорогах загального користування державного значення. Враховуючи те, що Підприємство А має вищий загальний показник фінансової спроможності, то при всіх інших рівних характеристиках Підприємство А має пріоритет перед двома іншими підприємствами у прийнятті участі у процедурі закупівлі на надання послуг або виконання дорожніх робіт, адже результати його оцінки свідчать, що воно є більш фінансово спроможним та стійким, що безпосередньо може вплинути на рішення замовника щодо обрання такого підприємства переможцем конкурсних торгів.

Досліджуючи питання виконання критерію фінансової спроможності визначено: поняття фінансової спроможності підприємств, перелік фінансових документів та звітів, необхідних для підтвердження фінансової спроможності підприємств, основні критерії та групи показників за допомогою яких здійснюється об'єктивне оцінювання фінансового стану дорожніх підприємств.

Таким чином, достатня фінансова спроможність характеризується станом підприємства, при якому:

- є достатня наявність основних засобів, що забезпечує безперервність його діяльності, а також спостерігається позитивна динаміка щодо їх заміни чи своєчасного ремонту;
- спостерігається достатній рівень платоспроможності, який дозволяє розраховуватися зі своїми поточними зобов'язаннями;
- співвідношення кредиторської та дебіторської заборгованості є збалансованим;
- показник фінансової стійкості знаходиться на високому рівні та забезпечує підприємству економічну незалежність;
- підприємство здатне ефективно вести свою діяльність та розпоряджатися своїми внутрішніми ресурсами;
- має динаміку до зростання рівня рентабельності, за рахунок якої підприємство має змогу розвиватися та вести безперебійну діяльність.

Перспективами подальших досліджень може бути розроблення заходів щодо підвищення ефективності управління фінансовими ресурсами на підприємстві, що в свою чергу сприятиме покращенню ведення фінансової політики на підприємстві, підвищить конкурентоспроможність серед дорожніх підприємств. На нашу думку формування належної фінансової спроможності залежить від самого підприємства, а саме від наявності кваліфікованих трудових ресурсів, достатньої кількості машин та механізмів для виконання дорожніх робіт, ефективного використання своїх внутрішніх ресурсів, сприяння залученню інвестицій. Поєднання вищезазначеного дозволить забезпечити фінансовий розвиток підприємства та отримувати реальні можливості щодо укладання договорів на виконання дорожніх робіт, збільшити темпи проросту прибутку, який посприє удосконаленню технологій, забезпечить технічне переозброєння основних засобів і, як наслідок приведе до покращення фінансової спроможності підприємства в цілому.

### Список літератури

1. Про публічні закупівлі: Закон України від 25.12.2015 № 922-VIII (чинний в редакції від 23.01.2021 № 1021-IX) // База даних Законодавство України / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/922-19/ed20210123#Text> (дата звернення: 04.08.2021).
2. Про затвердження Національного положення (стандарт) бухгалтерського обліку 1 «Загальні вимоги до фінансової звітності»: Наказ Міністерства фінансів України від 07.02.2013

№ 73 (чинний в редакції від 23.07.2019 № z0685-19) // База даних Законодавство України / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0336-13#Text> (дата звернення: 04.08.2021).

3. МР Д.1.2-37641918-915:2020 Методичні рекомендації з визначення фінансової спроможності дорожніх підприємств. Київ, 2020. 18 с. (Інформація та документація).

### References

1. On public procurements: Law of Ukraine dated 25.12.2015 № 922-VII, edition dated 23.01.21 // Database Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/922-19/ed20210123#Text> (Last accessed: 04.08.2021).

2. On approval of the National Regulation (Standard) of Accounting 1 «General requirements for financial reporting»: Order of the Ministry of Finance of Ukraine dated 07.02.2013 № 73 // Database Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0336-13#Text> (Last accessed: 04.08.2021).

3. MR D.1.2-37641918-915:2020 Methodical recommendations for determination of the financial capacity of road enterprises (Information and documentation).

---

Artem Bezugliy<sup>1</sup>, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0003-3883-7968>

Yuliya Bibyk<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-7197-8909>

Ihor Hresko<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-7175-7436>

Olena Belska<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-6900-796X>

Valentyna Kontseva<sup>2</sup>, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-4911-7723>

<sup>1</sup> M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> National Transport University, Kyiv, Ukraine

## FINANCIAL CAPACITY OF ROAD ENTERPRISES — AS ONE OF THE CRITERIA FOR PARTICIPATION IN THE PROCUREMENT PROCEDURE

### Abstract

**Introduction.** Financial capacity is a complex concept that is influenced by various financial and economic factors and is determined by the ability of the enterprise to perform its financial activities. One of the qualification criteria provided in [1] is the financial capacity availability, which is confirmed by financial statements. When fulfilling this criterion, enterprises are allowed to participate in the procurement procedure for performing of road works or services. Today, the analysis of financial condition according to the financial statements is a needed condition for evaluation the quality of financial and economic activities of the enterprise, and the determination of financial capacity of enterprises is essential and practical, because the economic level of the enterprise and the ability to analyze financial and economic activities depend on it.

**Problem statement.** Requirements to the tender documents are set by the customer in order to verify the bidder, his ability to ensure the implementation of the procurement project and meet all the needed requirements. The customer needs to make sure that the public funds spent on the purchase will not be lost due to the financial problems of the contractor, as well as whether the contractor has sufficient financial capacity to perform road works. The criterion of financial capacity can be applied to any procurement, because it provides confirmation of the financial capabilities of the bidder.

The need to consider this topic is to evaluate the financial capacity of road enterprises, the application of theoretical and practical approaches during the evaluation. Assessing and determining

the level of financial capacity of road enterprises is an important task both in view of the needs of the enterprises themselves and in view of the customers of road works and services.

**Purpose.** The purpose of the article is to highlight the theoretical and practical approaches to evaluation of the financial capacity of road enterprises, determination of the effectiveness of their activities based on the results of the evaluation and determination of bidders that will be allowed to participate in the procurement procedure.

Given the need to establish the level of financial capacity as a result of the road company's realization of its potential, it is important to identify and justify specific indicators of financial capacity and proposals for their practical application.

**Materials and methods.** To determine the financial capacity of road enterprises, a set of scientific and methodological tools, economic and mathematical techniques and methods based on financial and statistical information about the activities of enterprises and indicators that affect it is used. In general, the procedure for evaluation of the financial capacity of road enterprises involves the following stages:

- collection of needed information and data on specific indicators that will characterize the financial state of the enterprise;
- calculation of indicators;
- comparing them with normative values.

The financial statements of enterprises contain information on the state of enterprise finances, based on the analysis of which the main trends in the formation and use of financial resources of the enterprise, the reasons for changes, identifying strengths and weaknesses of the enterprise are determined, as well as reserves to improve financial condition in the future. It is for the assessment of the financial capacity of road enterprises a set of indicators for analyzing the financial condition of the enterprise is formed. Financial reporting data serve as a basis for calculating indicators.

**Results.** The paper highlights the mechanism for evaluation of the financial capacity that will help to perform a comprehensive analysis of the financial activity of road companies and determine whether the company is allowed, given its financial capabilities, to participate in road works or services procurements. Evaluation of financial indicators and ratios will help for planning and forecasting the future activities of road companies for their participation in the procurement procedure for road works or services.

**Conclusions.** When writing of the article provides an example of evaluation of the financial capacity, as well as its significance for the activities of road enterprises is determined. The coefficients and indicators proposed in the work can be used for objective evaluation of the financial capacity of road enterprises and will allow the following: to determine the degree of solvency of road enterprises, liquidity, the level of their financial stability and business activity, to determine their creditworthiness.

**Keywords:** road enterprises, indicators, procurement procedure, financial statements, financial capacity.

УДК 625.76

Іванченко В. О.<sup>1</sup>, д-р екон. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0003-4014-0780>Загорняк О. В.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0003-3830-4520><sup>1</sup> Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П.Шульгіна», м. Київ, Україна<sup>2</sup> Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна

---

## СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ДОРОЖНЬОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В РЕГІОНАХ, ЯКІ ЗАЗНАЛИ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ЗБРОЙНОГО КОНФЛІКТУ НА СХОДІ УКРАЇНИ

### *Анотація*

**Вступ.** Ключову роль в реалізації стратегії держави, щодо стимулювання економічного розвитку східних регіонів України, відіграє розвиток транспортної інфраструктури, найважливішою складовою якої є мережа автомобільних доріг державного значення. Частина доріг, що були пошкоджені внаслідок збройного конфлікту на сході України, залишаються в незадовільному стані.

**Проблематика.** Збройний конфлікт на сході України на території Донецької та Луганської областей призвів до пошкодження та руйнування дорожньої інфраструктури, що у свою чергу ускладнило та здорожчало автомобільні перевезення. У наслідок руху великогабаритної та важкої військової техніки, що найчастіше рухались колонами, на автомобільних дорогах державного та місцевого значення спостерігаються вибоїни, просідання, руйнування країв дорожнього одягу, колійність.

Для покращення ситуації та приведення експлуатаційних показників до відповідного нормативу, було запроваджено ряд Державних цільових програм та проектів. Але частина доріг залишилася зруйнованими та потребують фінансування для проведення ремонтів та реконструкції.

**Мета й завдання роботи.** Метою статті є висвітлення стану та перспектив розвитку дорожньої інфраструктури в регіонах, які зазнали негативного впливу збройного конфлікту на сході України.

**Матеріали та методи.** Під час написання статті було використано діалектичні методи наукового пізнання для формування переліку автомобільних доріг державного значення в східних регіонах України, насамперед аналіз та синтез. Також застосовано емпіричні методи пізнання, такі як опис, вимірювання та порівняння.

**Результати.** У роботі висвітлено та охарактеризовано стан дорожньої інфраструктури в регіонах, які зазнали негативного впливу збройного конфлікту на сході України та розкрито перспективи її розвитку.

**Висновки.** Необхідність у фінансуванні ремонту та відновлення доріг, що не були внесені до переліку уже затверджених та профінансованих програм, та формуванні чітких стратегічних напрямів можуть бути передбачені Програмою заходів щодо відновлення і розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення у Донецькій та Луганській областях, що зазнали негативного впливу збройного конфлікту з урахуванням пріоритетів відновлення та розбудови миру, реалізації промислового потенціалу східних регіонів України та принципів розвитку усієї мережі автомобільних доріг загального користування державного значення України. Критичним для реалізації цього плану є прийняття Урядом програми відновлення та розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення в регіонах, які зазнали негативного впливу збройного конфлікту на сході України.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, витрати, дорожня інфраструктура, збройний конфлікт, планування, фінансування.

## Вступ

Внаслідок бойових дій на частині території Донецької та Луганської областей велика кількість об'єктів транспортної інфраструктури зазнала пошкоджень і руйнувань. На окупованій території знищено Донецький та Луганський аеропорти, залізничний вузол Дебальцеве, через пошкодження об'єктів інфраструктури (колії, мости, шляхопроводи) і знищення пристроїв електропостачання (тягових підстанцій, контактної мережі та енергетичного обладнання), зупинена робота залізничних вузлів Микитівка, Попасна, Ясинувата. Відсутня можливість відправляти вантажі з понад 50 основних вантажних станцій Донецької залізниці. Відповідно до цього, всі вантажні та пасажирські перевезення було перенесено на потужності автомобільного транспорту, що суттєво вплинуло на стан автомобільних доріг Донецької та Луганської областей.

Крім цього, у результаті збройного конфлікту на сході України, зруйновано більше 1,5 тис. об'єктів транспортної інфраструктури, транспортні споруди, що знаходяться на автодорогах загального користування. Зазнали руйнувань 740,3 км автомобільних доріг загального користування у Донецькій області та 820,7 км — у Луганській області, а також 33 мости і шляхопроводи.

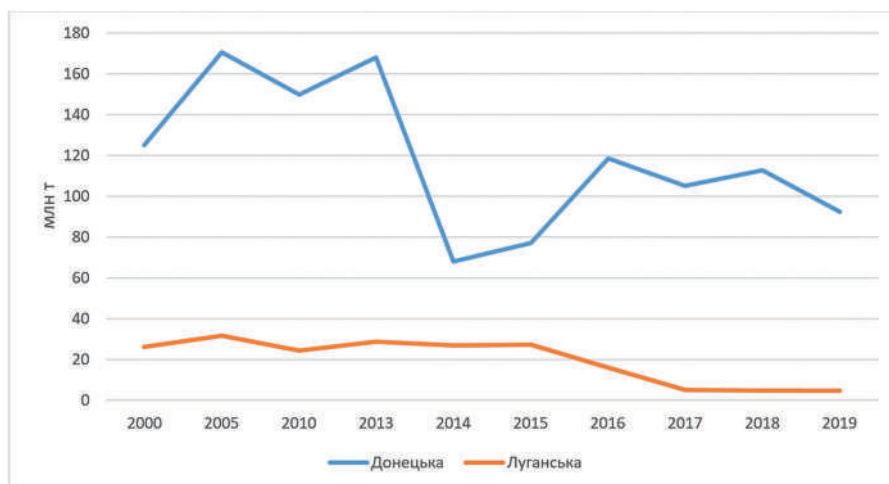
Для зниження соціального навантаження, відновлення та розвитку транспортної інфраструктури Донецької та Луганської областей було затверджено Державну цільову програму відновлення та розбудови миру в східних регіонах України, в якій передбачено відновлення доріг місцевого значення. Крім цього, у регіоні роботи ведуться за Державною цільовою економічною програмою розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018—2022 роки та ряду інших проєктів.

Питанню перспектив розвитку дорожньої інфраструктури та дорожнього господарства зокрема, приділяли увагу науковці: Бурик М. М. в частині планувати розвитку дорожньої інфраструктури [1], Токар І. І в частині аналізу сучасного стану та тенденцій розвитку дорожнього господарства [2], Серьогіна Н. В. в частині фінансування розвитку дорожньої інфраструктури [3], Лютий І. О. та Ювженко Н. М. в частині аналізу систем фінансування дорожньої інфраструктури [4] тощо. Але частина питань, що характеризують саме стан та розвиток дорожньої інфраструктури в регіонах, які зазнали негативного впливу збройного конфлікту на сході України залишаються не розкритими, а проблеми не вирішеними.

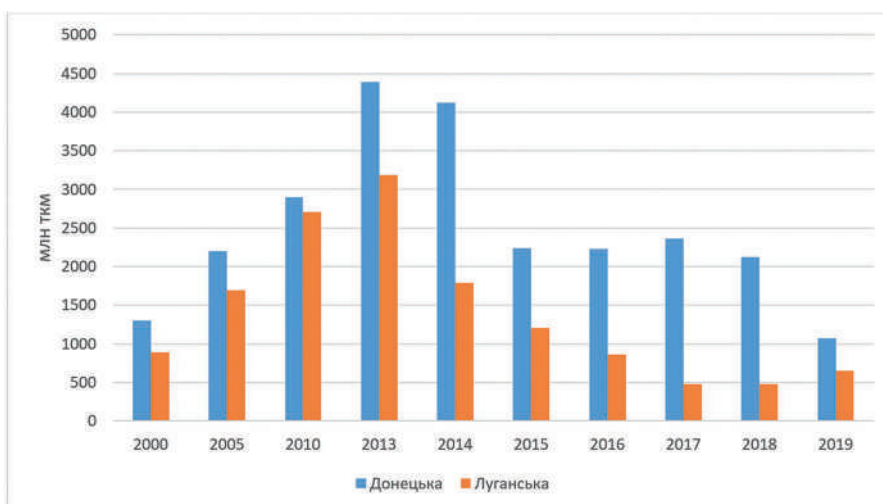
## Виклад основного матеріалу

У Донецькій та Луганській областях, у наслідок негативного впливу збройного конфлікту на сході України, суттєво пошкоджена та зруйнована дорожня інфраструктура, а також ускладнена та погіршена економічна ефективність автомобільних перевезень. Внаслідок появи лінії розмежування залізничне сполучення в регіоні було розподілене на 2 паралельні колії, що унеможливило залізничні перевезення між густонаселеними територіями Старобільського, Білокуракинського, Новоайдарського, Біловодського та Марківського районів (в яких працюють понад 250 сільськогосподарських підприємств) та між ними й іншими регіонами України. У свою чергу таке становище передбачає перевезення вантажів і пасажирів автомобільним транспортом. Хоча обсяги перевезення вантажів дещо знизилися (**рис. 1**), вони все рівно у 2018 році перевищили 100 млн т у Донецькій області та 4 млн т — у Луганській області.

Але, при значних зменшеннях обсягів перевезення вантажів у 2017–2018 роках порівняно з 2010–2013 роками, спостерігаються значні показники вантажообігу (**рис. 2**).



**Рисунок 1** — Обсяги перевезення вантажів автомобільним транспортом в Донецькій та Луганській областях<sup>1)</sup>



**Рисунок 2** — Вантажообіг автомобільного транспорту в Донецькій та Луганській областях<sup>1)</sup>

За період з 2015 по 2018 роки вантажообіг перевищує 2 000 млн ткм у Донецькій області та 500 млн ткм — у Луганській області. У 2019 році перевезення вантажів у Донецькій області зменшилося майже у 2 рази до рівня 1 073 млн ткм, а у Луганській області збільшилося до рівня 651 млн ткм.

Крім вантажообігу, значним залишається та перевезення пасажирів. У 2016–2018 роках спостерігались майже незмінні обсяги перевезень пасажирів. Так, у Донецькій області перевезення автомобільним транспортом (автобусами) наближалось до 100 млн пасажирів (**рис. 3**).

У Луганській області цей показник дещо нижчий. Але, все рівно залишався суттєвим. Цьому підтвердженням є обсяги пасажирообороту в цих областях (**рис. 4**).

Починаючи з 2016 року спостерігається незначне збільшення пасажирообороту, цьому сприяло відновлення існуючих і створення нових транспортних зв'язків.

<sup>1)</sup> за матеріалами [5, 6].



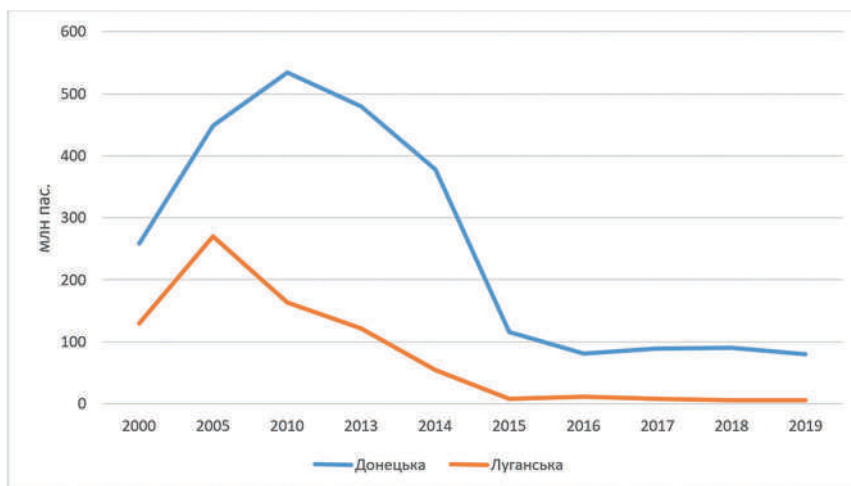


Рисунок 3 — Перевезення пасажирів автомобільним транспортом (автобусами) у Донецькій та Луганській областях<sup>2)</sup>

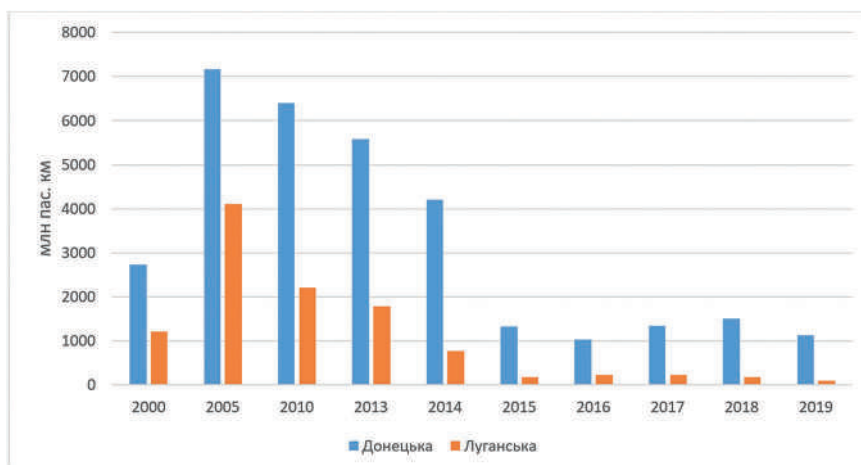


Рисунок 4 — Пасажирооборот автомобільного транспорту в Донецькій та Луганській областях<sup>2)</sup>

Але збільшення товарообороту та пасажирообороту, що виконує автомобільний транспорт не можливий без якісних автомобільних доріг. Під час військових дій в Донецькій та Луганській областях значна частина автомобільних доріг втратила свої експлуатаційні характеристики та потребує капітального ремонту. У наслідок руху великогабаритної та важкої техніки, що найчастіше рухались колонами, на автомобільних дорогах державного та місцевого значення спостерігаються вибоїни, просідання, руйнування країв дорожнього одягу, колійність. Для покращення ситуації та відновлення автомобільних доріг було запроваджено ряд Державних цільових програм та проєктів:

1. Державна цільова програма відновлення та розбудови миру в східних регіонах України. Постанова Кабміну України від 13.12.2017 № 1071 [7].
2. Державна цільова економічна програма розвитку автомобільних доріг загального

<sup>2)</sup> за матеріалами [5, 6].

користування державного значення на 2018—2022 роки затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 21.03.2018 № 382 [8].

3. Проєкт «Східна Україна: возз'єднання, відновлення та відродження — Проєкт 3В», схвалений розпорядженням голови ОДА Луганської області 24.07.2020 №517 [9].

Відновлення автомобільних доріг загального користування державного значення у Донецькій та Луганській областях надасть можливість:

- забезпечити поступове нарощування транзитного потенціалу регіону шляхом формування сучасної транспортно-логістичної інфраструктури відповідно до європейських стандартів, що передбачає пріоритетний розвиток логістичних центрів складування, перероблення та сортування вантажів (у населених пунктах Артемівськ, Слов'янськ, Селідово, Новоазовськ, Мангуш, Володарське), а також удосконалення технологій перевезень на основі логістичних товаропровідних систем, надання послуг за принципом «єдиного вікна», що передбачає взаємодію портів, залізничного та автомобільного транспорту;

- покращеного доступу до залізничних вузлів і морського порту, вантажних митних комплексів, транспортних розв'язок та шляхопроводів, пунктів дорожнього сервісу, автостанцій (у населених пунктах Димитрове, Селідово, Новгородівка, Станія Луганська, Лисичанськ) з метою розвитку й підвищення оперативності функціонування транспортної системи регіону;

- запровадити інтелектуальні транспортні системи (Intelligent Transport System (ITS)) (поширених в країнах ЄС, Японії, Китаї, США), що забезпечують вищий рівень безпеки предмету транспортування, оскільки надасть інформацію про його рух та місцезнаходження в режимі реального часу.

Крім зазначеного, потреба Служб автомобільних доріг у Донецькій та Луганській областях становить у:

- проведенні капітального ремонту 9 мостів, з яких 3 зруйновані внаслідок бойових дій;
- відновленні інфраструктури на дорогах загального користування державного та місцевого значення, що зв'язують районні центри Донеччини та Луганщини з іншими регіонами України;

- будівництві під'їздів до залізничної гілки «Сватове – Білокуракине», що з'єднає залізницю «Кондрашівська-Нова – Лантратівка» (Старобільська ділянка) із залізницями України;

- посиленні доріг і перегляду їх статусу доріг у напрямі його підвищення;

- реконструкції існуючих автомобільних доріг місцевого значення за напрямками: Сватове (від автодороги Р-66) – Ізюм (Харківська область); Кременна – Слов'янськ (Донецька область) і приведення їх у відповідність до параметрів доріг державного значення;

- посиленні широтного транспортного зв'язку у напрямку Харківської області (проведення реконструкції існуючої регіональної дороги Р-07 Чугуїв – Мілове зі зміною її статусу на національну);

- створенні мередіанального напрямку «північ-південь» — удосконалення ділянки територіальної дороги державного значення Т-13-02 від КПП «Танюшівка» до м. Старобільськ та приєднання її до національної дороги державного значення Н-21.

Для вирішення зазначених проблем можливо їх об'єднання в одній програмі відновлення та розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення в регіонах, які зазнали негативного впливу збройного конфлікту на сході України (далі — Програма), яка визначатиме основні завдання і заходи розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення в Донецькій та Луганській областях та суміжних із ними областях за потреби.

Програма може бути спрямована на забезпечення ефективного функціонування та розвитку наявної мережі автомобільних доріг загального користування державного значення за маршрутами міжнародних та національних транспортних коридорів, підвищення безпеки руху, швидкості, комфортності та економічності автоперевезень пасажирів і вантажів та забезпечення належного експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування державного значення.

Реалізацію Програми потрібно передбачити в довгостроковому плануванні завдань і заходів щодо відновлення та розвитку мережі автомобільних доріг загального користування державного значення в Донецькій та Луганській областях, а також відновлення мостів, шляхопроводів та інших транспортних споруд (у тому числі зруйнованих в результаті збройного конфлікту на сході України) за маршрутним принципом з відповідною дорожньою інфраструктурою на підставі сучасних будівельних норм та стандартів, в яких враховується європейська практика та принципи.

Реалізація зазначеної програми забезпечить:

- відновлення та розвиток мережі автомобільних доріг загального користування державного значення і мостів за маршрутним принципом, Донецької та Луганської областей (Покровське – Дружківка – Костянтинівка – Краматорськ – Слов'янськ – Бахмут – Лисичанськ – Сєвєродонецьк – Сватово – Троїцьке – Старобельськ – Мелове), згідно із сучасними європейськими стандартами з відповідною дорожньою інфраструктурою;
- завершення об'єктів незавершеного будівництва високого ступеня готовності з найвищим показником соціально-економічної ефективності;
- поетапне впровадження довгострокових контрактів (на 5–7 років) на експлуатаційне утримання автомобільних доріг загального користування державного значення (насамперед, міжнародних) з використанням нової системи оцінки результатів роботи підрядника на підставі кількісних показників транспортно-експлуатаційного стану, що корелюються з рівнем безпеки та споживчими якостями автомобільних доріг;
- застосування науково-обґрунтованих методик і нормативів під час планування фінансування дорожнього господарства та переходу на середньострокове бюджетне планування;
- активізацію співпраці з міжнародними фінансовими організаціями для збільшення обсягу вибірки раніше залучених кредитних коштів на розвиток автомобільних доріг;
- створення сприятливих законодавчих та організаційних умов для залучення інвесторів при будівництві й обслуговуванні автомобільних доріг на умовах концесії;
- поетапний перехід до організації виконання дорожньо-будівельних робіт згідно з міжнародними стандартами «FIDIC» із залученням незалежних інженерів-консультантів до контролю якості робіт;
- удосконалення матеріально-технічної бази дорожнього господарства;
- активізацію інноваційної та науково-технічної діяльності в дорожньому господарстві, впровадження сучасних ефективних, енерго- та ресурсозберігаючих матеріалів і технологій, що забезпечують високу якість та довговічність дорожніх та мостових конструкцій, недопущення шкідливого впливу дорожнього будівництва на навколишнє природне середовище (встановлення протишумових споруд, збереження шляхів міграції тварин, режиму охорони територій і об'єктів природно-заповідного фонду та іншого природоохоронного призначення);
- запровадження геоінформаційної системи управління автомобільними дорогами загального користування державного значення та розвиток існуючих базових інформаційно-аналітичних комплексів (СУСП, АЕСУМ, база даних ДТП тощо).

### Висновки

Збройний конфлікт на сході України на території Донецької та Луганської областей призвів до пошкодження та руйнування дорожньої інфраструктури, що у свою чергу ускладнило та здорожчало автомобільні перевезення. У наслідок руху великогабаритної та важкої військової техніки, що найчастіше рухались колонами, на автомобільних дорогах державного та місцевого значення спостерігаються вибоїни, просідання, руйнування країв дорожнього одягу, колійність.

Для покращення ситуації та приведення експлуатаційних показників до відповідного нормативу, було запроваджено ряд Державних цільових програм та проектів. Але частина доріг таки залишилася зруйнованими та потребують фінансування для проведення ремонтів та реконструкції.

Відповідно, нагальна необхідність у фінансуванні ремонту та відновлення доріг, що не були внесені до переліку уже затверджених та профінансованих програм, спонукає до формування окремої Програми відновлення і розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення у Донецькій та Луганській областях, що зазнали негативного впливу збройного конфлікту на сході України з урахуванням пріоритетів відновлення та розбудови миру, реалізації промислового потенціалу східних регіонів України та принципів розвитку усієї мережі автомобільних доріг загального користування державного значення України.

### Список літератури

1. Бурик М. М. Аналіз діяльності суб'єктів управління в сфері розвитку дорожньо-транспортної інфраструктури в Україні. Інвестиції: практика та досвід, 2020, 15-16: 168-172.
2. Токар І. І. Сучасний стан та тенденції розвитку дорожнього господарства України. Проблеми і перспективи розвитку підприємництва, 2019, 1: 153-163.
3. Серьогіна Н. В. Джерела фінансування розвитку дорожньої інфраструктури регіонів. Економічний вісник Запорізької державної інженерної академії, 2016, 3: 105-109.
4. Лютий, І. О.; Ювженко, Н. М. Аналіз системи фінансування дорожньої інфраструктури України. Наукові праці НДФІ, 2019, 3: 66-75.
5. Транспорт і зв'язок України. 2018 р. Статистичний збірник. Державна служба статистики України. Київ. 2019. 152 с.
6. Транспорт України. 2019 р. Статистичний збірник. Державна служба статистики України. Київ. 2020. 112 с.
7. Державна цільова програма відновлення та розбудови миру в східних регіонах України. Постанова Кабміну України від 13 грудня 2017 р. № 1071. База даних «Законодавство України» / КМ України. URL: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/KP171071.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/KP171071.html)
8. Державна цільова економічна програма розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018—2022 роки затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 21.03.2018 р. № 382.
9. Проєкт «Східна Україна: возз'єднання, відновлення та відродження – Проєкт №В», схвалений розпорядженням голови ОДА Луганської області 24.07.2020 №517.

### References

1. Buryk M. M. (2020) Analiz diyal'nosti sub'ektiv upravlinnya v sferi rozvytku dorozhn'o-transportnoyi infrastruktury v Ukraini [Analysis of management entities in the field of road infrastructure development in Ukraine]. Investytsiyi: praktyka ta dosvid, 15-16: 168-172 p.
2. Tokar I. I. (2019) Suchasnyy stan ta tendentsiyi rozvytku dorozhn'oho hospodarstva Ukrainy [The current state and trends in the road economy of Ukraine]. Problemy i perspektyvy rozvytku pidpryyemnytstva, 1: 153-163 p.
3. Ser'ohina N. V. (2016) Dzherela finansuvannya rozvytku dorozhn'oyi infrastruktury rehioniv. Ekonomichnyy visnyk Zaporiz'koyi derzhavnoyi inzhenernoyi akademiyi, 3: 105-109 p.
4. Lyutyty, I. O.; Yuvzhenko, N. M. (2019) Analiz systemy finansuvannya dorozhn'oyi infrastruktury Ukrainy [Analysis of the road infrastructure financing system of Ukraine]. Naukovi pratsi NDFI, 3: 66-75 p.
5. Transport i zv'yazok Ukrainy [Transport and communications of Ukraine] 2018 r. Statystychnyy zbirnyk. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. Kyuyiv. 2019. 152 s.
6. Transport Ukrainy [Transport of Ukraine]. 2019 r. Statystychnyy zbirnyk. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. Kyuyiv. 2020. 112 s.
7. Derzhavna tsil'ova prohrama vidnovlennya ta rozbudovy myru v skhidnykh rehionakh Ukrainy [State target program for the restoration and development of peace in the eastern regions of Ukraine]. Postanova Kabminu Ukrainy vid 13 hrudnya 2017 r. № 1071. Baza danykh «Zakonodavstvo Ukrainy» / KM Ukrainy. URL: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/KP171071.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/KP171071.html).

8. Derzhavna tsilova ekonomichna prohrama rozvytku avtomobil'nykh dorih zahal'noho korystuvannya derzhavnoho znachennya na 2018—2022 roky [The state target economic program for the development of public roads of state importance for 2018-2022] zatverdzhena Postanovoyu Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 21.03.2018 r. № 382.

9. Proyeckt «Skhidna Ukrayina: vozz'yednannya, vidnovlennya ta vidrodzhennya – Proyeckt №V» [Project «Eastern Ukraine: Reunification, Restoration and Revival - Project GV»], skhvalenyy rozporyadzhennyam holovy ODA Luhans'koyi oblasti 24.07.2020 № 517.

---

**Vitalii Ivanchenko**<sup>1</sup>, D.Sc., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0003-4014-0780>

**Oleg Zagorniyak**<sup>2</sup>, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0003-3830-4520>

<sup>1</sup> M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

### STATE AND PROSPECTS OF ROAD INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT IN THE REGIONS WHICH HAVE SENSED THE NEGATIVE IMPACT OF THE ARMED CONFLICT IN THE EASTERN UKRAINE

#### *Abstract*

**Introduction.** The development of transport infrastructure plays a key role in the implementation of the state strategy to stimulate the economic development of the eastern regions of Ukraine. Among other things, the most important component is the network of state roads. Some of the roads damaged by the armed conflict in eastern Ukraine remain in poor condition.

**Problems.** The armed conflict in eastern Ukraine in Donetsk and Luhansk oblasts has damaged and destroyed road infrastructure. This in turn has complicated and made road transport more expensive. As a result of the movement of large and heavy military equipment, most often moving in columns, on highways of state and local importance there are potholes, subsidence, destruction of the edges of the pavement, ruts.

To improve the situation and bring performance to the relevant standards, a number of State target programs and projects were introduced. But some roads still remain destroyed and need funding for repairs and reconstruction.

**Purpose.** The purpose of the article is to highlight the state and prospects of road infrastructure development in the regions that have been negatively affected by the armed conflict in eastern Ukraine.

**Materials and methods.** During the writing of the article, dialectical methods of scientific knowledge were used to form a list of highways of state importance in the eastern regions of Ukraine, primarily analysis and synthesis. Empirical methods of cognition, such as description, measurement and comparison, are also used.

**Results.** The paper highlights and characterizes the state of road infrastructure in the regions affected by the armed conflict in eastern Ukraine and reveals the prospects for its development.

**Conclusions.** The need to finance the repair and restoration of roads that have not been included in the list of already approved and funded programs, and the formation of clear strategic directions may be provided by the Program of measures for restoration and development of public roads in Donetsk and Luhansk regions. Armed conflict in eastern Ukraine, taking into account the priorities of restoring and building peace, realizing the industrial potential of the eastern regions of Ukraine and the principles of development of the entire network of public roads of state importance of Ukraine. Critical for the implementation of this plan is the adoption by the government of a program for the restoration and development of public roads of state importance in the regions that have been negatively affected by the armed conflict in eastern Ukraine.

**Keywords:** road, costs, road infrastructure, armed conflict, planning, financing.

UDC 625.7/.8

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

Tatyana Tereshchenko, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0001-5206-9921>

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

*M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine*

---

## CRUSHED STONE MATERIALS AND GRAVEL MATERIALS BOUND BY MINERAL BINDERS. STANDARDIZATION

### *Annotation*

**Introduction.** This paper presents the results of the standardization of requirements for granular mixtures bound by mineral binders for bases, sub-bases and top layers of road pavements used as framework for national standard «Crushed stone materials and gravel materials for the road building industry — Specifications. Part 3: The materials bound by mineral binders».

**Standardization.** The standard covers the requirements for crushed stone-sand and sand-gravel mixtures treated with mineral binders and derived from them hardened materials as well as the requirements for source constituents. Mineral binder for the standardized type of road materials shall be selected from following main constituents: cement, slag or fly ash each separately or combinations thereof using an activator if required. Standard mixtures shall be produced in a factory or mixed in situ on the road surface. Clauses of the standard also comprise the requirements for mixtures and related hardened materials from active slag or ash-slag materials which can act as the main constituent of the mixture (aggregate) and part of the binder.

Standardized mandatory characteristics include mixtures physical properties comprising grading envelopes, and mechanical properties; the obligatory sections of the standard include requirements on quality control, transporting and marking of mixtures.

**Conclusions.** Conclusions outline main results of standardization in view of the ongoing works on processing the related European Norms as national normative documents. It is emphasized that the developed standard supplements the fundamental requirements of adapted European normative documents regarding the composition and properties of said mixtures, particularly the requirements on frost resistance.

The subsequent work shall be aimed at the adaptation of national regulations on road pavement design and construction to implement the newly standardized requirements for hydraulically bound mixtures.

**Keywords:** road materials; mineral binders; crushed stone materials and gravel materials bound by mineral binders; composition; compressive strength; bending tensile strength; specifications.

### Introduction

Road pavement layers constructed from granular materials treated with mineral binders possessing hydraulic or pozzolanic properties can substantially enhance the bearing capacity of flexible road pavements and ensure high performance of road pavements of any type constructed on weak sub-grades. One class of mineral binders that meets the requirements for road building materials are hydraulic binders: cement, slag, fly ash each separately or combinations thereof including an activator if required [1–3]. The binders listed above or their proved combinations possess the ability to set and harden after treatment with water and thereafter remain stable under road working conditions. Thereby granular materials bound by

the hydraulic binders have been widely used to construct the road bases, sub-bases and capping layers; such materials play also crucial role in construction of perpetual (long-life) semi-rigid pavements with bituminous top layers [4].

In accordance with the European Standards (EN), granular materials bound by the hydraulic binders are classified as hydraulically bound mixtures the requirements for which are specified in regional standard EN 14227, Parts from 1 to 5, and also in Part 15. This regional standard was processed by the DerzhdorNDI SE team as a national normative document. In continuation of this work, the clauses of related national standards and building codes were revised and complemented and, applying results thus obtained, DerzhdorNDI SE developed a complex of national standards which includes the part «Crushed stone materials and gravel materials for the road building industry – Specifications. Part 3 — The materials bound by mineral binders».

The standard covers the requirements for crushed stone-sand and sand-gravel mixtures treated with mineral binders and hardened materials derived from these mixtures for the use in bases, sub-bases and top layers of road pavements. Clauses of the standard can be applied also to «self-bound» mixtures predominantly from active slag or ash-slag materials which can act as the main constituent of the mixture and part of the binder.

This paper presents the results of the standardization and acquaints the readers with general provisions of the standard.

### Standardization

#### *Standardization of requirements for mixtures*

Standard mixture treated with mineral binder consists of initial constituents such as coarse and fine aggregates, binder including an activator and/or an admixture and also water and shall be produced in a factory or mixed in situ on the road surface. Standard hardened material is the monolithic material that has been formed through hydraulic/pozzolanic reactions from standard mixture of the selected composition after compacting and curing under standard conditions and properties of which conform to standard requirements at a design age.

Depending on the nominal maximum size of aggregate  $D^1$ ), mixtures treated with mineral binders and related hardened materials are divided into four types:

- coarse-grained,  $D = 40$  mm;
- medium-grained,  $D = 20$  mm;
- fine-grained,  $D = 10$  mm;
- sandy,  $D = 5$  mm.

While selecting the mixture composition, the optimum content of water ensuring the maximum dry density of the mixture shall be determined.

Fresh mixture of right quality shall be homogenous, without untreated grains, without single lumps of the binder. Hardened mixtures at their design age each shall meet one of the five classes of strength: M75; M60; M40; M20; M10.

The relationships between the classes of strength of mixtures and their compressive strength and also bending tensile strength are given in **Table 1**.

Hardened materials shall be frost-resisting possessing the proper value of frost resistance index calculated as a ratio “compressive strength of tested sample/compressive strength of control sample” after required number of alternate freezing/thawing cycles.

---

<sup>1)</sup> The nominal maximum size of aggregate  $D$  is an aperture size of the sieve located directly above the sieve through which at least 90% by mass of particles passes.

*Table 1*

*Classes of strength*

Class	Compressive strength $R_c$ , MPa	Bending tensile strength, $R_t$ , MPa, not less than
M75	$7.5 \leq R_c < 10.0$	1.5
M60	$R_c \geq 6.0$	1.2
M40	$R_c \geq 4.0$	0.8
M20	$R_c \geq 2.0$	0.4
M10	$R_c \geq 1.0$	0.2

**Note 1.**  $R_c$  values shall be determined using cylindrical specimens with height-to-diameter ratio equals 1. In other cases, the correlation with cylinders  $h/d = 1$  shall be established before use.

**Note 2.** It is permitted to determine the compressive strength at a fixed intermediate age if the compressive strength reaches at least 70 % of its designed value.

The frost resistance index for materials intended to be used in regions with an average temperature of the coldest month from 0 °C to – 5 °C shall be not lower than:

- 0.60 after 20 alternate freezing/thawing cycles for the classes M60, M75;
- 0.55 after 15 alternate freezing/thawing cycles for the class M40;
- 0.50 after 10 alternate freezing/thawing cycles for the class M20.

The frost resistance index for materials intended to be used in regions with an average temperature of the coldest month from – 5 °C to – 15 °C shall be as stated above after the number of alternate freezing/thawing cycles increased by five.

The frost resistance is not required for mixtures of class M10.

Density of the mixture laid in the road pavement construction shall be determined in situ after compaction using density gauges or testing samples (cores or cut-out blocks) where cores/blocks shall be taken and tested at a design age. The actual density shall be at least 0.95 of the value determined for the laboratory specimens of the mixture of the same composition.

***Standardization of requirements for source materials***

To ensure standard properties of fresh mixtures and hardened materials, source materials shall meet the standard requirements and shall be mixed in a proportion determined through the selection of the mixture composition.

Requirements for aggregate. Aggregate for granular mixtures to be treated with mineral binders can be nominally grouped into different types according to their size, origin and physical and mechanical characteristics.

According to their size, aggregates are divided into coarse and fine aggregates. Coarse aggregates with their main fraction consisting of the grains of a size above 5 mm shall comply with the standard [5].

Coarse aggregates for the intended use shall be fractionated materials whose main fraction consists of the grains of a size, above  $d$  up to  $D$ :

- above 5 mm up to 10 mm, or
- above 10 mm up to 20 mm, or
- above 20 mm up to 40 mm.

Fine aggregates with their main fractions consisting of the grains up to a maximum size of 5 mm shall be standard materials such as sand or screening-out from rock crushing.

According to their origin, aggregates could be divided into three nominal groups: natural aggregates, artificial aggregates and recycled aggregates.

Natural aggregates are crushed rock/crushed gravel and gravel.



Artificial aggregates for the intended use are standard blast furnace slag, granulated blast furnace slag and also ash-slag mixtures. When possessing sufficient hydraulic activity, these materials distinguish from natural aggregates in that they may act as the main part of the mixture (the aggregate itself) and as the part of the binder.

Recycling of road building materials is becoming more and more important as a means to improve the efficiency of using of resources and to minimize the negative impact of using of raw materials [6, 7]. In accordance with the developed standard, the recycled aggregate for the declared use shall be provided as crushed concrete aggregate. The standard requires the recycled aggregate to meet the requirements of [8] to the class  $R_c$ .

Developed standard regulates also the usage of aggregates from low-strength materials common for restricted regions. The aggregates from low-strength materials are classified as the aggregates from stone raw-stuff that possesses a compressive strength value of 15 MPa or lesser when determined after soaking. The aggregates from low-strength stone materials such as some types of limestone or sandstone are used in Ukraine mainly as local road building materials. Under working conditions, after being laid in the layer of road pavement construction, the aggregates from low-strength materials are able to produce fines at a quantity higher than required (here «fines» are particles of a size smaller than 0.63 mm). Standard clauses permit the application of aggregate from low-strength materials if such aggregate mixture bound by mineral binder satisfies the standard requirements and its performance was proved preliminary in a laboratory and also on site on the trial area. The maximum size of aggregate from low-strength materials to be bound by mineral binders is restricted by a value of 20 mm.

The physical and mechanical characteristics to be proved for the coarse aggregate are as follows:

- class of strength (fragility) determined as the degree of the demolition of fractionated aggregates after compression in the cylindrical test mould;
- content of weak grains;
- flakiness index (or content of grains of an irregular shape);
- class of abrasion resistance determined as the loss of mass of fractionated aggregates after testing in the shelf balls-filled drum;
- class of frost resistance determined as the lost of weight of fractionated aggregates after certain number of alternate freezing/thawing cycles.

The requirements for coarse aggregate are listed below (**Table 2**).

**Table 2**

**Requirements for coarse aggregate<sup>\*)</sup>**

Characteristic, unit	Value required for the use in:	
	top layer of road pavement	base layer of road pavement
Class of strength (fragility), not lower than, for:		
crushed intrusive igneous rock		1 000
aggregate from slag		800
crushed sedimentary, or metamorphic, or effusive igneous rock, crushed		
gravel		600
gravel		400
Class of abrasion resistance, not lower than, for:		
crushed sedimentary or metamorphic rock, aggregate from slag	St-II	St-III
crushed igneous rock, gravel, crushed gravel	St-III	St-IV

*The end of Table 2*

Characteristic, unit	Value required for the use in:	
	top layer of road pavement	base layer of road pavement
Class of frost resistance, not lower than, at the average temperature of the coldest month: from – 5 °C up to 0 °C below – 5 °C	F50 F100	F25 F50
Content of weak grains, % by mass, not higher than	10	
Flakiness index as the FI category, or content of grains of an irregular shape, % by mass, not higher than	FI <sub>20</sub> 25 <sup>*)</sup>	
*) It does not cover the requirements for aggregates from low-strength materials.		

Requirements for crushed stone-sand and sand-gravel mixtures («all-in aggregate»). The primary requirement for all-in aggregate is the conformity to the grading envelopes which are different for mixtures to be treated with the binders and those are «self-bound» such as mixtures of high-active or active slag or ash-slag mixtures fractions of which act as the main part of the mixture (the aggregate itself) and the part of the binder. The two types of requirements are given in tables 3 and 4 respectively<sup>2)</sup>.

**Table 3**

**Requirements for the grading of all-in aggregate to be treated with mineral binder**

D, mm	Total sieve residue, in percentage by mass, on the sieve with an aperture size, in mm									
	40	20	10	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.14	0.071
40	0–10	20–40	35–65	50–80	60–85	70–90	75–95	80–97	85–98	87–100
20	–	0–10	20–40	35–65	50–80	60–85	70–90	75–95	80–97	85–100
10	–	–	0–10	25–40	45–65	60–80	70–85	75–90	80–95	85–100
5	–	–	–	0–10	30–40	50–65	65–80	75–85	80–90	88–100

**Table 4**

**Requirements for the grading of all-in aggregate possessing hydraulic activity (without adding mineral binder itself)<sup>3)</sup>**

D, mm	Total sieve residue, in percentage by mass, on the sieve with an aperture size, in mm								
	40	20	10	5	2.5	0.63	0.16	0.05	
40	0–15	20–40	40–65	55–80	65–90	85–95	95–100	95–100	
20	–	0–20	25–40	40–65	55–80	75–95	90–100	95–100	

Mixtures can contain grains of a size greater than  $D$  (above  $D$  up to  $1,25 D$ ) in an amount not higher than 5 % by mass.

To achieve the standard grading, it may be necessary to add the grading admixture an amount of which commonly does not exceed 20 % by mass of a mixture; such grading admixture is the granular material, natural or of an artificial nature, that may possess the hydraulic/pozzolanic properties or may be inactive as well.

Mixtures conforming table 4 are predominantly mixtures supplied as the ready-for-use product

<sup>2)</sup> Since aggregates shall meet the standard grading controlled using sieves with circular apertures, requirements in Table 2 and Table 3 can be stated in the same way considering Note 4 to sub-clause 4.1 of [8].

<sup>3)</sup> These requirements were specified as the requirements for some types of close-graded unbound mixtures for base layers of road pavements.

or they shall be ash-slag mixtures containing appropriate hydraulically active grading admixture; grading can be adjusted through addition of granulated/ground granulated blast furnace slag. Constituents of «self-bound» mixtures shall conform to the requirements for high active/active ash or slag materials.

The both types of mixtures (see **Table 3** and **Table 4**) shall be close-graded those possessing the grading of a continuous type; the mixtures of both types shall be checked for compliance with adopted European norms (an appropriate part of EN 14227) as Type 4 mixtures.

The standard specifies also the requirements for the content of crushed aggregates for sand-gravel mixtures intended for the use into the layers of the road pavement of a capital type. Such mixtures shall contain the proportion of crushed aggregate (calculated towards the whole content of coarse aggregate) in an amount of, not less than:

- 30 % by mass for the motor roads of the I<sup>st</sup> and the II<sup>nd</sup> categories;
- 20 % by mass for the motor roads of the III<sup>rd</sup> and the IV<sup>th</sup> categories.

When the road pavement layer constructed from the mixture treated with mineral binder shall withstand trafficking at an early age the standard clauses recommend the usage of mixtures containing the coarse aggregate of C<sub>90/3</sub> category according to [8] in an amount not less than 50 % by mass.

Requirements for mineral binders and other constituents. The standard includes general requirements for mineral binders for the intended use: cement, granulated/ground granulated blast furnace slag and fly ash.

Cements in accordance with [9] shall conform to the requirements for Portland cement or blast furnace cement, also sulfate resisting cement is permitted. The initial setting time of cement shall be at least 2 h; to delay the start of setting, appropriate standard admixture can be used. Cements shall meet certain requirements for strength: class of strength shall be not lower than 32.5 for the base/sub-base layers and not lower than 42.5 for the top layer of road pavements.

The binders containing granulated/ground granulated blast furnace slag or fly ash are used mainly as the binders of the selected composition. The binders of the selected composition shall gain a compressive strength of at least 10 MPa after 28 day curing; this characteristic is considered as the activity of the binder of the selected composition.

The binders of the selected composition containing blast furnace slag as the main constituent consist of ground granulated blast furnace slag and activator in a recommended amount of about 20 % by mass. After determining the fineness/grading and also the activity, granulated blast furnace slag may be considered as the part of the binder.

The binders of the selected composition containing fly ash as the main constituent are those consisting of siliceous (acidic) or calcareous (basic) fly ash with a fineness of 300 m<sup>2</sup>/kg or better and an activator in a recommended amount of about 15 %. Fly ash possessing sufficient activity (previously calcareous fly ash) can be used without an activator. Fly ash as the main part of the binder shall meet the requirement for soundness (standard expansion). Sulfide and sulfate content and the loss on ignition of fly ash are restricted.

Similar requirements for soundness, sulfide and sulfate content and also the requirement for the loss on ignition are set for ash as the constituent of the ash-slag mixtures and also for ash-slag mixtures with high content of fines<sup>4)</sup>.

Mixtures treated with the binders of the selected composition based on granulated blast furnace slag or fly ash, or ash-slag mixtures, or mixtures from high-active/active slag materials all shall gain the proper strength for a period shorter than 180 days. It is recommended to select the composition of such binders to ensure designed class of strength of the mixture at an age of about 60 days using an appropriate

---

<sup>4)</sup> The soundness of ash (regardless of its origin) and granulated blast furnace slag shall be determined for each of these constituents after grinding and mixing with cement.

amount of an activator and appropriate admixtures (quick lime, hydrated lime, air-cooled steel slag or other similar products containing lime or sulfate). Admixtures enhancing setting and hardening shall be used.

Alternatively, after determining the fineness/grading and also the activity, granulated blast furnace slag, fly ash (primarily with a fineness lesser than 300 m<sup>2</sup>/kg) or ash-slag mixture with the inactive ash or low ash content each can be used as the grading admixture. Also, such «inactive» materials with the appropriately calculated and corrected grading conforming table 2 can be treated with cement in accordance with the appropriate national regulations.

Water for the mixture manufacturing shall contain water-soluble salts in an amount not higher than 10 000 mg/l.

### ***Requirements for inspection and quality control***

To ensure the conformity to the standard requirements, the inspection of source constituents and mixtures shall be performed in an established way. The schedule of inspection depends on the type of control: an input control, an acceptance control or periodic one.

An input control shall be applied to all the incoming constituents: aggregate, any admixture, binder, activator and water. An input control provides for the verification of the conformity of each batch of incoming constituents to the standard requirements.

Additionally, for the recycled concrete aggregate the documented input control of materials to be recycled shall be performed. The standard recommends the usage of recycled concrete aggregates resulting from processing the heavy weight concrete sources such as: road or airfield pavements, bridge spans, the heavy weight concrete constructions and construction units, and also waste products of such constructions and/or units manufacturing.

Initial crushed stone-sand and sand-gravel mixtures including those mixed in situ using recyclers all shall be checked to verify that grading, water content and clay particles content fit the standard requirements. These tests shall be performed as the part of an operational control. For the gravel containing mixtures, the relative content of crushed aggregate calculated per whole content of the fraction of coarse aggregate shall be documented.

An acceptance control shall be applied to each batch of the mixture. For the mixtures produced in a factory, one batch is determined as a quantity of the mixture of one composition produced from equal source materials in one mixing plant during one shift. The quantity of one batch of the mixture that was specified by the customer shall not exceed the per-one-shift performance of the mixing plant. The batch of the mixture shall be accepted by mass.

For mixtures produced in situ, one batch is determined as a quantity of the mixture of one composition produced from equal source materials on the area that corresponds to the per-one-shift performance of a recycler (or which equals the area of an object for the low volume projects) without re-adjusting any working unit of a recycler. The batch of the mixture shall be accepted by volume.

During an acceptance control the homogeneity of the mixture and also its conformity to the declared class of strength (see **Table 1**) shall be checked.

The periodic control shall be performed at least once per month and also in the case of any change of source materials, or mixture composition, or technology, or when the model of a recycler was changed. During the periodic control, the frost resistance of hardened material and its conformity to the declared class of strength (see **Table 1**) shall be checked.

The maximum density of mixture and also its average density at a design age (if required) shall be determined and documented while selecting the mixture composition.

Specimens (cylindrical specimens to apply the unconfined axial compression or prisms with a square cross-section to apply the bending tension) shall be manufactured applying vertical axial compression to the mixture sample poured into the mould with two inserts. Size of the specimen shall conform to **Table 5**.

*Table 5*

*Nominal size of specimens*

Mixture type:	Specimen shape:	Specimen size:	Value, in mm
sandy	cylinder	diameter $d$	101.0
fine-grained		high $h$	$101.0 \pm 2.0$
medium-grained		diameter $d$	150.5
coarse-grained		high $h$	$150.5 \pm 2.0$
sandy	rectangular prism	cross-section	$40 \times 40$
fine-grained		length	160
medium-grained		cross-section	$100 \times 100$
coarse-grained		length	400

Value  $D$  for coarse-grained mixtures for test specimens manufacturing shall not exceed 25 mm. It is recommended to replace the coarser fraction with an equal mass of a fraction from 10 mm to 25 mm.

During compaction, the load shall be applied with a rate not higher than 5 mm/s and then fixed for  $(3.0 \pm 0.1)$  min. The value of the compressive force shall be set such that the fresh mixture sample possesses the predetermined maximum density. It is recommended to ensure the compressive pressure in a range from  $(10.0 \pm 0.2)$  MPa to  $(15.0 \pm 0.2)$  MPa. After demoulding, specimens shall be cured at a temperature of  $(20 \pm 1)$  °C without loss of moisture until testing.

Test specimens from the road pavement shall be taken as cores or cut-out blocks at a mixture design age; cores for compression strength testing can be taken at an intermediate age if required. Test specimens shall be wrapped by the watertight fabric and then transported and stored at a temperature close to the temperature regime at the object until testing but no longer than 48 h.

***Requirements for mixture transportation and handling***

The ready-to-use mixtures shall be handled, transported and laid in such a manner to retain their quantitative composition, integrity and purity; the duration of transportation shall ensure the mixture to be compacted before setting.

If there are no other documented recommendations, so the duration of the period from the end of the mixture manufacturing to the mixture compaction shall not exceed:

- 2 h for mixtures treated with Portland cement without a retarder;
- 4 h for mixtures treated with blast furnace cement or slag or fly ash with any activator beside lime;
- 48 h for mixtures treated with slag or fly ash using lime as an activator (or treated without any activator).

These time intervals may be changed after proving the initial setting time of the binder.

Each transportation unit shall be supplied with the Delivery ticket and Product description. The delivery ticket shall include some information about the mixture (denomination, quantity, activity of radionuclides in accordance with the national regulations, number of the batch and also the date and time of the manufacturing), about the manufacturer and the responsible person, and also some data regarding the transportation unit.

***Requirements for marking and labeling***

The standard designation of the product shall consist of the clauses pointed below and shall be accompanied by the Product description. The clauses of the Standard designation are as follows:

- sort of the mixture — only for mixtures containing the main fraction with a grain size above 5 mm: «crushed stone-sand mixture» or «sand-gravel mixture»;
- mixture type;
- type of mineral binder considering the main constituent (cement, slag or fly ash; «slag» or «fly ash» shall be applied also for the designation of «self-bound» mixtures);
- class of strength in accordance with **Table 4**;
- designation of the standard.

The Product description shall include the following:

- description of source constituents (coarse aggregate, fine aggregate, binder, activator and/or admixture, water) in accordance with the appropriate normative documents;
- mixture composition;
- maximum density.

In the part «Description of source constituents» shall be pointed, in particular, the following information:

- technical characteristics of recycled concrete aggregate (if any) — declared at the request of the customer;
- initial setting time of the binder: for retarder-containing cement as a necessary characteristic, and for other types of mineral binders as required.

In the clause «Mixture composition» for sandy-gravel sort of mixtures the content of crushed aggregate per whole content of coarse aggregate shall be documented.

### ***Recommendations on application***

One of the most essential requirements for attaining standard properties of hardened materials is the relative content of the binder and water. For example, in the case of cement-bound mixtures the content of cement may vary from 3 % to 8 % depending on the required strength and the mixture gradation [10]. The mass proportion of the binder can be optimized by selecting the composition of the mixture and thus, for economic reasons, it may be reduced to the value that ensures the required properties of the mixture at the minimum binder content; the binder content shall be not lesser than that ensuring the mixture homogeneity and hardening at low ambient temperatures. **Table 6** shows the minimum content of the binder recommended by the elaborated standard considering the above mentioned aspects.

**Table 6**

***Minimum content of the binder***

Mineral binder or its constituent	Usage option	Minimum content of the binder, in % by dry mass of the mixture, depending on the method of manufacturing/ dozing	
		in a mixing plant/by mass	in a mixing plant/ by volume; on the road surface
Cement	separately	from 3.0 to 8.0, depending on values of <i>D</i> and designed class of strength	1 % additionally
Ground granulated blast furnace slag	combined with cement	2.0	3.0
	combined with lime	3.0	4.0

Mineral binder or its constituent	Usage option	Minimum content of the binder, in % by dry mass of the mixture, depending on the method of manufacturing/ dozing	
		in a mixing plant/by mass	in a mixing plant/ by volume; on the road surface
Air-cooled steel slag	combined with granulated blast-furnace slag <sup>*)</sup>	2.5	3.0
Fly ash	combined with cement	4.0	5.0
	combined with lime	5.0	6.0
Granulated blast furnace slag	combined with lime	6.0	8.0
	combined with other active slag <sup>*)</sup>	2.5	3.0
<sup>*)</sup> For steel slag combined with granulated blast furnace slag their total content is recommended to be not less than 11 % by dry mass of the mixture. <b>Note.</b> The usage of mixtures with a proportion of cement lesser than 3 % by mass shall be restricted for cold period.			

To ensure the maximum density, the moisture content of mixture shall be increased by (2–3) % above its optimum at high ambient temperatures and low humidity but shall be decreased by (1–2) % below its optimum at low ambient temperatures and/or high humidity.

Additionally, mixtures from low-strength stone materials shall be used in the sub-base layers of road pavements working under low traffic loading, under low groundwater supply, mainly for construction of motor roads with low traffic volume.

### Conclusions

The treatment of standard close-graded crushed stone-sand or sand-gravel mixtures with mineral binders at optimum water content provides hydraulically bound hardened materials which can be divided into five standard classes of strength and can be effectively used for construction of bases, sub-bases and also top layers of road pavements.

Mineral binder for the standardized type of road materials shall be selected from following main constituents: cement, slag or fly ash each separately or as combinations thereof. It is recommended to select the composition of mineral binders to ensure designed class of strength of hardened materials at an age not greater than 60 days using an activator if required.

3. Hydraulically bound materials shall meet the requirements for frost resistance considering the class of strength and also conditions of their usage. The frost resistance shall be assessed towards the frost resistance index measured after stated number of freezing/thawing cycles.

4. The elaborated standard takes into consideration new requirements for:

- testing methods for mixture maximum density and water content;
- recycled aggregates;
- chemical composition of aggregates;
- minimum binder content depending on the type of the binder and the method for mixture manufacturing.

5. Considering the ongoing works on processing the related European Norms as national normative

documents the developed standard supplements their fundamental requirements regarding the composition and properties of said mixtures.

The subsequent work shall be aimed at the adaptation of national regulations on road pavement design and construction to implement the newly standardized requirements for hydraulically bound mixtures.

### References

1. Marek Iwański, Przemysław Buczyński, Grzegorz Mazurek. Optimization of the road binder used in the base layer in the road construction. *Construction and Building Materials*, 125, 1044–1054. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.112>.
2. Przemysław Buczyński, Maciej Lech. The impact of one-, two- and three-component hydraulic road binder on the properties of the hydraulically bound mixture. 7th Scientific-Technical Conference Material Problems in Civil Engineering (MATBUD'2015) in *Procedia Engineering*, 108, 116 – 123. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.126>.
3. Marco Pasetto, Nicola Baldo. Recycling of waste aggregate in cement bound mixtures for road pavement bases and sub-bases. *Construction and Building Materials*, 108, 112-118. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.023>.
4. Brundaban Beriha, Umesh C. Sahoo, Wynand JvdM Steyn. Determination of endurance limit for different bound materials used in pavements: A review. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 8, 263–279. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2019.05.002>
5. DSTU B V.2.7-75–98. Bulivelni materialy. Shchebin i hraviy shchilni pryrodni dlya budivel'nykh materialiv, vyrobiv, konstruktsiy i robit. Tekhnichni umovy (National standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-75 – 98) Building materials. Natural dense crushed stone and gravel for building materials, articles, constructions and construction works. Specifications). Kyiv, 1998. 39 p. (Information and documentation) [In Ukrainian].
6. Piergiorgio Tataranni, Cesare Sangiorgi, Andrea Simone, Valeria Vignali, Claudio Lantieri, Giulio Dondi. A laboratory and field study on 100% Recycled Cement Bound Mixture for base layers. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11, 427–434 <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.11.005>
7. Tatyana Tereshchenko. The scope of application of reclaimed disperse materials in aggregate base layers of road pavement. *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. Kyiv, 2017. 17. P. 73-80 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2017.17.073>
8. DSTU EN 13242:2013 (EN 13242:2002+A1:2007, IDT) Zapovnyuvachi dlya sumishey, yaki obrobleni i yaki ne obrobleni hidravlichnymy v'yazhuchymy, dlya tsyvil'noho ta dorozhn'oho budivnytstva (National standard of Ukraine (DSTU EN 13242:2013 (EN 13242:2002+A1:2007, IDT) Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction). Kyiv, 2014. 44 p. (Information and documentation) [In Ukrainian].
9. DSTU B EN 197-1:2015 (EN 197-1:2011, IDT) Tsement. Chastyna 1. Sklad, tekhnichni umovy ta kryteriyi vidpovidnosti dlya zvychaynykh tsementiv (National standard of Ukraine (DSTU B EN 197-1:2015 (EN 197-1:2011, IDT) Cement. Part 1: Composition, Specifications and conformity criteria for common cements). Kyiv, 2016. 59 p. (Information and documentation) [In Ukrainian].
10. Sabrina Garber, Robert Otto Rasmussen, and Dale Harrington. Guide to cement-based integrated pavement solutions, Portland Cement Association, Skokie, 2011. 82 p. Access: <https://www.intrans.iastste.edu/app/uploads/2018/08/IPS.pdf>.



Ілляш С. І., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-3001-8012>

Терещенко Т. А., канд. хім. наук, <https://orcid.org/0000-0001-5206-9921>

Цинка А. О., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-0357-2325>

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), Київ, Україна

### ЩЕБЕНЕВІ ТА ГРАВІЙНІ МАТЕРІАЛИ, УКРІПЛЕНІ МІНЕРАЛЬНИМИ В'ЯЖУЧИМИ. СТАНДАРТИЗАЦІЯ

**Вступ.** У статті представлено результати стандартизації вимог до дисперсних сумішей, укріплених мінеральними в'язучими, для влаштування шарів основи, додаткової основи та покриття дорожніх одягів, які були використані як базис національного стандарту «Щебеневі та гравійні матеріали для дорожнього будівництва. Технічні умови. Частина 3. Матеріали, укріплені мінеральними в'язучими».

**Стандартизація.** Стандарт охоплює вимоги до щебенево-піщаних та піщано-гравійних сумішей, оброблених мінеральними в'язучими, та похідних укріплених матеріалів, а також вимоги до вихідних матеріалів. Мінеральні в'язучі для стандартизованого виду дорожньо-будівельних матеріалів вибирають з переліку: цемент, шлак, зола-винесення як окремо, так і в комбінації цих компонентів з використанням, за потреби, активатора. Вимоги стандарту поширюються на суміші, виготовлені в змішувальній установці чи змішуванням на дорозі. Положення стандарту містять також вимоги до сумішей та відповідних укріплених матеріалів на основі активних шлаків або золошлакових сумішей, складники яких є заповнювачем та часткою в'язучого.

Стандартизовані показники якості сумішей включають вимоги до фізичних властивостей, зокрема до гранулометричного складу, та до механічних властивостей; обов'язкові розділи стандарту містять вимоги до контролювання якості, транспортування та маркування сумішей.

**Висновки.** У висновках наведено основні результати стандартизації з урахуванням виконуваних робіт з розроблення національних стандартів на основі споріднених Європейських Норм. Зазначено, що розроблений стандарт доповнює положення адаптованих європейських нормативних документів у частині вимог до складу та властивостей зазначених видів сумішей, зокрема вимог до морозостійкості.

Подальші роботи з цього напрямку доцільно спрямувати на адаптацію положень національних норм щодо проектування та будівництва автомобільних доріг для впровадження нових стандартних вимог до сумішей, укріплених гідравлічним в'язучим.

**Ключові слова:** дорожньо-будівельні матеріали; щебеневі та гравійні матеріали, укріплені мінеральними в'язучими; технічні умови; склад; міцність при стиску; міцність на розтяг при згині.

УДК 625.168

Каськів В. І., канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

Копинець І. В., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-0908-4795>

Соколов О. В., <https://orcid.org/0000-0002-4694-9647>

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗОЛИ-ВИНЕСЕННЯ ЕЛЕКТРОГЕНЕРУЮЧИХ ПІДПРИЄМСТВ З МЕТОЮ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ ЯК АЛЬТЕРНАТИВИ ВАПНЯКОВОМУ МІНЕРАЛЬНОМУ ПОРОШКУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ

### *Анотація*

**Вступ.** Одним з найбільш використовуваних матеріалів під час будівництва автомобільних доріг є асфальтобетонні суміші. Для виробництва даних сумішей використовують переважно кондіційні мінеральні матеріали — крупний заповнювач, дрібний заповнювач та наповнювач, а як в'язуче використовують бітум.

**Проблематика.** В Україні як наповнювач використовують переважно матеріал, отриманий подрібненням карбонатних гірських порід, що встановлено в ДСТУ Б В.2.7-119 та ДСТУ Б В.2.7-121.

У той самий час, на електрогенеруючих підприємствах України, у результаті спалювання вугілля, утворюються мільйони тонн пилоподібних відходів — золи-винесення та золи з гідровідвалу. Даний матеріал за зерновим складом наближається до вимог до наповнювача згідно з ДСТУ Б В.2.7-121 та ймовірно може бути використаний для виробництва асфальтобетонних сумішей.

**Мета.** Встановлення можливості використання золи-винесення для виробництва асфальтобетонних сумішей.

**Матеріали та методи.** Під час досліджень використовували асфальтобетон типу Б та мінеральні наповнювачі різного походження.

**Результати.** Результати випробування показали, що досліджену золу-винесення можна використовувати для виробництва асфальтобетонних сумішей при повній заміні нею вапнякового мінерального порошку без погіршення властивостей асфальтобетонних сумішей.

**Висновки.** Використання золи-винесення для виробництва асфальтобетонних сумішей дозволить значно зменшити кількість відходів та поліпшити екологічний стан довкілля.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, асфальтобетон, асфальтобетонна суміш, густина, екологія, зола-винесення, мінеральний порошок, міцність на стиск.

### Вступ

Утилізація вторинних матеріалів виробництва призначена для збереження природних ресурсів і скорочення обсягу відходів, які необхідно утилізувати в спеціальних місцях поховання. Утилізація заохочується багатьма країнами Європейського Союзу, де є відповідні положення у всіх директивах, що стосуються управління відходами. Ключовим елементом у заохоченні до перероблення відходів є принцип «забруднювач платить», який був включений до всіх директив Співтовариства щодо поводження з безпечними та небезпечними відходами. Багато держав-членів прийняли специфічне екологічне законодавство, зокрема, сплату податку за утилізацію відходів.

На сьогодні в Україні не вирішено питання утилізації відходів промисловості, тому значна їх частина знаходяться у відвалах та несе в собі великий ризик для екології, і тільки незначна частина утилізується в будівельних проєктах [1], хоча вже існує «Державна цільова економічна програма розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018–2022 роки» [2] та розпорядженням Кабінету міністрів України [3], які регламентують використання місцевих матеріалів, включаючи відходи промисловості під час будівництва автомобільних доріг.

Одним з найбільш використовуваних матеріалів під час будівництва автомобільних доріг є асфальтобетонні суміші. Для виробництва даних сумішей використовують переважно кондиційні мінеральні матеріали — крупний заповнювач, дрібний заповнювач та наповнювач, а як в'язуче використовують бітум.

В Україні як наповнювач використовують переважно матеріал, отриманий подрібненням карбонатних гірських порід, що встановлено в ДСТУ Б В.2.7-119 та ДСТУ Б В.2.7-121.

У той самий час на електрогенеруючих підприємствах України в результаті спалювання вугілля утворюються мільйони тон пилоподібних: відходів золи-винесення та золи з гідровідвалу. Даний матеріал за зерновим складом наближається до вимог до наповнювача згідно з ДСТУ Б В.2.7-121 та ймовірно може бути використаний для виробництва асфальтобетонних сумішей.

### Основна частина

Мета даної роботи полягала в установленні можливості використання золи різного походження для виробництва асфальтобетонних сумішей. Для цього було проведено дослідження асфальтобетонів, що вміщували вапняковий мінеральний порошок, золу-винесення та золу з гідровідвалу.

Стандартні властивості мінерального порошку, золи-винесення та золи з гідровідвалу наведено в **табл. 1**.

*Таблиця 1*

*Результати випробування наповнювачів*

Ч. ч.	Найменування показників, одиниця вимірювання	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-121	Результати випробування		
			мінерального порошку	золи з гідровідвалу	золи-винесення
1	Зерновий склад — вміст частинок, відсоток за масою:				
	— дрібніше ніж 0,071 мм	80, не менше	87,6	84,3	86,3
	— дрібніше ніж 0,315 мм	90, не менше	99,7	99,8	99,7
	— дрібніше ніж 1,25 мм	100, не менше	100	100	100
2	Дійсна густина, г/см <sup>3</sup>	-	2,63	2,60	2,62
3	Середня густина, г/см <sup>3</sup>	-	1,85	1,66	1,78
4	Пористість у разі ущільнення 40 МПа, відсоток за об'ємом	35, не більше	29,7	36,2	31
5	Набрякання зразків із суміші порошку з бітумом, відсоток за об'ємом	2,5, не більше	0,4	2,2	1,3

*Кінець таблиці 1*

Ч. ч.	Найменування показників, одиниця вимірювання	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-121	Результати випробування		
			мінерального порошку	золи з гідровідвалу	золи-винесення
6	Структуруюча здатність, °С	від 10 до 20 включно	14	11	14

Як видно з даних **табл. 1**, за зерновим складом досліджуваний мінеральний порошок, зола-винесення та зола з гідровідвалу відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-121 відповідно до неактивованого мінерального порошку марки І. Дійсна густина наповнювачів суттєво не відрізняється та знаходиться в одному діапазоні, середня густина найменша у золи з гідровідвалу, а золи-винесення — наближена до мінерального порошку. В цілому зола-винесення за всіма показниками відповідає вимогам діючого нормативного документу, а зола з гідровідвалу не відповідає за показником пористості у разі ущільнення 40 МПа.

Виробництво асфальтобетонних сумішей в лабораторії здійснювали з дотриманням стандартної послідовності та змісту технологічних операцій згідно з ДСТУ Б В.2.7-319.

З підібраним вмістом бітуму було вироблено асфальтобетонні суміші в яких мінеральний порошок замінено на золу з гідровідвалу та золу-винесення.

Для досліджуваних матеріалів було визначено середню густину, водонасичення, границю міцності при стиску за температури 0 °С, 20 °С та 50 °С, коефіцієнт довготривалої водостійкості та морозостійкості. Результати випробування наведено в **табл. 2**.

*Таблиця 2*

*Результати випробування асфальтобетонів*

Ч. ч.	Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробувань асфальтобетону отриманого з використанням			Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119 (район А-2)
		мінерального порошку	золи з гідровідвалу	золи-винесення	
1	Середня густина асфальтобетону, г/см <sup>3</sup>	2,46	2,41	2,45	-
2	Водонасичення, % за об'ємом	1,8	3,9	2,1	не більше ніж 3,5
3	Границя міцності при стиску за температури 0 °С, МПа	9,9	11,5	10,2	не більше ніж 12,0
4	Границя міцності при стиску за температури 20 °С, МПа	4,5	4,3	4,4	не менше ніж 2,7
5	Границя міцності при стиску за температури 50 °С, МПа	1,8	1,4	1,6	не менше ніж 1,2

Ч. ч.	Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробувань асфальтобетону отриманого з використанням			Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119 (район А-2)
		мінерального порошку	золи з гідровідвалу	золи-винесення	
6	Коефіцієнт довготривалої водостійкості	0,94	0,88	0,95	0,90, не менше
7	Коефіцієнт морозостійкості	0,85	0,78	0,82	0,80, не менше

Результати випробування показали, що під час заміни мінерального порошку відбувається незначне зниження його середньої густини (рис. 1). Під час заміни мінерального порошку на золу з гідровідвалу відбувається зниження середньої густини асфальтобетону з 2,46 г/см<sup>3</sup> до 2,41 г/см<sup>3</sup>, а на золу-винесення — до 2,45 г/см<sup>3</sup>.

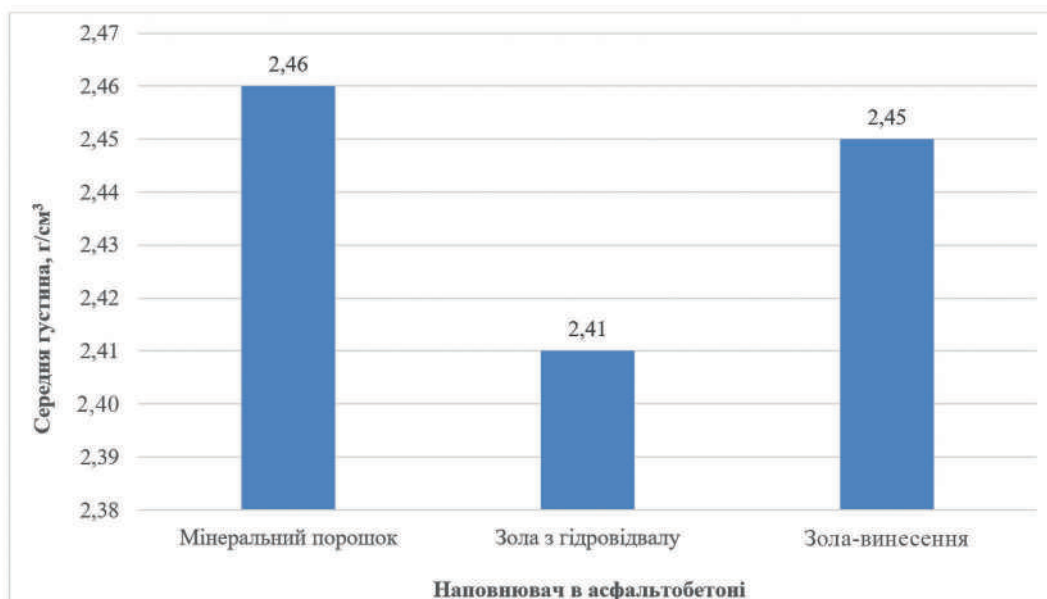


Рисунок 1 — Результати визначення середньої густини асфальтобетону

Зниження середньої густини призводить до зростання водонасичення асфальтобетону (рис. 2). Так, при заміні мінерального порошку на золу з гідровідвалу водонасичення зростає з 1,8 % за об'ємом до 3,9 % за об'ємом, а заміна на золу-винесення — до 2,1 % за об'ємом.

Заміна мінерального порошку на золу з гідровідвалу та золу-винесення призводить до зміни міцності асфальтобетону (рис. 3, рис. 4 та рис. 5). При цьому, міцність за температури 0 °С зростає, а за температури 20 °С та 50 °С — знижується.

Зміна середньої густини та водонасичення асфальтобетону суттєво впливає на водо- та морозостійкість асфальтобетону (рис. 6 та рис. 7). При цьому, зниження даних показників найбільш суттєвим є для золи з гідровідвалу.

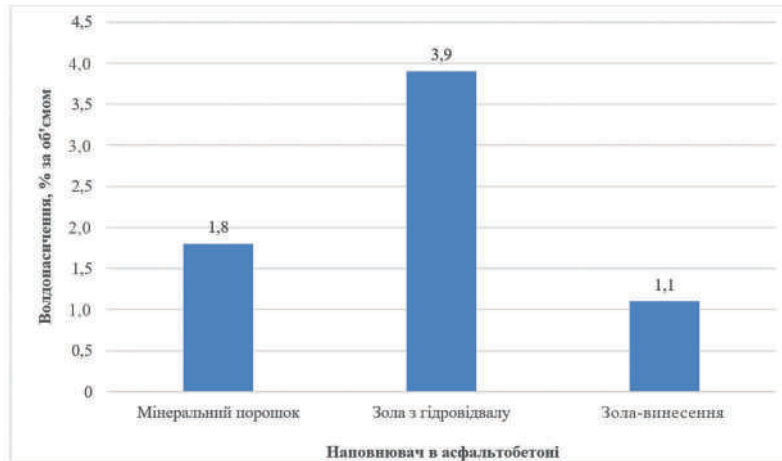


Рисунок 2 — Результати визначення водонасичення асфальтобетону

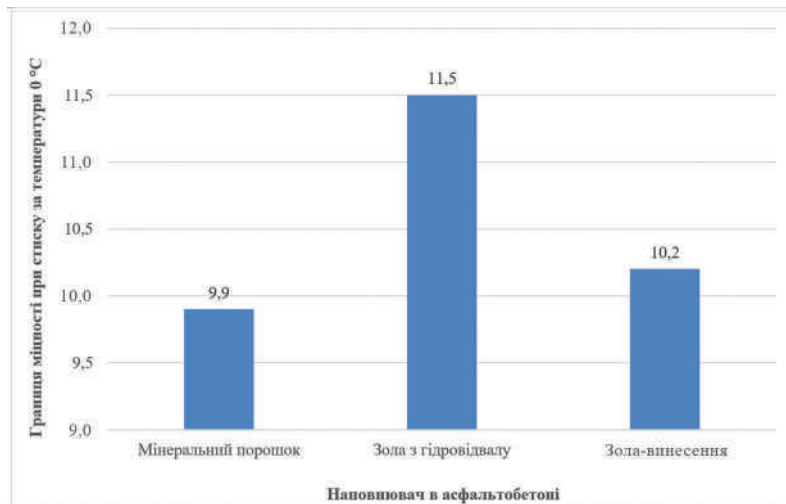


Рисунок 3 — Результати визначення міцності асфальтобетону за температури 0 °С

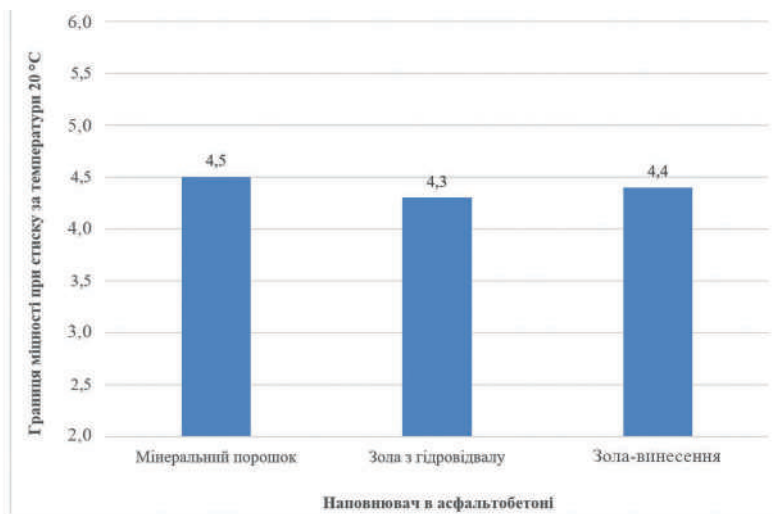


Рисунок 4 — Результати визначення міцності асфальтобетону за температури 20 °С

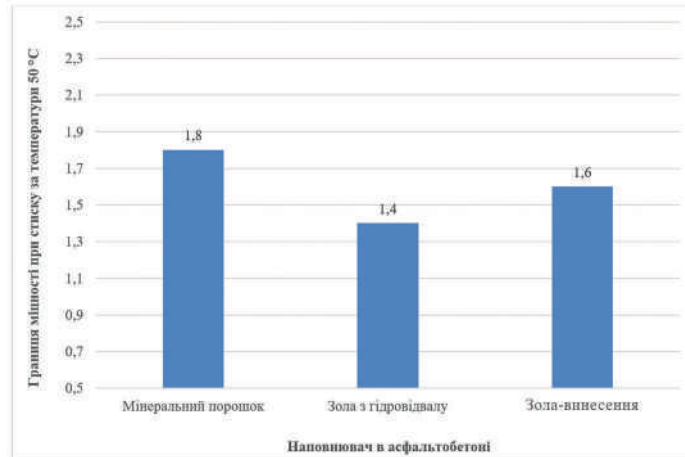


Рисунок 5 — Результати визначення міцності асфальтобетону за температури 50 °C

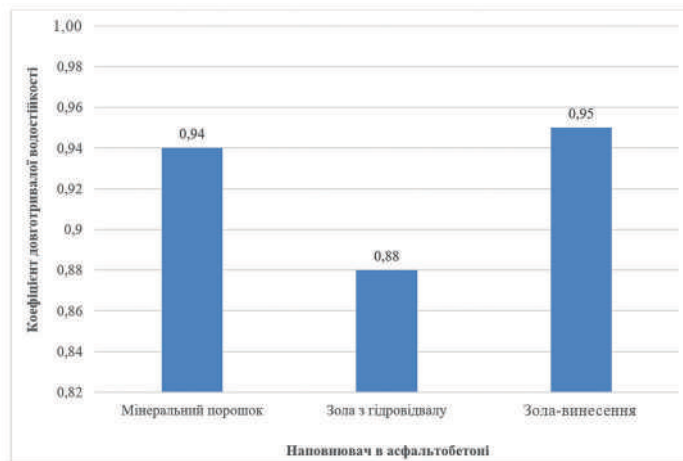


Рисунок 6 — Результати визначення коефіцієнта довготривалої водостійкості

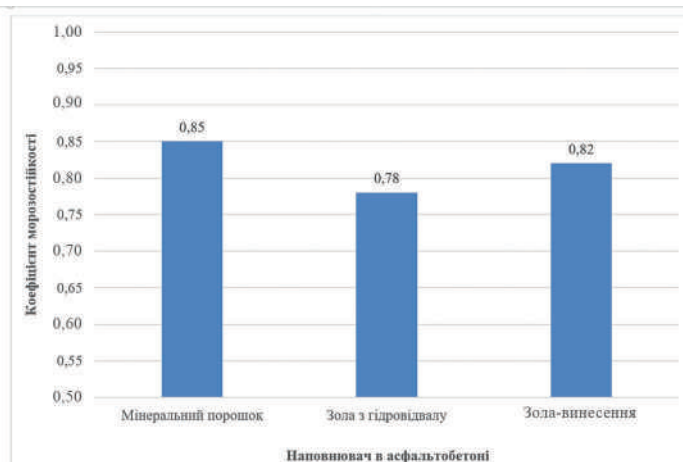


Рисунок 7 — Результати визначення коефіцієнта морозостійкості

## Висновки

Заміна мінерального порошку на золу з гідровідвалу та золу-винесення призводить до зниження середньої густини асфальтобетону, міцності за температури 20 °С, міцності за температури 50 °С, коефіцієнта довготривалої водостійкості та коефіцієнта морозостійкості, а також зростання водонасичення та міцності за температури 0 °С.

У випадку використання золи з гідровідвалу такі зміни властивостей асфальтобетонів призводять до його невідповідності вимогам нормативних документів за показником водонасичення та морозостійкості. Таким чином, досліджену золу з гідровідвалу без додаткової переробки не може бути використано для повної заміни мінерального порошку під час виробництва асфальтобетонних сумішей, оскільки така заміна призводить до значного погіршення водо- та морозостійкості асфальтобетону. У той самий час, досліджену золу з гідровідвалу може бути використано для виробництва бітумінеральних сумішей згідно з ДСТУ Б В.2.7-305, оскільки для ущільнених сумішей згідно з цим стандартом встановлено нижчі вимоги до коефіцієнта довготривалої водостійкості, а до коефіцієнта морозостійкості вимоги взагалі не встановлено.

Під час використання золи-винесення отримуємо асфальтобетон, що за всіма показниками відповідає встановленим вимогам і дана зола може бути використана для виробництва асфальтобетонних сумішей.

Використання золи-винесення дозволить значно зменшити кількість відходів та поліпшити екологічний стан довкілля.

## Список літератури

1. Соколов О. В., Желотобрюх А. Д., Копинець І. В., Каськів В. І. Використання відходів промисловості в дорожньому будівництві. Дороги і мости. Київ, 2020. Вип. 21. С. 110-119.
2. Про затвердження Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки, редакція від 21.03.2018 № 382 / База даних Законодавство України // Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/382-2018-%D0%BF#Text> (дата звернення: 10.08.2021).
3. Про застосування відходів виробництва в дорожньому будівництві, редакція від 04.12.2019 № 1420-р / База даних Законодавство України // Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1420-2019-%D1%80#Text> (дата звернення 10.08.2021).

## References

1. Sokolov OV, Zhelotobryukh AD, Kopynets IV, Kaskiv V.I. The use of industrial waste in road construction. *Roads and bridges*. Kiev, 2020. Edit. 21. P. 110-119 [in English].
2. State target economic program for the development of public roads of state importance for 2018-2022. URL: <https://www.kmu.gov.ua/ua/news/derzhavna-cilova-ekonomichna-programa-rozvitku-avtomobilni-dorig-zagalnogo-korisuvannya-derzhavnogo-znachennya-na-2018-2022-roki>. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/382-2018-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].
3. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of December 4, 2019 № 1420-r «On the use of industrial waste in road construction.» URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1420-2019-%D1%80#Text> [in Ukrainian].



Volodymyr Kaskiv, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

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

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

*M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine*

### STUDY OF FLY ASH FROM POWER GENERATING ENTERPRISES TO USE IT AS AN ALTERNATIVE TO LIME MINERAL FILLER FOR THE PRODUCTION OF ASPHALT MIXTURES

#### **Abstract**

**Introduction.** Asphalt mixtures are one of the most widely used materials in the construction of roads. For the production of these mixtures, mainly conditioned mineral materials are used — coarse aggregate, fine aggregate and filler, and bitumen is used as a binder.

**Problem statement.** In Ukraine, the filler is mainly used material obtained by grinding the carbonate rocks, which is established in DSTU B V.2.7-119 and DSTU B V.2.7-121.

At the same time, as a result of coal combustion, millions of tons of dusty waste are generated at power generating plants of Ukraine - fly ashes and ashes from the hydraulic mine dump. These materials are close by grading to the requirements for the filler in accordance with DSTU B V.2.7-121 and probably can be used for the production of asphalt mixtures.

**Purpose.** Determination of the possibility of using the fly ashes for the production of asphalt mixtures.

**Materials and methods.** Type B asphalt concrete and mineral fillers of different origins were used during the research.

**Results.** Test results showed that the studied fly ashes can be used for the production of asphalt mixtures, because the complete replacement of limestone filler with fly ashes from the thermal power plants does not lead to the deterioration of asphalt mixtures properties.

**Conclusions.** Use of fly ashes for the production of asphalt mixtures will significantly reduce the quantity of wastes and improve the ecological state of the environment.

**Keywords:** road, asphalt concrete, asphalt mixture, density, ecology, fly ashes, filler, compressive strength.

УДК 625.7

Ілляш С. І.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-3001-8012>Мудриченко А. Я.<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-9787-2523>Балашов І. О.<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-0137-8008>Варицький Г. В.<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-3960-5635><sup>1</sup> Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна<sup>2</sup> ТОВ «ПВДЕНЬСПЕЦБУД», м. Київ, Україна

---

**ВИКОРИСТАННЯ АКРИЛОВОЇ КОПОЛІМЕРНОЇ ДОБАВКИ SOIL STABILIZATION PLUS ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ СУМІШЕЙ, ВИГОТОВЛЕНИХ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛІНГУ ТА ЩЕБЕНЕВО-ПІЩАНИХ СУМІШЕЙ В ШАРАХ ОСНОВИ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ****Анотація**

**Вступ.** Відновлення мережі автомобільних доріг загального користування потребує комплексного підходу до прийняття ремонтних рішень. Зокрема, з цією метою широко використовується технологія холодного ресайклінгу, а саме, відновлення несної здатності основи проводиться шляхом улаштування шарів з матеріалу дорожнього, виготовленого за технологією холодного ресайклінгу (далі — МДХР) згідно з [3] або шляхом улаштування шару із щебенево-піщаної суміші, укріпленої цементом або комплексним в'язучим (далі — ЩПС-20) згідно з [12].

**Мета.** Мета роботи полягала у дослідженні доцільності використання акрилової емульсії для приготування сумішей, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу та щебенево-піщаних сумішей оброблених цементом в шарах основи дорожнього одягу.

**Матеріали і методи.** Проведено експериментальні порівняльні випробування МДХР та ЩПС-20 з різним вмістом комплексного в'язучого.

**Результати.** Встановлено доцільність використання акрилової емульсії для приготування МДХР та ЩПС-20 в шарах основи дорожнього одягу. Надано рекомендації щодо технологічних параметрів приготування, транспортування, укладання та ущільнення таких сумішей.

**Висновки.** Проведені дослідження показали, що за фізико-механічними показниками МДХР та ЩПС-20 відповідають вимогам чинних нормативних документів України. Відзначено переваги використання.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, акрилова емульсія, добавка, дорожній одяг, холодний ресайклінг.

**Вступ**

Працівниками ДП «ДерждорНДІ» виконувались дослідження щодо можливості використання акрилової емульсії, як складової комплексного в'язучого для приготування МДХР та ЩПС-20 в шарах основи дорожнього одягу.

Відповідно до [3] та [5] влаштування шару основи дорожнього одягу із МДХР виконується за технологією холодного ресайклінгу, яка може реалізовуватися двома методами — безпосередньо на дорозі (з використанням ресайклерів) та приготуванням сумішей в установці.

Метод холодного ресайклінгу безпосередньо на дорозі реалізовується шляхом застосування ресайклеру та включає наступні технологічні операції:

- фрезерування шарів існуючого дорожнього одягу ресайклером чи дорожньою фрезою (за необхідності);
- планування поверхні автогрейдером;

- розподілення нового кам'яного матеріалу та цементу;
- фрезерування та перемішування матеріалу з додаванням емульсії ресайклером;
- планування та профілювання поверхні шару автогрейдером;
- ущільнення суміші, виготовленої за технологією холодного ресайклінгу (далі — СХР) відповідною ланкою котків.

– догляд за влаштованим шаром.

Влаштування шару СХР, при приготуванні суміші в установці включає наступні технологічні операції:

- фрезерування шарів існуючого дорожнього одягу дорожньою фрезою з навантаженням в автосамоскиди;
- транспортування фрезерованого матеріалу;
- приготування СХР в стаціонарних змішувальних установках примусової дії;
- транспортування та вивантаження СХР в приймальний бункер асфальтоукладача;
- укладання СХР асфальтоукладачем (щегенерозподілювачем, профілювальником, автогрейдером тощо);
- ущільнення шару СХР відповідною ланкою котків;
- догляд за влаштованим шаром.

При приготуванні СХР в установці, їх укладання відповідно до вищезазначених будівельних норм виконується асфальтоукладачами або автогрейдером. Аналогічними механізмами виконується укладання і щебенево-піщаних сумішей, оброблених цементом згідно з [12].

Також при приготуванні СХР в установці та укладанні сумішей асфальтоукладачами, досягаються вищі показники рівності поверхні перед влаштуванням наступних асфальтобетонних шарів, що підвищує вірогідність забезпечення нормативних вимог щодо рівності дорожнього покриття.

### Основна частина

Дослідження можливості використання акрилової емульсії, як складової комплексного в'язучого для приготування МДХР та ЩПС-20 в шарах основи дорожнього одягу було виконано в ДП «ДерждорНД». Ці дослідження передбачали проведення ряду експериментів щодо приготування та випробування таких сумішей.

При виконанні досліджень сумішей були проведені такі випробування:

- визначення складу фрезерованої суміші (зерновий склад та вміст бітуму) та встановлення відповідності її зернового складу вимогам **табл. 1** [3];
- підбір зернового складу суміші, виготовленої за технологією холодного ресайклінгу, який відповідає вимогам до зернового складу суміші з максимальним розміром зерен 20 мм;
- випробування МДХР з додаванням 3,5 % цементу від маси суміші та витриманих відповідно до вимог розділу 6.4 [4];
- випробування МДХР з додаванням 3,5 % цементу та 4 % бітумної емульсії ЕКШ-60 від маси суміші та витриманих відповідно до вимог розділу 6.4 [4];
- випробування МДХР з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 % акрилової емульсії від маси суміші та витриманих відповідно до вимог розділу 6.4 [4];
- випробування МДХР з додаванням 3,5 % цементу та 1,2 % акрилової емульсії від маси суміші та витриманих відповідно до вимог розділу 6.4 [4];
- визначення зернового складу щебенево-піщаної суміші та встановлення відповідності її зернового складу вимогам таблиці 3 [12];
- підбір зернового складу щебенево-піщаної суміші, який відповідає вимогам до зернового складу суміші з максимальним розміром зерен 20 мм;
- випробування укріплених щебенево-піщаних сумішей з додаванням 3,5 % цементу від маси суміші та витриманих відповідно до вимог розділу 4 [11];

- випробування укріплених щебенево-піщаних сумішей з додаванням 3,5 % цементу та 4 % бітумної емульсії ЕКШ-60 від маси суміші та витриманих відповідно до вимог розділу 4 [11];
- випробування укріплених щебенево-піщаних сумішей з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 % акрилової емульсії від маси суміші та витриманих відповідно до вимог розділу 4 [11];
- випробування укріплених щебенево-піщаних сумішей з додаванням 3,5 % цементу та 1,2 % акрилової емульсії від маси суміші та витриманих відповідно до вимог розділу 4 [11].

**Таблиця 1**

**Результати визначення гранулометричного складу мінеральної частини фрезерованої суміші**

Вміст за масою в фрезерованій суміші, % мінеральних зерен, менших даного розміру, мм									
	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Суміш фрезерована	90,9	75,4	63,5	49,3	40	30,0	21	13,1	7,6
Вимоги ДСТУ 8976	100-90	80-60	65-35	50-20	40-15	30-10	25-5	20-3	≤15
Відповідність до вимог ДСТУ 8976	+	+	+	-	+	+	+	+	+

За результатами випробувань гранулометричного складу суміші фрезерованої відповідає гранулометричному складу СХР згідно з [3]. Вміст бітуму в суміші фрезерованій становив 6,3 % від маси мінеральних матеріалів.

**Таблиця 2**

**Результати визначення гранулометричного складу щебенево-піщаної суміші**

Вміст за масою в фрезерованій суміші, % мінеральних зерен, менших даного розміру, мм									
	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
ЩПС-20	94,4	68,0	49,2	21,8	16,8	13,0	8,0	3,6	1,4

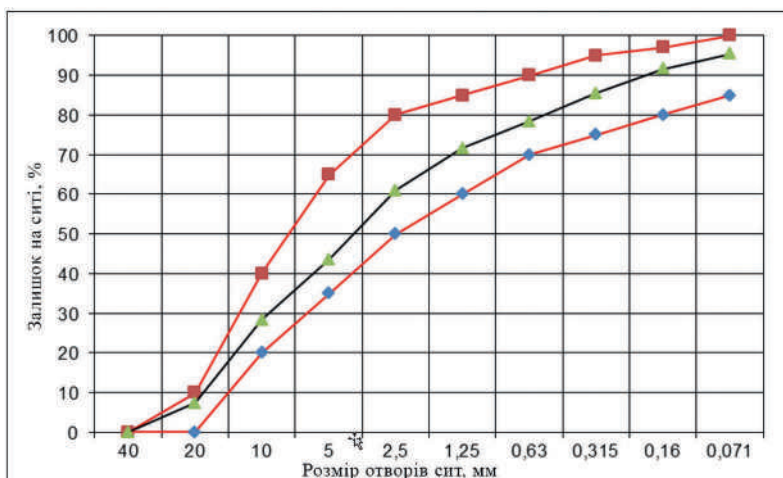
За результатами випробувань гранулометричного складу щебенево-піщаної суміші, зерновий склад відповідає гранулометричному складу ЩПС С9 згідно з [6].

**Таблиця 3**

**Результати визначення гранулометричного СХР**

	Вміст за масою, % мінеральних зерен, на ситі з розміром отворів, мм								
	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Часткові залишки ФС, 50 %	4,6	7,8	6,0	3,6	8,2	4,9	4,6	4,0	2,8
Часткові залишки С9, 50 %	2,8	13,2	9,4	13,7	2,5	1,9	2,5	2,2	1,1
Всього, часткові залишки, %	22,4	19,4	12,2	8,6	9,0	5,8	6,2	5,4	3,3
Всього, повні залишки, %	26,2	45,6	57,8	66,4	75,4	81,1	87,4	92,8	96,1
Вимоги ДСТУ 8976	0-10	20-40	35-60	50-80	60-85	70-90	75-95	80-97	85-100
Відповідність вимогам [1]	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Зерновий склад СХР, який відповідає вимогам до зернового складу СХР з максимальним розміром зерен 20 мм згідно **табл. 1** [3].

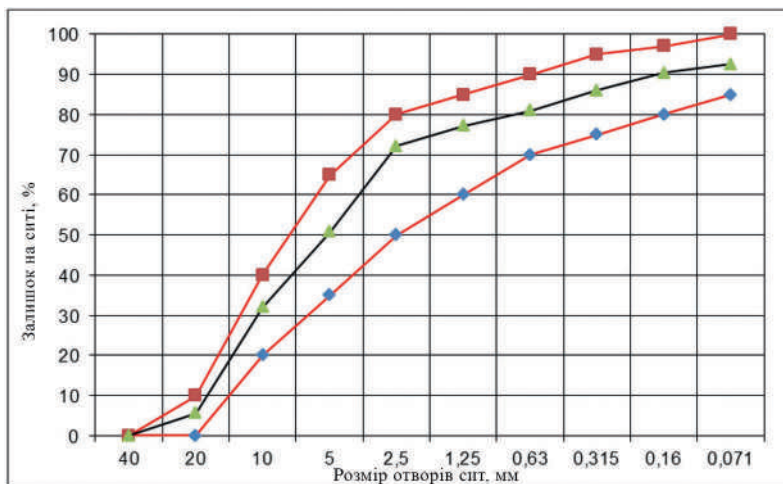


**Рисунок 1** — Графік підбору зернового складу суміші, виготовленої за технологією холодного ресайклінгу

**Таблиця 4**

### Результати визначення гранулометричного складу ЩПС 20

	Вміст за масою, % мінеральних зерен, на ситі з розміром отворів, мм								
	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
ЩПС-20	5,6	32,0	50,8	72,2	77,2	81,0	86,0	90,4	92,6
Вимоги [3]	0-10	20-40	35-60	50-80	60-85	70-90	75-95	80-97	85-98
Відповідність вимогам [3]	+	+	+	+	+	+	+	+	+



**Рисунок 2** — Графік підбору зернового складу щебенево-піщаної суміші

Приготування зразків з сумішей, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу здійснювали згідно з [4] з дотриманням стандартної послідовності та змісту технологічних операцій.

Результати випробувань МДХР

Ч. ч.	Назва показника	Результати випробування МДХР, що складається з			
		ФМ+ЩПС + 3,5 % цементу	ФМ+ЩПС + 3,5 % цементу + 4 % бітумної емульсії	ФМ+ЩПС + 3,5 % цементу + 0,8 % акрилової емульсії	ФМ+ЩПС + 3,5 % цементу + 1,2 акрилової емульсії
1	Середня густина, г/см <sup>3</sup>	2,26	2,28	2,31	2,32
2	Водонасичення, % за об'ємом	3,17	2,28	1,45	1,23
3	Границя міцності при стиску за температури 20 °С, МПа	3,84	3,85	3,31	3,02
4	Границя міцності при стиску за температури 50 °С, МПа	1,92	1,78	1,44	1,38
5	Розтяг при розколюванні, МПа	2,65	3,44	2,69	2,80
6	Водостійкість при тривалому водонасиченні	0,67	0,80	0,95	0,96
7	Морозостійкість	0,61	0,68	0,72	0,74

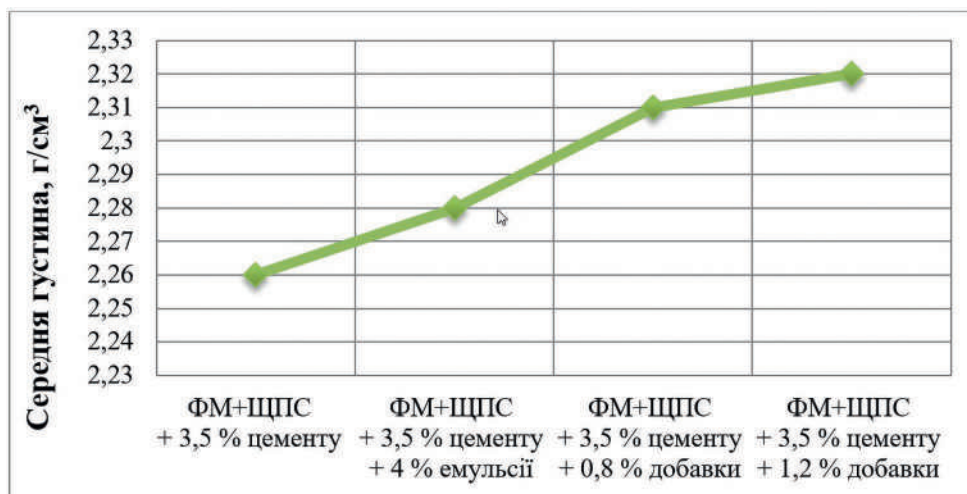


Рисунок 3 — Графік залежності середньої густини зразків МДХР від їх складу

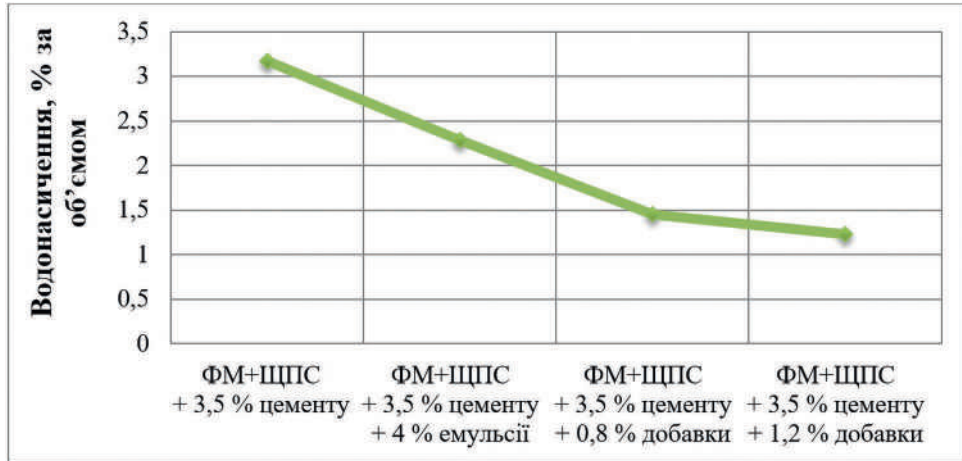


Рисунок 4 — Графік залежності водонасичення зразків МДХР від їх складу

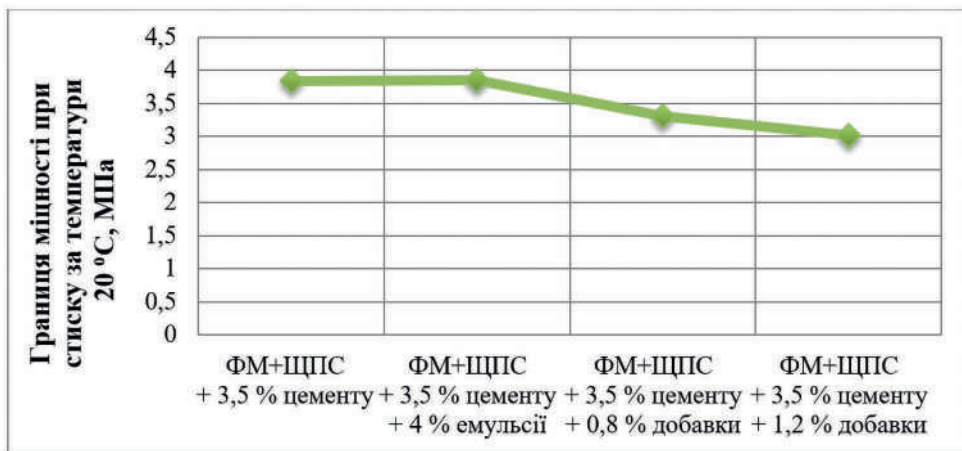


Рисунок 5 — Графік залежності границя міцності при стиску за температури 20 °C, МПа зразків МДХР від їх складу

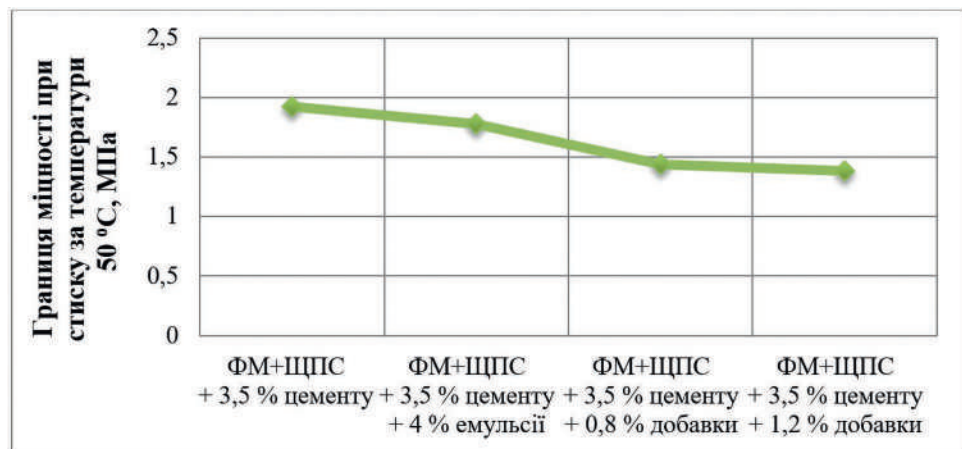


Рисунок 6 — Графік залежності границя міцності при стиску за температури 50 °C, МПа зразків МДХР від їх складу

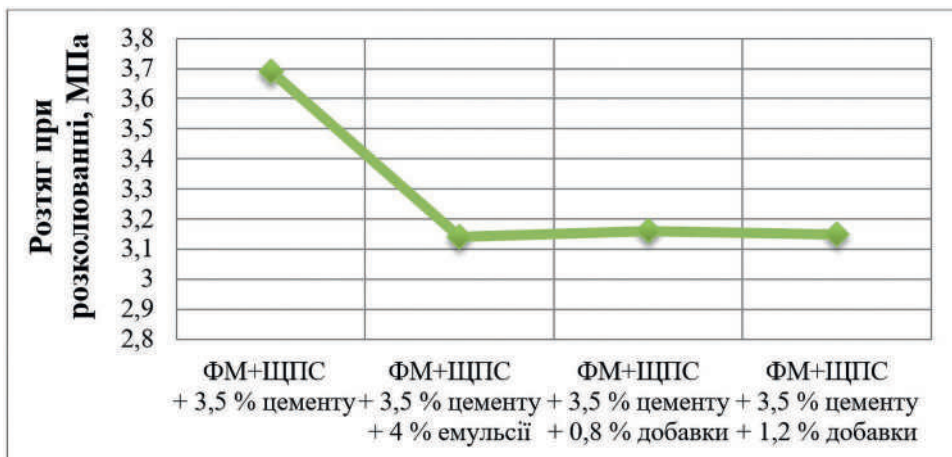


Рисунок 7 — Графік залежності границя міцності на розтяг при розкорлюванні, МПа зразків МДХР від їх складу

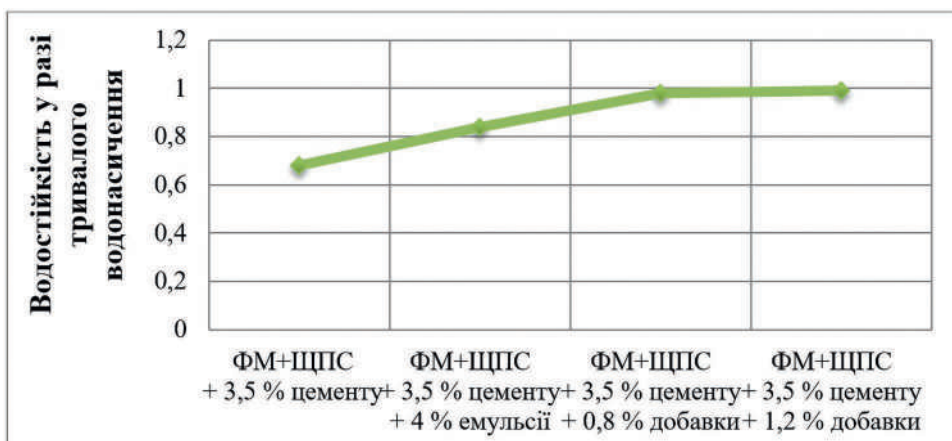


Рисунок 8 — Графік залежності водостійкості при тривалому водонасиченні зразків МДХР від їх складу

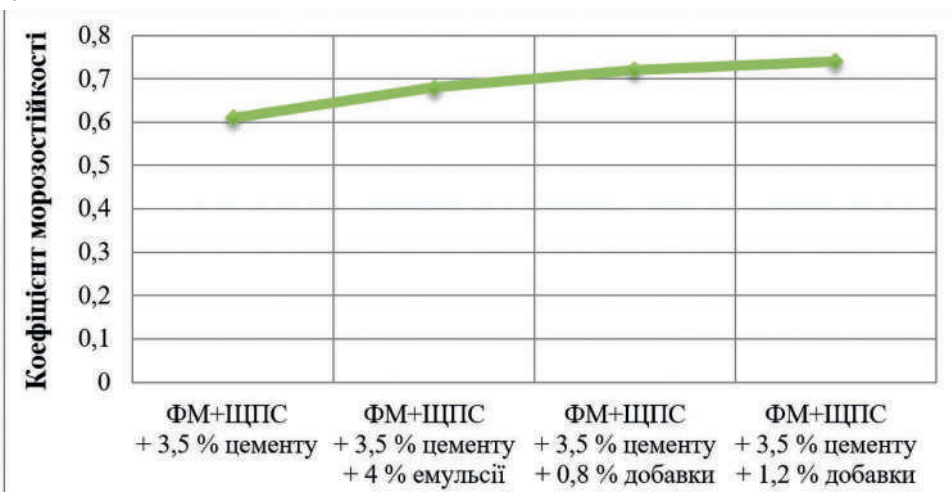
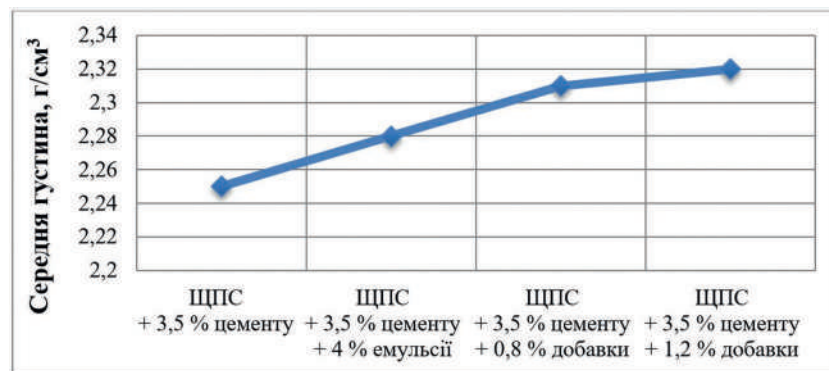


Рисунок 9 — Графік залежності коефіцієнта морозостійкості зразків МДХР від їх складу

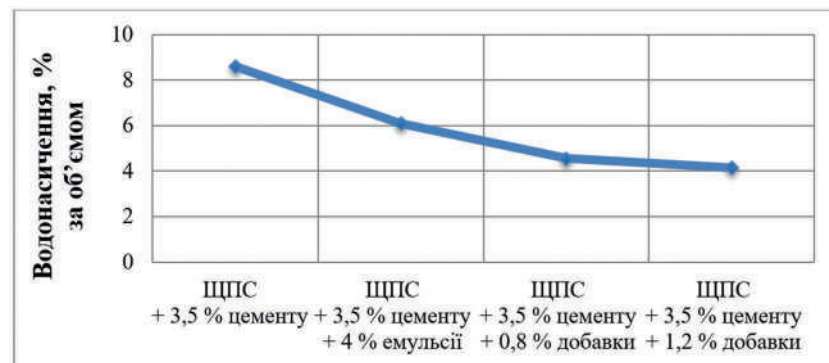


*Результати випробувань ЩПС-20*

Ч. ч.	Назва показника	Результати випробування ЩПС-20, що складається з			
		ЩПС + 3,5 % цементу	ЩПС + 3,5 % цементу + 4 % бітумної емульсії	ЩПС + 3,5 % цементу + 0,8 % акрилової емульсії	ЩПС + 3,5 % цементу + 1,2 акрилової емульсії
1	Середня густина, г/см <sup>3</sup>	2,25	2,28	2,31	2,32
2	Водонасичення, % за об'ємом	8,58	6,09	4,55	4,15
3	Границя міцності при стиску за температури 20 °С, МПа	3,69	3,14	3,16	3,15
4	Розтяг при розколюванні, МПа	2,62	2,88	2,73	2,70
5	Водостійкість при тривалому водонасиченні	0,68	0,84	0,98	0,99
6	Морозостійкість	0,55	0,65	0,70	0,73



*Рисунок 10* — Графік залежності середньої густини зразків ЩПС-20 від їх складу



*Рисунок 11* — Графік залежності водонасичення зразків ЩПС-20 від їх складу

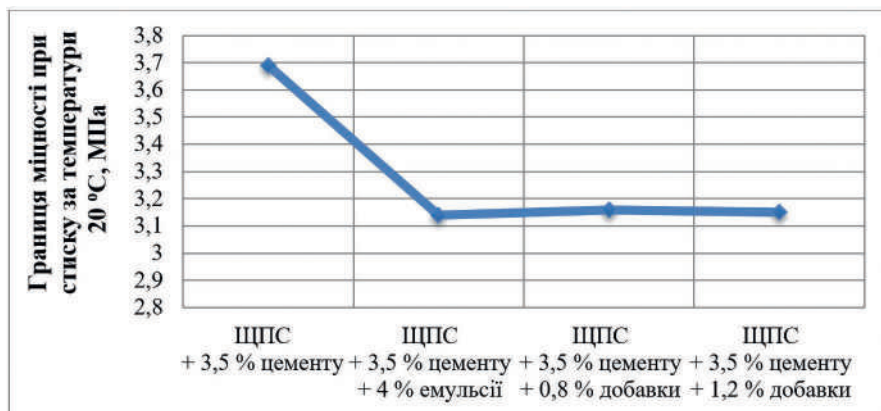


Рисунок 12 — Графік залежності границя міцності при стиску за температури 20 °C, МПа зразків ЩПС-20 від їх складу

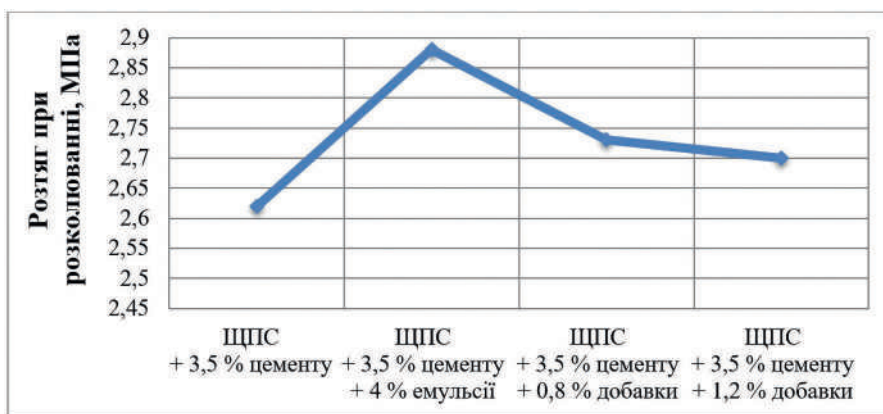


Рисунок 13 — Графік залежності границя міцності при стиску за температури 50 °C, МПа зразків ЩПС-20 від їх складу

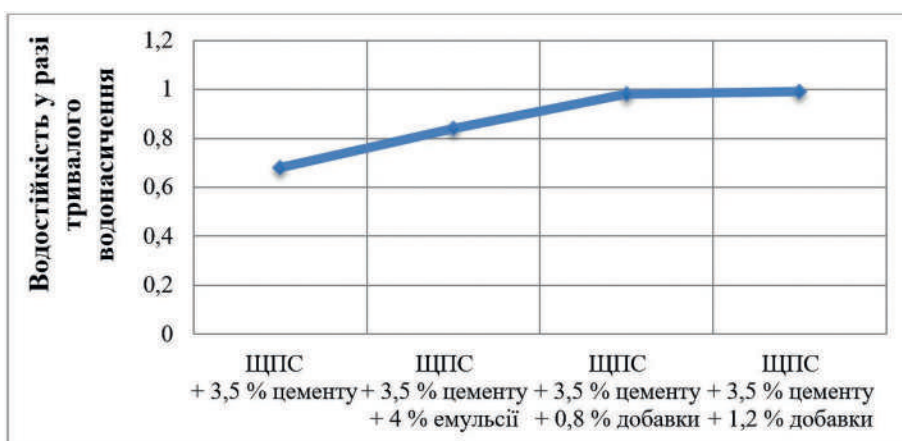


Рисунок 14 — Графік залежності водостійкості при тривалому водонасиченні зразків ЩПС-20 від їх складу

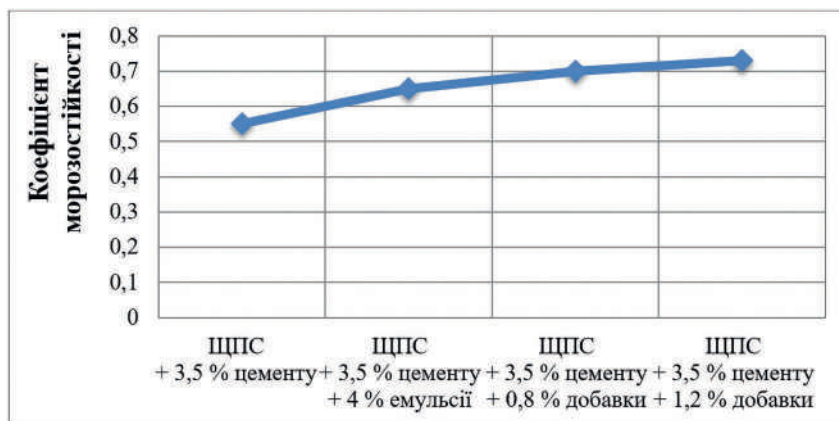


Рисунок 15 — Графік залежності коефіцієнта морозостійкості зразків ЩПС-20 від їх складу

### Висновки

Проведені дослідження використання акрилової емульсії для приготування МДХР та ЩПС-20 в шарах основи дорожнього одягу дають змогу зробити такі висновки:

1. Результати випробувань ущільнених СХР з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 %, 1,2 % акрилової емульсії, від маси суміші відповідають вимогам марки М 20 табл. 4 [1].

2. Використання акрилової емульсії дає змогу збільшити щільність суміші та зменшити водонасичення порівняно з показниками, що отримані після укріплення суміші 3,5 % цементу або 3,5 % цементу та 4 % бітумної емульсії. Щільність ущільненої суміші є вищою від суміші, укріпленої мінеральним в'язучим або комплексним в'язучим з використанням бітумної емульсії.

3. Показники границі міцності при стиску за температури 20 °С та 50 °С ущільненої СХР з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 %, 1,2 % акрилової емульсії відповідають вимогам табл. 4 [1].

4. Показники границі міцності на розтяг при розколюванні ущільненої СХР з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 %, 1,2 % акрилової емульсії більші порівняно із цими показниками сумішей із додаванням 3,5 % цементу та 4 % бітумної емульсії.

5. При введенні добавки має місце зростання водостійкості при тривалому водонасиченні та морозостійкості ущільнених сумішей.

6. Раціональний вміст добавки залежить від властивостей суміші фрезерованої та вихідних кам'яних матеріалів. У кожному конкретному випадку необхідний вміст добавки та цементу необхідно визначати в лабораторії за результатами випробування зразків ущільнених сумішей. Необхідна кількість доданих нових мінеральних матеріалів залежить від складу суміші фрезерованої, складу доданих мінеральних матеріалів та типу суміші.

7. Оптимальна кількість води повинна становити від 2,0 % до 3,5 % за масою залежно від вологості фрезерованого матеріалу і щебенево-піщаної суміші та місцевих умов.

8. При виконанні робіт з відновлення несної здатності основи дорожнього одягу за технологією холодного ресайклінгу з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 % акрилової емульсії доцільно керуватися вимогами [3].

9. Результати випробувань щебенево-піщаних сумішей ЩПС-20 з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 %, 1,2 % акрилової емульсії, від маси суміші відповідають вимогам марки М 20 табл. 7 [12].

10. Використання акрилової емульсії дає змогу збільшити щільність суміші ЩПС-20 та зменшити водонасичення порівняно з показниками, що отримані після укріплення суміші 3,5 % цементу або 3,5 % цементу та 4 % бітумної емульсії. Щільність ущільненої суміші є більшою від суміші, укріпленої мінеральним в'язучим або комплексним в'язучим з використанням бітумної емульсії.

11. Показники границі міцності при стиску ущільненої суміші, з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 %, 1,2 % акрилової емульсії відповідає вимогам табл. 7 [12].

12. Показники границі міцності на розтяг при розколюванні ущільненої суміші з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 %, 1,2 % акрилової емульсії більші від сумішей із додаванням 3,5 % цементу.

13. При введенні добавки має місце зростання водостійкості при тривалому водонасиченні та морозостійкості ущільнених сумішей.

14. Раціональний вміст добавки залежить від властивостей вихідних кам'яних матеріалів. У кожному конкретному випадку необхідний вміст добавки та цементу необхідно визначати в лабораторії за результатами випробування зразків ущільнених сумішей.

15. Оптимальна кількість води повинна становити від 2,0 % до 3,5 % за масою залежно від вологості щебенево-піщаної суміші та місцевих умов.

16. При виконанні робіт з улаштування шарів дорожнього одягу з щебенево-піщаних сумішей з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 % акрилової емульсії доцільно керуватися вимогами [12].

### Список літератури

1. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. Київ. 2015. 115 с. (Інформація та документація).
2. ДСТУ 4044-2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні вимоги. (Інформація та документація). Київ. 2019. 15 с. (Інформація та документація).
3. ДСТУ 8976:2020 Матеріали дорожні, виготовлені за технологією холодного ресайклінгу. Технічні умови. Київ. 2020. 17 с. (Інформація та документація).
4. ДСТУ 8977:2020 Матеріали дорожні, виготовлені за технологією холодного ресайклінгу. Методи випробування. Київ. 2020. 19 с. (Інформація та документація).
5. ДСТУ 8978:2020 Настанова з улаштування шарів дорожнього одягу за технологією холодного ресайклінгу. Київ. 2020. 21 с. (Інформація та документація)
6. ДСТУ Б В.2.7-30:2013 Матеріали нерудні для щебених і гравійних основ та покриттів автомобільних доріг. Загальні технічні умови. Київ. 2013. 13 с. (Інформація та документація).
7. ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. Київ. 2010. 15 с. (Інформація та документація).
8. 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. Київ. 1998. 23 с. (Інформація та документація).
9. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови. Київ. 1998. 21 с. (Інформація та документація).
10. ДСТУ Б В.2.7-129:2013 Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови. Київ. 2013. 17 с. (Інформація та документація).
11. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. Київ. 2009. 15 с. (Інформація та документація).
12. ДСТУ-Н Б В.2.3-39:2016 Настанова з улаштування шарів дорожнього одягу з кам'яних матеріалів. Київ. 2016. 13 с. (Інформація та документація).

### References

1. DBN B.2.3-4:2015 Roads. Part I. Designing. Part II. Construction. Kyiv 2015. 115 p. (Information and documents).
2. DSTU 4044-2019 Oil paving viscous bitumen. Technical requirements. (Information and documentation). Kyiv 2019. 15 p.
3. DSTU 8976:2020 Road materials made by cold recycling technology. Specifications. Kyiv 2020. 17 p. (Information and documentation).

4. DSTU 8977:2020 Road materials made by cold recycling technology. Test methods. Kyiv. 2020. 19 p. (Information and documentation).
5. DSTU 8978:2020 Guidelines for the arrangement of layers of pavement on the technology of cold recycling. Kyiv. 2020. 21 p. (Information and documentation)
6. DSTU B V.2.7-30:2013 Non-metallic materials for crushed stone and gravel foundations and road pavements. General specification. Kyiv. 2013. 13 p. (Information and documentation).
7. DSTU B V.2.7-46:2010 Construction materials. General construction cements. Specifications. Kyiv. 2010. 15 p. (Information and documentation).
8. DSTU B V.2.7-71-98 Crushed stone and gravel from solid rocks and industrial wastes for construction works. Methods of physical and mechanical tests. Kyiv. 1998. 23 p. (Information and documentation).
9. DSTU B V.2.7-75-98 Construction materials. Solid natural crushed stone and gravel for construction materials, products, structures and works. Specifications. Kyiv. 1998. 21 p. (Information and documentation).
10. DSTU B V.2.7-129:2013 Paving bitumen emulsions. Specifications. Kyiv. 2013. 17 p. (Information and documentation).
11. DSTU B V.2.7-214:2009 Construction materials. Concrete. Methods for determination of strength by control samples. Kyiv. 2009. 15 p. (Information and documentation).
12. DSTU-N B V.2.3-39:2016 Guidelines for the arrangement of layers of pavement made of stone materials. Kyiv. 2016. 13 p. (Information and documentation).

---

Sergii Illiash<sup>1</sup>, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-3001-8012>

Anatolii Mudrychenko<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-9787-2523>

Ivan Balashov<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-0137-8008>

Hennadii Varytskyi<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-3960-5635>

<sup>1</sup> M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> LLC PIVDENSPETSBUK, Kyiv, Ukraine

### USE OF ACRYLIC COPOLYMER ADDITIVE SOIL STABILIZATION PLUS FOR PREPARATION OF MIXTURES MADE BY COLD RESYCLING TECHNOLOGY AND CRUSHED STONE-SAND MIXTURES IN PAVEMENT FOUNDATION LAYERS

#### **Abstract**

**Introduction.** Rehabilitation of public roads network requires a comprehensive recovery with strengthening of the bearing capacity of the pavement foundation. Rehabilitation of the foundation bearing capacity performed by arranging layers of road material made by cold recycling technology (hereinafter — CRRM) in accordance with [4] or by arranging a layer of crushed stone — sand mixture reinforced with cement or complex binder (hereinafter — CSSM 20) according to [13].

**Purpose.** The purpose of the work is to study the feasibility of using acrylic additives for the preparation of mixtures made by cold recycling technology and crushed stone-sand mixtures treated with cement in the layers of pavement foundation.

**Materials and methods.** Experimental comparative tests of CRRM and CSSM 20 with different content of complex binder were performed.

**Results.** Feasibility of acrylic additives use has been established (hereinafter — the additive) for the preparation of CRRM and CSSM 20 in the pavement foundation layers. Recommendations on technological parameters of preparation, transportation, laying and compaction of mentioned mixtures are given.

**Conclusions.** Performed researches have shown that according to physical and mechanical indicators CRRM and CSSM20 meet the requirements of the current normative documents of Ukraine. The advantages of use are noted.

**Keywords:** road, acrylic emulsion, additive, pavement, cold recycling.

УДК 625.7/.8

Головко С. К., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-9517-7049>

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ РЕМОНТІ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ КАПІТАЛЬНОГО ТИПУ

### *Анотація*

**Вступ.** У роботі розглядаються питання повторного використання дорожньо-будівельних матеріалів, при ремонті дорожніх одягів капітального типу, шляхом одночасного застосування технологій гарячого та холодного ресайклінгу (в установці і на дорозі).

**Проблематика.** На багатьох об'єктах дорожнього будівництва, особливо при ремонті автомобільних доріг загальнодержавного значення, інженери-проектувальники стикаються з проблемою потреби значної кількості бітумомінеральних матеріалів. Постає питання, як забезпечити таку кількість цих матеріалів і зробити це економічно ефективно.

Пошукові дослідження показали, що необхідно передбачати застосування технологій гарячого та холодного ресайклінгу.

**Мета.** Пошук можливості влаштування шарів основи, шляхом одночасного застосування технологій гарячого та холодного ресайклінгу.

**Методи дослідження.** Аналітично-експериментальний із застосуванням комп'ютерного моделювання багатошарової конструкції.

**Результати.** Встановлено, що верхні шари основи можна посилити шляхом виготовлення асфальтобетону за технологією гарячого ресайклінгу (в установці), а нижні шари з сумішшю холодного ресайклінгу з використанням різних в'язучих та способів виготовлення (в установці та на дорозі).

**Висновки.** Проведені дослідження дозволили підтвердити тезу про ефективність рішення з відновлення міцності дорожнього одягу капітального типу. Отримане рішення дозволить знизити вартість ремонту дорожнього одягу та вирішити питання утилізації бітумомістких матеріалів, що позитивно вплине та екологічну безпеку регіону.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, асфальтобетонна крихта, дорожній одяг нежорсткий, гарячий ресайклінг, холодний ресайклінг.

### Вступ

Пошукові дослідження направлені на більш широке повторне застосування дорожньо-будівельних матеріалів показали, що може бути розроблений альтернативний підхід до ремонту дорожнього одягу капітального типу, який базується на влаштуванні шарів посилення із застосуванням технологій гарячого та холодного ресайклінгу (в установці та на дорозі).

Аналіз проектних рішень показує, що інженери-проектувальники досить рідко одночасно застосовують технологію гарячого та холодного ресайклінгу, ймовірно через недостатнє дослідження даного підходу. Постає питання, дослідити можливість застосування технологій гарячого та холодного ресайклінгу, при посиленні дорожнього одягу капітального типу, та досягти таким чином максимального повторного використання матеріалів існуючого дорожнього одягу.

## Основна частина

Аналітичні дослідження показують, що виробники автомобілів намагаються підвищувати вантажопідйомність вагового автотранспорту шляхом збільшення осьового навантаження або збільшенням числа осей. На даний час в ДБН В 2.3-4:2015 [1] наведено чотири розрахункових осьових навантаження на дорожній одяг, два з яких були прийняті за останні тридцять років — навантаження на вісь 115 кН та 130 кН. Щоб забезпечити нормативний строк служби існуючих дорожніх одягів, для вказаних навантажень, потрібно підвищувати їх міцність.

Оцінимо необхідне підсилення. Прийmemo наближено, що напруження у будь-якій точці дорожнього одягу прямо пропорційне навантаженню на покриття  $q$  і обернено пропорційне глибині в цій точці, тобто товщині розташованих над нею шарів.

Щоб із збільшенням навантаження в  $n$  разів напруження не змінилося, товщину потрібно збільшити в  $n$ -разів, враховуючи, що товщини та навантаження знаходяться у співвідношенні [2]:

$$h_i / h_j \approx (Q_i / Q_j)^\beta, \quad (1)$$

де  $h_i$  — товщина шару, см;  
 $h_j$  — товщина шару для посилення, см;  
 $Q_i$  — навантаження збільшене (в  $n$  разів), кН;  
 $Q_j$  — навантаження вихідне, кН.

Більш точний аналіз показує, що  $\beta = (0,6-0,8)$ , причому менше значення відноситься до більш капітального дорожнього одягу.

Наприклад, при  $Q_i / Q_j = 130/100 = 1,3$ , тоді  $h_i / h_j = (1,3)^\beta = 1,17$ , тобто товщина дорожнього одягу, для забезпечення старого міжремонтного строку, повинна зі збільшенням навантажень на 30 % зрости на 17 %. Тоді, існуючий дорожній одяг товщиною 80 см, повинен бути доведений до товщини 94 см, а саме, підсилений шарами з асфальтобетону товщиною 14 см.

Необхідно зазначити, що вище визначена величина шарів асфальтобетону є додатковою, оскільки для сприйняття розрахункових осьових навантажень 100 кН або 115 кН потрібна загальна товщина асфальтобетонних шарів близько 20 см. Також, потрібно врахувати вимоги [3] щодо мінімального модуля пружності під асфальтобетонними шарами, які можна задовольнити шляхом застосування матеріалів оброблених в'язучими.

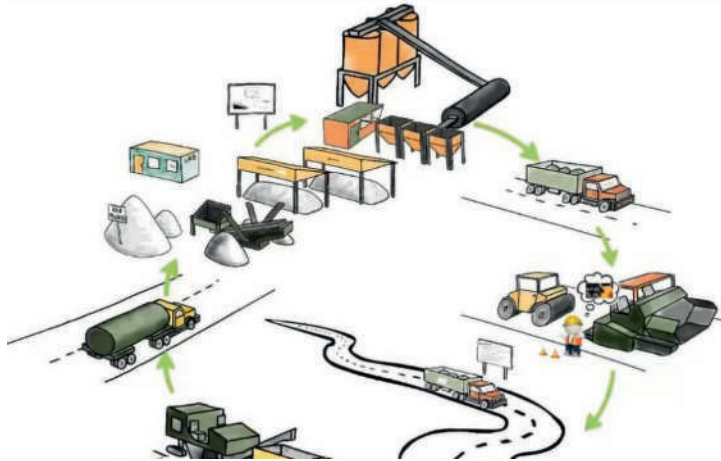
Наведені вище розрахунки показують, що для забезпечення потрібної міцності дорожнього одягу капітального типу потрібна значна кількість дорожньо-будівельних матеріалів.

Проведені пошукові дослідження показують, що перспективним напрямком забезпечення будівництва дорожньо-будівельними матеріалами є повторне застосування матеріалів існуючих дорожніх одягів. Пропонується, при влаштуванні шарів основи, максимально повторно використовувати матеріали за технологіями гарячого та холодного ресайклінгу.

В Україні технології гарячого ресайклінгу поки не знайшли широкого впровадження, це пов'язано, ймовірно, через недостатні дослідження даних технологій. Необхідно відмітити, що в Україні питаннями гарячого ресайклінгу займалися ще у сімдесятих роках минулого століття. Цікаві дослідження щодо розроблення технології гарячого ресайклінгу були проведені під керівництвом проф. Сюньї Г. К. [4] в Київському автомобільно-дорожньому інституті (нині НТУ) та його аспірантки Білай Л. В. [5]. У подальшому в ДП «ДерждорНДІ» під керівництвом проф. Радовського Б. С. технологію гарячого ресайклінгу досліджували Малеванський Г. В. та Головка С. К. [7, 8], також проводили дослідження Терещенко Т. А. [9], Ілляш С. І. [10].

На теперішній час розроблено рішення з гарячого ресайклінгу як в установці, так і на

дорозі. Дослідження показують, що більш ефективною й екологічною є технологія гарячого ресайклінгу в установці (рис. 1), що пов'язане з можливістю випускати асфальтобетонну суміш заданих властивостей на існуючому технологічному обладнанні [11, 12].



**Рисунок 1** — Послідовність технологічних операцій за технологією гарячого ресайклінгу в установці на стаціонарному асфальтобетонному заводі

Враховуючи, що у вітчизняній практиці недостатній досвід приготування асфальтобетонних сумішей за технологією гарячий ресайклінг, наведемо ряд її особливостей.

Технологічний процес приготування асфальтобетонної суміші за технологією гарячого ресайклінгу (далі — АБСГР) на стаціонарному асфальтобетонному заводі включає такі основні етапи:

- дозування та подача кам'яного матеріалу;
- дозування і подача асфальтобетонної крихти;
- змішування асфальтобетонної крихти з мінеральним матеріалом та бітумом.

Основні вимоги виконання робіт з приготування й укладання АБСГР такі, як і до технологічного процесу з приготування та укладання гарячої асфальтобетонної суміші.

Складування асфальтобетонної крихти потрібно робити на спеціальних майданчиках (рис. 2) у штабелях висотою не більше ніж 4 м. Майданчики повинні мати тверде покриття і похил, достатній для відведення води. Тривалість «сухого» перемішування нагрітого кам'яного матеріалу з асфальтобетонною крихтою повинна становити близько 40 с.



**Рисунок 2** — Складування асфальтобетонної крихти на території АБЗ



Кількість асфальтобетонної крихти у суміші призначається залежно від групи асфальтобетону. Рекомендована кількість асфальтобетонної крихти наведено в **табл. 1**.

*Таблиця 1*

*Рекомендована кількість асфальтобетонної крихти у АБСГР*

Група асфальтобетону	Кількість асфальтобетонної крихти, % за масою
Щільний	15–35
Пористий	20–40
Високопористий	25–50
<b>Примітка.</b> Більшу кількість рекомендується призначати при застосуванні енергозберігаючої добавки.	

Кількість бітуму в АБСГР визначають в лабораторії підбиранням на відповідність вимогам [13, 14] із урахуванням кількості бітуму в асфальтобетонній крихті.

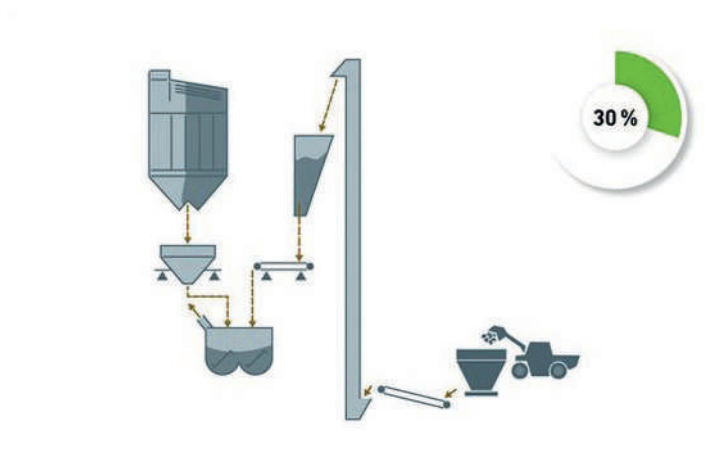
Температуру нагрівання кам'яних матеріалів для приготування асфальтобетонної суміші потрібно визначати з урахуванням визначеної кількості та вологості асфальтобетонної крихти. Температуру нагрівання кам'яних матеріалів для приготування асфальтобетонної суміші рекомендовано призначати за даними **табл. 2**.

*Таблиця 2*

*Температура нагрівання кам'яних матеріалів для приготування комбінованої асфальтобетонної суміші*

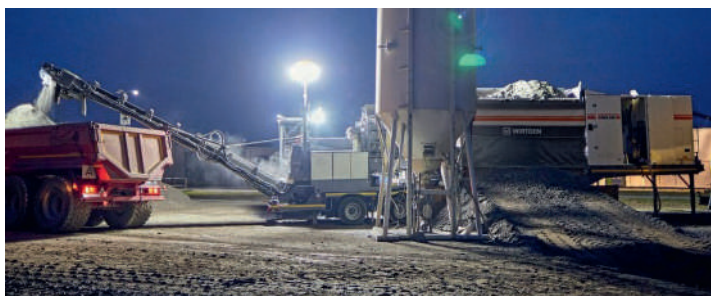
Вміст асфальтобетонної крихти, % за масою	Вологість асфальтобетонної крихти, % за масою	Температура нагрівання кам'яних матеріалів, °С
15	1–2	170
	2–3	175
	3–4	180
20	1–2	175
	2–3	180
	3–4	190
25	1–2	180
	3–4	185
	5–6	190
30	1–2	185
	2–3	190
	3–4	195

Для приготування АБСГР, у сушильний барабан подають щебінь та пісок, коли суміш мінеральних матеріалів нагрівається до визначеної температури до неї додають крихту з фрезерованого асфальтобетону (**рис. 3**). Час змішування кам'яних матеріалів з крихтою фрезерованого асфальтобетону дорівнює часу змішування із в'язучим. Після змішування матеріалів за визначений період готову АБСГР подають у бункер-дозатор. Влаштування шару дорожнього одягу з АБСГР виконують асфальтоукладачами та котками.



**Рисунок 3** — Послідовність технологічних операцій виготовлення асфальтобетонної суміші за технологією гарячого ресайклінгу на стаціонарному асфальтобетонному заводі

Шари основи дорожнього одягу, що влаштовують під асфальтобетоном, рекомендується виготовляти за технологією холодного ресайклінгу [15, 16], а саме, верхній шар влаштувати з матеріалу дорожнього, виготовленого за технологією холодного ресайклінгу (МДХР) в установці (рис. 4) з використанням органічного в'язучого, нижній шар — з матеріалу дорожнього, виготовленого за технологією холодного ресайклінгу «на дорозі» (рис. 5) з використанням мінерального або комплексного в'язучого.



**Рисунок 4** — Приготування суміші за технологією холодного ресайклінгу в установці [21]



**Рисунок 5** — Виконання робіт за технологією холодного ресайклінгу на дорозі [21]

В Україні мало досвіду приготування сумішей за технологією холодного ресайклінгу (СХР) в установці з використанням органічного в'язучого. Рекомендується ці суміші виготовляти з

асфальтобетонної крихти з обов'язковим додаванням нових мінеральних матеріалів від 20 % до 40 % за масою, та для забезпечення однорідності, рекомендується СХР виготовляти на змішувальних установках. Перед застосуванням асфальтобетонної крихти рекомендується оцінити властивості старого в'язучого з метою визначення марки бітуму та цементу (за потреби) при додаванні їх у СХР. У випадку надмірного зволоження асфальтобетонної крихти, рекомендується для досягнення необхідного обволікання застосовувати до 1,5 % за масою цементу. Товщина шару з таких сумішей не повинна перевищувати 12 см. Більш детальний опис цієї технології наведено у [17–20].

Згідно з проведеними дослідженнями [18] та аналізу технічної літератури [17] модуль пружності цих матеріалів становить від 800 МПа до 1 000 МПа, а показання на розтяг при згині в діапазоні від 0,45 МПа до 0,75 МПа, що нижче ніж у гарячих асфальтобетонів. З метою підвищення показника на розтяг при згині в МДХР, з використанням органічного в'язучого, можуть бути застосовані дисперсні волокна типу FORTA FI® згідно з [22] або армуючі синтетичні матеріали, в тому числі полімерні ґратки згідно з [23, 24].

Після того, як з існуючого дорожнього одягу буде відфрезерований асфальтобетон, виконується посилення нижнього шару основи з матеріалу дорожнього, виготовленого за технологією холодного ресайклінгу «на дорозі» з використанням мінерального або комплексного в'язучого згідно з [15, 16].

Обробка фрезерованого матеріалу мінеральним або комплексним в'язучим дозволяє ліквідувати неоднорідність в основі з одночасним її підсиленням. Проведений лабораторний аналіз проб, відібраних при виконанні робіт на дорозі показує, що при перемішуванні фрезерована суміш та в'язуче рівномірно розподіляються за об'ємом.

Нижче наведені результати розрахунків ремонту дорожнього одягу капітального типу з максимальним використанням матеріалів існуючого дорожнього одягу згідно з [3].

Існуюча конструкція складається з наступних шарів:

- асфальтобетонне покриття товщиною 4 см;
- верхній шар основи з асфальтобетону товщиною 6 см;
- чорний щебінь товщиною 10 см;
- щебенево-піщана суміш товщиною до 15 см;
- пісок товщиною до 15 см;
- ґрунт земляного полотна (суглинок важкий пілуватий).

Вихідні умови проєктування:

- Кіровоградська область;
- категорія автомобільної дороги — Іб;
- покриття — ЩМА-15 на БМПА 60/90-53;
- розрахункове осьове навантаження — 115 кН;
- потрібний модуль пружності — 280 МПа.

Відповідно до результатів інструментального обстеження встановлено, що фактичний модуль пружності становить 160 МПа. Враховуючи, що мінімальний модуль пружності для доріг Іб категорії повинен становити 250 МПа, необхідно виконати ремонт дорожнього одягу.

Перед виконанням розрахунків визначено, що після фрезерування існуючого дорожнього одягу на глибину 10 см, модуль пружності основи становить близько 90 МПа, а при фрезеруванні на глибину 20 см — 75 МПа.

Розроблено два варіанта ремонту дорожнього одягу за традиційним та альтернативним підходом.

Варіант 1

Передбачається фрезерування асфальтобетонних шарів на глибину до 10 см з подальшим виготовленням МДХР.КВ.Кз.М20 — ДСТУ 8976 за технологією холодного ресайклінгу «в установці» з додаванням нового матеріалу (40 % за масою) з використанням комплексного в'язучого.

- ЩМА-15 згідно з ДСТУ Б В.2.7-217:2015 на БМКП 60/90-65 згідно з ДСТУ Б В.2.7-313:2016 — 5 см;  
*Підгрунтовка* — ЕКШМ-50 згідно з ДСТУ Б В.2.7-129:2013 — 0,4 л/м<sup>2</sup>;
- Асфальтобетон.АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І.БМКП 60/90-65 згідно з ДСТУ 8959:2019 — 10 см;
- Асфальтобетон.АСГ.Кр.П.А-Б.НП.І.БНД 70/100 згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011 — 10 см;  
*Підгрунтовка* – ЕКШ-50 згідно з ДСТУ Б В.2.7-129:2013 — 0,4 л/м<sup>2</sup>;
- МДХР.КВ.Кз.М20 — ДСТУ 8976 матеріал дорожній, виготовлений за технологією холодного ресайклингу «в установці» з додаванням нового матеріалу (50 % за масою) з використанням мінерального в'язучого — 0,18 см;
- Основа дорожнього одягу (після фрезерування на глибину 10 см).



**Рисунок 6** — Результати розрахунку конструкції дорожнього одягу (варіант 1)

#### Варіант 2

Передбачається пошарове фрезерування асфальтобетонних шарів. Перший шар на глибину 4 см з подальшим транспортуванням на АБЗ для виготовлення асфальтобетонної суміші АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І за технологією гарячого ресайклингу «в установці» з використанням асфальтобетонної крихти (до 40 % за масою). Другий шар фрезерується на глибину 6 см з подальшим транспортуванням до установки для виготовлення суміші за технологією холодного ресайклингу «в установці» з додаванням нового матеріалу (до 40 % за масою) з використанням органічного в'язучого в емульгованому стані. Третій шар фрезерується на глибину 10 см з подальшим виготовленням МДХР.КВ.Кз.М20 — ДСТУ 8976 за технологією холодного ресайклингу «на дорозі» з додаванням нового матеріалу (до 50 % за масою) з використанням мінерального в'язучого.

- ЩМА-15 згідно з ДСТУ Б В.2.7-217:2015 на БМКП 60/90-65 згідно з ДСТУ Б В.2.7-313:2016 — 5 см.

*Підгрунтовка* — ЕКШМ-50 згідно з ДСТУ Б В.2.7-129:2013 — 0,4 л/м<sup>2</sup>.

- Асфальтобетон.АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011 на БМКП 60/90-65 згідно з ДСТУ Б В.2.7-313:2016 виготовлений за технологією гарячого ресайклингу «в установці» з додаванням нового матеріалу (40 % за масою) — 10 см.

- МДХР.ОВ-ЕС.Кз згідно з ДСТУ 8976 матеріал дорожній, виготовлений за технологією холодного ресайклингу «в установці» з додаванням нового матеріалу (40 % за масою) з використанням органічного в'язучого в емульгованому стані — 0,10 см.

3. МДХР.КВ.Кз.М20 згідно з ДСТУ 8976 матеріал дорожній, виготовлений за технологією холодного ресайклінгу «на дорозі» з додаванням нового матеріалу (50 % за масою) з використанням мінерального в'язучого — 0,18 см.
4. Основа дорожнього одягу (після фрезерування на глибину 20 см).



**Рисунок 7** — Результати розрахунку конструкції дорожнього одягу (варіант 2)

Результати розрахунку (рис. 6, рис. 7) показують, що наведені варіанти конструкцій дорожнього одягу відповідають вимогам [3] за усіма критеріями міцності. У варіанті 2 за рахунок більшої глибини фрезерування існуючого дорожнього одягу, вдається ліквідувати накопичені дефекти та руйнування у монолітних шарах, що у подальшому забезпечить більшу довговічність дорожньому одягу.

Техніко-економічний аналіз цих варіантів показує, що варіант 2 передбачає повторне використання 20 см бітумовмісних матеріалів, на відміну від варіанту 1, де повторне використання становить 10 см. Це дозволяє отримувати зниження вартості ремонту дорожнього одягу за рахунок зменшення витрат на закупку нових кам'яних матеріалів та бітумів, а також зменшення логістичних витрат на завезення нових матеріалів. Також, ми краще вирішуємо екологічні питання, оскільки передбачається повне повторне використання бітумовмісних матеріалів.

### Висновки

За результатом пошукових досліджень із застосуванням комп'ютерного моделювання багатошарової конструкції, розглянута задача щодо більш широкого повторного застосування дорожньо-будівельних матеріалів. Запропонований альтернативний підхід до ремонту дорожнього одягу капітального типу, який передбачає, при ремонті шарів основи одночасне застосування технологій гарячого та холодного ресайклінгу («в установці» і «на дорозі»).

Пропонується верхній шар основи з асфальтобетону, влаштувати за технологією гарячого ресайклінгу «в установці». Наступний шар основи влаштувати за технологією холодного ресайклінгу «в установці» з використанням органічного в'язучого. Нижній шар пропонується влаштувати з матеріалу дорожнього, виготовленого за технологією холодного ресайклінгу «на дорозі» з використанням мінерального або комплексного в'язучого.

Основні вимоги виконання робіт із приготування й укладання асфальтобетонної суміші за технологією гарячого ресайклінгу «в установці» розроблені і наведені у [11, 12].

Описані особливості виготовлення сумішей за технологією холодного ресайклінгу «в установці» з використанням органічного в'язучого. Наведена вимога до вмісту нових мінеральних матеріалів (не більше ніж 40 % за масою), що дозволяє забезпечити достатню однорідність суміші. Товщина шару з таких сумішей не повинна перевищувати 12 см.

У процесі приготування можуть бути застосовані катіонні бітумні емульсії або спінений бітум. Особливу увагу слід звертати на забезпечення вимог до зернового складу згідно з ДСТУ 8976:2020. Вміст катіонної бітумної емульсії або спіненого бітуму залежить від кількості бітуму в асфальтобетонній крихті.

Нижній шар основи пропонується посилювати шляхом влаштування шару основи з матеріалу дорожнього, виготовленого за технологією холодного ресайклінгу «на дорозі» з використанням мінерального або комплексного в'язучого. Обробка фрезерованого матеріалу мінеральним чи комплексним в'язучим дозволяє ліквідувати неоднорідність у складі матеріалу. Проведений лабораторний аналіз проб, відібраних при виконанні робіт на дорозі показує, що при перемішуванні зерна щебеню та мінерального в'язучого рівномірно розподіляються за об'ємом.

Застосування комбінації технологій гарячого та холодного ресайклінгу дозволяє ефективно вирішувати екологічні питання щодо повної утилізації бітумовмісних матеріалів, а також дозволяє знизити вартість ремонту дорожнього одягу за рахунок зменшення витрат енергії як на виготовлення, так і на транспортування нових матеріалів.

### Список літератури

1. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ. 2015. 115 с. (Інформація та документація).
2. Радовский Б.С., Супрун А.С., Козаков И.И. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей. Киев, 1989. 198 с.
3. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. Київ, 2019. 112 с. (Інформація та документація).
4. Сюньи Г. К., Усманов К. Х., Файнберг Э. С. Регенерированный дорожный асфальтобетон / под ред. проф. Г. К. Сюньи. Москва, 1984. 118 с.
5. Билай Л.В. Регенерация использованного дорожного асфальтобетона. Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.14 Київ, 1969. 191 с.
6. Радовский Б.С. Вероятностно-геометрический подход к структуре и оценке физико-механических свойств материалов дорожной конструкции. *Новое в проектировании конструкций одежд*, Москва. 1988, с. 37-50.
7. Малеванский Г.В., Головка С.К. Підбір складу асфальтобетонної суміші з частковим використанням старих бітумомістких матеріалів. *Автомобільні дороги та дорожнє будівництво*, Вип. 46. Київ, 1988. С. 46-49.
8. Головка С.К. Раціональні способи повторного використання асфальтобетону при реконструкції автомобільних доріг Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 Київ, 1998. 203 с.
9. Терещенко, Т.А. Шляхи розвитку технологій гарячого ресайклінгу дорожнього асфальтобетону. *Автошляховик України*. Київ. 2014. № 2. С. 42-48.
10. Ілляш С.І. Удосконалення технології гарячої регенерації асфальтобетонного покриття Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 – Київ 2021. 130 с.
11. Р В.2.7-37641918-887:2017 Рекомендації з підбору складу та застосування бітумомінеральних сумішей з використанням асфальтобетонної крихти. Київ. 2017. 43 с. (Інформація та документація).

12. ТТР 42.1-37641918-418:2017 Типовий технологічний регламент на виготовлення бітумомінеральних сумішей з використанням асфальтобетонної крихти. Київ. 2017. 34 ст. (Інформація та документація).
13. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови Київ. 2011. 131 с. (Інформація та документація).
14. ДСТУ 8959:2019 Асфальтобетонні суміші та асфальтобетон дорожні на основі бітумів, модифікованих полімерами. Технічні умови. Київ. 2019. 97 с. (Інформація та документація).
15. ДСТУ 8976:2020 Матеріали дорожні, виготовлені за технологією холодного ресайклінгу. Технічні умови. Київ. 2020. 98 с. (Інформація та документація).
16. ДСТУ 8978:2020 Настанова з улаштування шарів дорожнього одягу за технологією холодного ресайклінгу. Київ. 2020. 134 с. (Інформація та документація).
17. Рециклювання дорожніх одягів. Ч. 1–3. Під редакцією В. Жданюка і Д. Сибільського, Харків, 2006.
18. Vurozhemskiy V.K., Golovko S.K., Cold recycling – effective technology of restoration of pavements. Kielce, 2004.
19. Головка С.К. Нові підходи у підвищенні капітальності дорожніх одягів при їх ремонті. *Збірник «Дороги і мости»*. Київ, 2020. Вип. 22 С. 86-94. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti.2020.22.086>.
20. Рекомендації по холодному ресайклінгу дорожнього одягу комплектом машин WR 2500 та WM 1000 P В.3.2-218-03450778-301-2004. Київ. 2004. 32 с. (Інформація та документація).
21. URL: <https://www.wirtgen-group.com/ocs/en-us/wirtgen/> (Дата звернення 18.08.2021).
22. ТУ У 42.1-21483639 – 006:2020 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дисперсно-армовані волокнами Forta® . Технічні умови. Київ. 2020. 23 с. (Інформація та документація).
23. ГБН В.2.3-37641918-544:2014 Автомобільні дороги. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги. Київ. 2014. 34 с. (Інформація та документація).
24. ДСТУ 8888:2019 Георешітки полімерні жорсткі тривісноорієнтовані. Загальні технічні вимоги. Київ. 2019. 34 ст. (Інформація та документація).

### References

1. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo [State Building Norms (DBN V.2.3-4:2015) Highways. Part I. Design. Part II. Building]. Kyiv, 2016. 104 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
2. B.S. Radovskyi, A.S. Suprun, I.I. Kozakov. Proektirovanie dorozhnyih odezhd dlya dvizheniya bolshegruznyih avtomobiley [Designing of road pavements for the traffic of heavy goods vehicles]. Kyiv, 1989. 198 p. [in Russian].
3. HBN V.2.3-37641918-559:2019 Dorozhnii odiah nezhorstkyi. Proektuvannia (Departmental Building Norms (HBN V.2.3-37641918-559:2019) Non rigid pavement. Designing). Kyiv, 2019. 69 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
4. G.K. Syunii, K.H. Usmanov, E.S. Fainberg. Regenerirovannyiy dorozhnyiy asfaltobeton [Reclaimed paving asphalt concrete] /edited by Prof. G.K. Syunii. Moscow, 1984. 118 p. [in Russian].
5. L.V. Bilai. Reclaiming of used paving asphalt concrete. PhD diss.: 05.23.14 Kyiv, 1969. 191 p. [in Russian].
6. B.S. Radovskyi B.S. Veroyatnostno-geometricheskiy podhod k strukture i otsenke fiziko-mekhanicheskikh svoystv materialov dorozhnoy konstruktсии [Probabilistic-geometric approach to the structure and evaluation of physical and mechanical properties of materials for road structure. New in the designing of pavement structures]. Moscow, 1988. P. 37-50 [in Russian].

7. G.V. Malevanskyi, S.K. Holovko S.K. Design of asphalt mixture with partial use of old bituminous materials. Collection of papers “Roads and road construction”, No. 46. Kyiv, 1988. P. 46-49.
8. S.K. Holovko. Rational ways of asphalt concrete recycling in roads reconstruction. PhD thesis.: 05.23.11 Kyiv, 1998. 203 p.
9. T.A. Tereshchenko. Ways of development of technologies of hot recycling of paving asphalt concrete. Avtoshliakhovyk Ukrainy. Kyiv, 2014. No. 2. P. 42–48.
10. S.I. Illiash Improving the technology of hot recycling of asphalt pavement. PhD. thesis.: 05.23.11. Kyiv, 2021. 130 p.
11. P B. 2.7-37641918-887: 2017 Recommendations for the mix design and application of bituminous mixtures using asphalt concrete crumb. Kyiv, 2017. 43 p. (Information and documentation).
12. TTR 42.1-37641918-418:2017 Type technological regulations for the manufacture of bituminous mixtures using asphalt concrete crumb. Kyiv, 2017. 34 p. (Information and documentation).
13. DSTU B B.2.7-119: 2011 Asphalt mixtures and paving asphalt concrete and airfield asphalt concrete. Technical specifications. Kyiv, 2011. 131 p. (Information and documentation).
14. DSTU 8959: 2019 Asphalt mixtures and paving asphalt concrete based on bitumen modified with polymers. Technical specifications. Kyiv, 2019. 97 p. (Information and documentation).
15. DSTU 8976: 2020 Paving materials made by cold recycling technology. Technical specifications. Kyiv, 2020. 98 p. (Information and documentation).
16. DSTU 8978: 2020 Guidelines for the arrangement of layers of pavement by cold recycling technology. Kyiv, 2020. 134 p. (Information and documentation).
17. Retsykliuvannia dorozhnikh odiahiv [Recycling of road pavements]. Edited by V. Zhdaniuk and D. Sybilskyi, Kharkiv, 2006. [in Ukrainian].
18. Vurozhemskiiy V.K., Golovko S.K., Cold recycling – efectivetechnology of restoration of pavements. Kielce, 2004 [in English].
19. Sergey Golovko New approaches to increase the capitality of pavements in their repair. *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. Kyiv, 2020. Iss. 22. P. 86-94. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.22.086> [in Ukrainian].
20. R V.3.2-218-03450778-301-2004 Rekomendatsii po kholodnomu resaiklinhu dorozhnoho odiahu komplektom mashyn WR 2500 ta WM 1000 [Recommendations for cold recycling of road pavements by machines WR 2500 and WM 1000]. Kyiv, 2004. 32 p. (Information and documentation).
21. URL: <https://www.wirtgen-group.com/ocs/en-us/wirtgen/> (Last accessed: 18.08.2021).
22. TU U 42.1-21483639-006:2020 Sumishi asfaltobetonni i asfaltobeton dyspersno-armovani voloknamy Forta® [Specifications (TU U 42.1-21483639-006:2020) Asphalt mix and asphalt concrete disperse-reinforced with Forta® fibers]. Kyiv, 2020. 23 p. (Information and documentation).
23. HBN V.2.3-37641918-544:2014 Avtomobilni dorohy. Zastosuvannia heosyntetychnykh materialiv u dorozhnikh konstruktssiakh. Osnovni vymohy [Departmental Building Norms (HBN V.2.3-37641918-544:2014) Highways. Application of geosynthetic materials in road structures]. Kyiv. 2014. 34 p. (Information and documentation).
24. DSTU 8888:2019 Heoreshitky polimerni zhorstki tryvisnooriientovani. Zahalni tekhnichni vymohy [State Standard of Ukraine (DSTU 8814:2018) Polymer geogrids are rigid three-dimensional. General technical requirements]. Kyiv. 2019. 34 p. (Information and documentation).



Sergey Golovko, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-9517-7049>

M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

## INVESTIGATION OF THE RECYCLING METHODS OF THE ROAD CONSTRUCTION MATERIALS DURING THE REPAIR OF THE ROAD PAVEMENTS OF THE CAPITAL TYPE

### *Abstract*

**Introduction.** The paper considers the issues of increasing of road construction materials reuse when repairing of major type pavements, by simultaneous use of hot and cold recycling technologies (in the plant and on the road).

**Problem statement.** At many road construction objects, especially when repairing roads of state importance, designing engineers meet the problem of the need in a significant amount of bituminous materials. There is a question of how to provide such a quantity of these materials and do it economically efficient.

Research has shown that it is necessary to use hot and cold recycling technologies economically efficiently.

**Purpose.** Searching for the possibility of arranging of foundation layers, by simultaneously applying of hot and cold recycling technologies.

**Research methods.** Analytical and experimental with the use of computer simulation of a multilayer structure.

**Results.** It has been determined that the upper layers of the foundation can be strengthened by asphalt concrete manufacturing by hot recycling technology (in the plant), and the lower layers by cold recycling mixtures using different types of binders and manufacturing methods (in the plant and on the road).

**Conclusions.** The conducted research allowed to confirm the thesis about the effectiveness of the solution to restore the strength of the capital-type road pavement. The obtained solution will reduce the cost of pavement repair and solve the issue of bituminous materials utilization, which will positively affect the environmental safety of the region.

**Keywords:** road, asphalt crumb, hot recycling, flexible pavement, cold recycling.

УДК 625.7/.8

Терещенко Т. А., канд. хім. наук, <https://orcid.org/0000-0001-5206-9921>*Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна*

---

**МЕТОДИ НЕРУЙНІВНОЇ ДІАГНОСТИКИ РОЗТАШУВАННЯ МЕТАЛЕВОЇ АРМАТУРИ ШТИРОВИХ З'ЄДНАНЬ У ШВАХ ЖОРСТКИХ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ*****Анотація***

**Вступ.** У світовій практиці будівництва жорстких дорожніх одягів значна увага приділяється монолітним цементобетонним покриттям з неармованими плитами, зі штировими з'єднаннями в поперечних швах (*Jointed Plain Concrete Pavements, JPCP*). Довговічність *JPCP* значною мірою залежить від належного розташування арматури штирових з'єднань, у зв'язку з чим вагомого практичного значення набули методи неруйнівної діагностики розташування арматури штирових з'єднань. У цій статті представлено аналітичний огляд методів неруйнівної діагностики розташування арматури штирових з'єднань цементобетонного покриття та акцентовано увагу на стандартному методі таких випробувань з використанням магнітної індукції.

**Основна частина.** В основній частині цієї статті виконано аналіз основних аспектів розглянутих методів випробування:

- класифікація дефектів неспіввісності і дефектів розташування арматури штирових з'єднань поперечних швів та їх вплив на експлуатаційні якості дорожнього покриття;
- порівняння впроваджених методів неруйнівного контролю розташування арматури штирових з'єднань;
- можливості методу магнітної індукції та підхід до аналітичного оцінювання дефектів розташування арматури штирових з'єднань поперечних швів, визначених за допомогою магнітної томографії;
- використання результатів діагностики розташування арматури штирових з'єднань поперечних швів для усунення дефектів розташування арматури;
- приклади прогностичного оцінювання результатів випробування діагностики розташування арматури штирових з'єднань поперечних швів та їх впливу на довговічність та стан *JPCP*.

Розглянутий метод випробування та оцінювання результатів охоплює практику визначання двох рівнів прийнятності (наприклад, прийнятний рівень та вибракування) для оцінювання ефективності кожного окремого арматурного штира, або кожного поперечного армованого шва, а також ділянки жорсткого дорожнього одягу з послідовно розташованими поперечними швами з обмеженою ефективністю.

***Висновки***

1. Впроваджений у всьому світі стандартний метод неруйнівної діагностики розташування арматури штирових з'єднань поперечних швів дозволяє виявити та усунути дефекти її розташування, забезпечуючи таким чином потрібне значення ефективності перенесення навантаження та міжнародного індексу рівності покриття. Оцінювання ділянок дорожнього покриття з кількома послідовно розташованими армованими швами з урахуванням ефективності кожного шва дозволяє забезпечити розрахунковий строк служби дорожнього одягу.

2. Стандартний метод неруйнівної діагностики розташування арматури штирових з'єднань поперечних швів жорсткого дорожнього одягу з використанням магнітної імпульсної індукції,

розроблений Американським товариством випробувань та матеріалів, забезпечує високу точність вимірювання положення арматури штирового з'єднання в швах бетонного покриття і дозволяє виявити п'ять типів дефектів розташування.

3. У зв'язку з активізацією питань будівництва жорстких дорожніх одягів в Україні, а також з високою актуальністю розглянутого методу випробувань, важливим завданням має стати розроблення та впровадження відповідного національного стандарту.

**Ключові слова:** дефект розташування, діагностика, жорсткий дорожній одяг, металева арматура, поперечний шов.

### Вступ

Безумовними перевагами жорсткого дорожнього одягу є висока несна здатність, тривалий строк служби та відносно низькі затрати на утримання. У світовій практиці дорожнього будівництва найбільш широко застосовуваними є конструкції жорсткого дорожнього одягу з монолітним цементобетонним покриттям. Монолітне цементобетонне покриття може бути запроєктоване та влаштоване за принципом безперервного армування (безперервно армоване цементобетонне покриття, англломовний термін *Continuously Reinforced Concrete Pavement, CRCP*) або з влаштуванням швів відповідно до проектних розмірів плит, з неармованими чи армованими плитами (відповідні англломовні терміни *Jointed Plain Concrete Pavement, JPCP*, та *Jointed Reinforced Concrete Pavement, JRCP*).

З точки зору тривалого ефективного функціонування армованих швів вирішальне значення має відповідність розташування арматури штирових з'єднань вимогам проектною та нормативною документації. У зв'язку з цим, все більшого поширення набувають неруйнівні методи діагностики розташування арматури штирових з'єднань.

У статті виконано аналітичний огляд таких методів, застосовуваних для поперечних швів з металевою арматурою штирових з'єднань покриттів типу *JPCP*, принципів аналітичного оцінювання впливу дефектів розташування арматури штирових з'єднань на ефективність роботи певних типів швів та довговічність покриття, а також акцентовано увагу на можливостях та перевагах найбільш сучасного стандартного методу діагностики із застосуванням магнітної індукції з використанням приладів *MIT (Magnetic Image Tomography)*.

### Основна частина

#### **Визначальні дефекти розташування арматури штирових з'єднань поперечних швів цементобетонного покриття типу *JPCP***

Сучасні принципи проектування та будівництва жорстких дорожніх одягів з покриттям типу *JPCP* з армованими швами забезпечують високу якість і темпи будівництва доріг та належні строки служби дорожнього одягу; особливу увагу приділяють якості робіт з влаштування армованих швів.

Важливою функцією окремих типів швів є забезпечення роботи покриття за умов сезонних та добових коливань температури, вологості і механічного навантаження<sup>1)</sup>, а також запобігання неконтрольованому тріщиноутворенню цементобетонного покриття на ранніх строках в процесі будівництва. Поряд з цим, поперечні шви покриття працюють під постійним транспортним навантаженням і повинні забезпечувати передачу навантаження на суміжних стиках плит під час проїзду транспортних засобів. Технічним рішенням, яке забезпечує належну роботу швів за умов температурних та транспортних навантажень, є влаштування штирових з'єднань з використанням переважно металевої арматури. Штирові з'єднання поперечних швів (англломовний термін *dowel bar*)

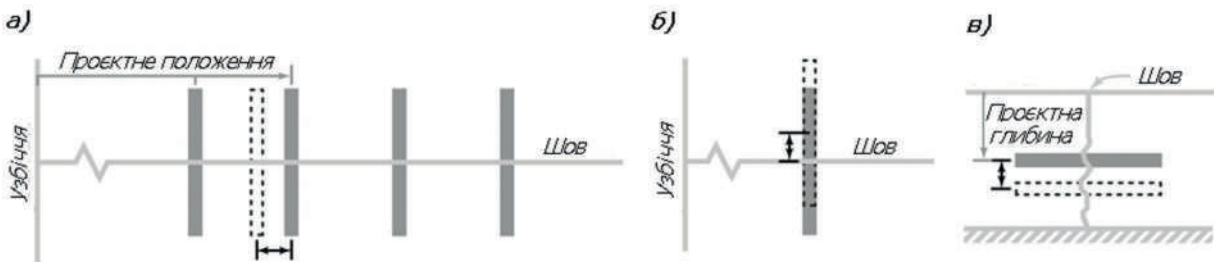
---

<sup>1)</sup> В окремих системах проектування застосування деформаційних швів як елемента конструкції жорсткого дорожнього одягу є суттєво обмеженим [1].

виконують двояку функцію: не тільки забезпечують передачу навантаження під час проїзду коліс транспортного засобу, але й гарантують певне розкриття швів за умов роботи покриття; належне розташування арматури штирових з'єднань гарантує ефективність роботи швів та довговічність цементобетонного покриття.

Згідно з [2–4] дефекти розташування арматури штирових з'єднань поперечних швів цементобетонного покриття класифікують як дефекти позиціонування та дефекти центрування.

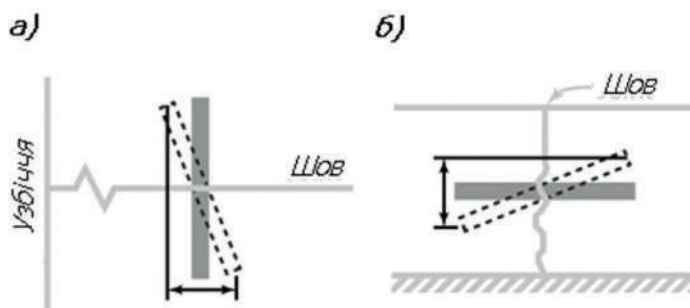
Дефекти позиціонування характеризуються як зміщення геометричного центра арматурного штиря відносно заданого горизонтального чи вертикального положення. Дефекти позиціонування поділяють на горизонтальне зміщення (англomовний термін *horizontal translation*), поздовжнє зміщення (*longitudinal translation*, також застосовують термін *side shift* — бічний зсув) та вертикальне зміщення (*vertical translation*) (рис. 1).



- а) горизонтальне зміщення (вид у плані);
- б) поздовжнє зміщення (вид у плані);
- в) вертикальне зміщення (переріз).

**Рисунок 1** — Види дефектів позиціонування арматури штирових з'єднань швів цементобетонного покриття

Дефекти центрування характеризуються як відхил арматурного штиря від напрямку розкриття/закриття шва чи поздовжньої осі покриття — горизонтальна неспіввісність (англomовний термін *horizontal skew*), або напрямку, паралельного поверхні шару цементобетону — вертикальна неспіввісність (англomовний термін *vertical tilt*).



- а) горизонтальна неспіввісність (вид у плані);
- б) вертикальна неспіввісність (переріз).

**Рисунок 2** — Види дефектів центрування арматури штирових з'єднань швів цементобетонного покриття

Зазначені види дефектів можуть утворюватися внаслідок недотримання проектного положення під час встановлення арматури штирових з'єднань або в процесі нарізання шва, а також внаслідок зміщення арматури (штирів, підставок) під час влаштування цементобетонного покриття. Зазначені дефекти можуть призводити до передчасного руйнування плит покриття внаслідок низької ефективності передачі навантаження на стиках суміжних плит, часткового або повного блокування шва (недостатньої рухомості в зоні шва або повного його нерозкриття).

З точки зору ймовірності блокування шва найбільший негативний вплив мають дефекти центрування, особливо якщо такі дефекти призводять до утворення декількох послідовно розташованих поперечних швів з недостатньою здатністю до розкриття/закриття. У такому випадку є можливим надмірне розкриття в зоні першого за цією групою працюючого шва, та, як наслідок, руйнування в зоні шва [3]; також є можливим утворення тріщин в плиті [2].

З точки зору зниження ефективності передачі навантаження на стиках суміжних плит найбільший негативний вплив має поздовжнє зміщення арматури штирових з'єднань, внаслідок чого не забезпечується потрібне заглиблення арматурного штира в плиту.

Горизонтальні та вертикальні зміщення арматури штирових з'єднань можуть призводити до сколів шару цементобетону над штировими з'єднаннями та до руйнування торців чи крайок плит. Проте горизонтальні зміщення арматурних штирів на практиці спостерігаються рідко та допустимі відхили за цим показником переважно не установлюють [2, 4].

Дефекти розташування арматури штирових з'єднань потребують ретельного обстеження, аналізування і надання висновків щодо подальших дій на будь-якому етапі роботи конструкції.

### ***Порівняння можливостей поширених неруйнівних методів діагностики розташування арматури штирових з'єднань цементобетонного покриття типу JPCP***

Найбільш поширеними методами діагностики розташування металеві арматури штирових з'єднань зазначеного типу цементобетонних покриттів є метод магнітної індукції з використанням приладів *MIT* та метод з використанням георадара (англомовний термін *Ground Penetrating Radar, GRP*) [2, 5].

Радарна система *GRP* надсилає електромагнітні імпульси в шар матеріалу (започатковано — в шар ґрунту) та реєструє відображений потік енергії. Виконуване таким чином неруйнівне дослідження базується на різниці діелектричної проникності матеріалів під досліджуваною поверхнею, у зв'язку з чим, метод георадарного підповерхневого зондування виявився ефективним для діагностики розташування металеві арматури штирових з'єднань та інтенсивно застосовувався з цією метою з 1980-х рр. Поряд із цим система *GRP* є високочутливою до зміни діелектричної проникності бетону, тобто зміна температури та вологості покриття суттєво впливає на результати випробувань.

Прилади *MIT* використовують принцип магнітної томографії — надсилають слабкий магнітний імпульс та реєструють вихровий струм, індукований у металеві арматурі. Застосування методу магнітної індукції для діагностики розташування арматури штирових з'єднань, яке розпочалося з початку 2000-х рр., оцінюють як ключовий момент, який дозволив широко впровадити технології влаштування цементобетонних покриттів *JPCP* з віброзануренням арматури штирових з'єднань [3]. Сучасні прилади *MIT SCAN* дозволяють з високою точністю виконувати діагностику розташування арматури штирових з'єднань у свіжоукладеному та затверділому бетоні. Поряд із цим, метод магнітної індукції придатний для виконання зазначених досліджень у разі використання стандартної арматури з епоксидним покриттям, що ураховується в процесі калібрування приладу відповідно до геометричних розмірів арматурного штира (діаметр, довжина) та типу матеріалу (марка сталі, покриття арматури).

Діагностику розташування металеві арматури методом магнітної індукції покладено в основу міжнародного стандарту *ASTM E3013 "Standard Test Method for Evaluating Concrete Pavement Dowel Bar Alignment Using Magnetic Pulse Induction"* (Стандартний метод випробування

з оцінювання відповідності проєктному положенню арматури штирового з'єднання [поперечних швів] цементобетонного покриття з використанням методу магнітної індукції), першу версію якого було введено в дію в 2015 році.

### ***Застосування методу магнітної індукції та підходи до аналітичного оцінювання дефектів розташування арматури штирових з'єднань поперечних швів цементобетонного покриття типу ЖРСР***

Найбільш тривалий досвід застосування методів магнітної індукції для діагностики розташування арматури штирових з'єднань належить Федеральній адміністрації автомобільних доріг США (*FHWA, Federal Highway Administration*). Розглянуті нижче принципи аналітичного оцінювання дефектів розташування арматури штирових з'єднань та відповідні методи діагностики з виявленням таких дефектів мають широкий потенціал застосування у вітчизняній галузі дорожнього будівництва, не зважаючи на існуючі в даний час розбіжності в підходах до проєктування жорстких дорожніх одягів.

У дорожньо-будівельній галузі США прийнятим є використання арматури штирових з'єднань поперечних швів діаметром не менше ніж 1/8 товщини плити; у більшості штатів використовують арматуру діаметром 32 мм та 38 мм за товщини цементобетонного покриття від 23 см до 32 см; арматуру діаметром 25 мм використовують переважно за товщини плит не більше ніж 20 см [6]<sup>2)</sup>. Довжина арматурного штира у більшості випадків встановлена такою, що за зазначених діаметрів арматури забезпечує максимальну ефективність передачі навантаження — 457 мм (18 дюймів) [6].

У **табл. 1** наведено допустимі відхилення розташування арматури штирових з'єднань відповідно до різних типів дефектів, які було встановлено згідно з рекомендаціями *FHWA* в 2007 році [3].

**Таблиця 1**

### ***Загальні дані щодо допустимих відхилень розташування арматури штирових з'єднань поперечних швів [3]***

Дефект розташування арматури, одиниця вимірювання	Допустимий відхил, одиниця вимірювання
Вертикальна неспіввісність	< 15 мм / 450 мм
Горизонтальна неспіввісність	< 15 мм / 450 мм
Поздовжнє зміщення	< 50 мм / 450 мм
Вертикальне зміщення (від точки на середині товщини плити)	± 25 мм

Інтенсивні дослідницькі роботи з цього напрямку дозволили розробити та впровадити розширені критерії, згідно з якими аналітичне оцінювання виконують для кожного окремого арматурного штира — у випадку дефектів його розташування, поперечного армованого шва в цілому та послідовності таких швів [2].

Так, дефекти центрування було рекомендовано оцінювати за комплексним критерієм неспіввісності (англломовний термін *Complex Misalignment, CM*), який, згідно з [2], обчислюється за рівнянням (1):

$$CM = \sqrt{(Horizontal \_ Skew)^2 + (Vertical \_ Tilt)^2}. \quad (1)$$

Також було розроблено та впроваджено множинний критерій ефективності шва *JS (Joint Score)*, який дозволяє кількісно оцінювати сукупний вплив дефектів розташування арматури

<sup>2)</sup> Стандартна арматура діаметром 1 дюйм (25 мм), 1,25 дюйми (32 мм) та 1,5 дюйми (38 мм); відповідні стандарти ASTM на арматуру є чинними в Україні [7, 8]. Згідно з даними [1] у європейській практиці дорожнього будівництва застосовують арматуру відповідного цільового призначення переважно діаметром від 25 мм до 40 мм.

штирового з'єднання на здатність окремого шва до розкриття/закриття (зокрема на ймовірність блокування шва) за змінних умов роботи цементобетонного покриття. Множинний критерій ефективності шва обчислюється за рівнянням (2) [2] та призначений для оцінювання роботи поперечного армованого шва між крайками покриття чи між двома поздовжніми швами за ширини плити зазвичай від 3,6 м до 4,3 м:

$$JS = \left( 1 + \left( \frac{x}{x-n} \right) \sum_{i=1}^x W_i \right), \quad (2)$$

де  $x$  — кількість арматурних штирів у шві;  
 $n$  — кількість арматурних штирів, результати обстеження яких вилучено (наприклад, внаслідок інтерференції магнітних полів у випадку надто близького розташування арматурного штира поздовжнього шва або інше);  
 $W_i$  — ваговий фактор для арматурного штира  $i$ .

Ваговий фактор  $W_i$  залежить від величини комплексного критерію неспіввідності та варіюється від 0 до 10, де значення 10 відповідає максимальному значенню  $CM$  ( $CM > 38$  мм) [2].

Чим нижчим є значення  $JS$ , тим меншою є ймовірність блокування (або зниження здатності до розкриття/закриття) кожного окремого шва. У роботах [9, 10] зазначено, що за значення  $JS > 10$  шви рекомендовані для моніторингу як потенційно неефективні, за значення  $JS > 15$  – як такі, що здатні до блокування. За результатами проведення польових досліджень поперечних армованих швів методом магнітної індукції автори робіт [9, 11] зазначають, що не було виявлено залежності між показником  $JS$  та утворенням дефектів цементобетонного покриття у вигляді тріщин чи сколів. Поряд із цим, потрібно зазначити, що вплив декількох послідовно розташованих неефективних швів на розвиток дефектів цементобетонного покриття у цих роботах не досліджено, проте саме цей чинник вказано авторами [3] як такий, що має підтверджений негативний вплив на стан та довговічність покриття.

Авторами [2] описано алгоритм визначання максимальної ефективною довжини секцій цементобетонного покриття, який складається з обчислення граничного значення множинного критерію ефективності шва та його порівняння з отриманою експериментальною величиною  $JS$ .

Граничне значення множинного критерію ефективності шва (англомовний термін *Critical Joint Score*,  $JS_{critical}$ ) обчислюють за рівнянням (3) згідно з [2]:

$$JS_{critical} = C \cdot 15 \cdot \frac{Joint\_Width}{12}, \quad (3)$$

де  $C$  — коефіцієнт, який ураховує вплив умов роботи покриття на об'єкті відповідно до кліматичних умов, ймовірності зчеплення цементобетонного покриття з основою, довжини плити.

Найбільше значення  $C = 1,7$  прийняте для плити довжиною менше ніж 3,96 м (13 футів), яку влаштовано на шарі основи з дисперсних матеріалів, та яка працює в умовах клімату з максимальним річним інтервалом коливань середньомісячних температур менше ніж 4,4 °C (40 °F)<sup>3)</sup>; найменше значення  $C = 0,6$  прийняте для плити довжиною понад 5,18 м (17 футів), яку влаштовано на шарі основи з укріплених (стабілізованих) матеріалів, та яка працює в умовах

<sup>3)</sup> Приймається як різниця між середньомісячною температурою найбільш теплого та найбільш холодного місяця року.

клімату з максимальним річним інтервалом коливань середньомісячних температур понад 21,1 °C (70 °F) [2].

З урахуванням значень  $JS$  та  $JS_{critical}$  визначають максимальну ефективну довжину секції покриття (*Maximum Effective Panel Length, MEPL*) як таку, що містить не більше ніж три послідовно розташовані армовані шви зі значенням  $JS > JS_{critical}$ , але не більшу, ніж 60 м (18 футів).

Згідно з викладеним вище, авторами [2] встановлено допустимі відхилення розташування арматури штирових з'єднань відповідно до різних типів дефектів згідно з **табл. 2** у разі застосування обладнання *MIT*.

**Таблиця 2**

**Критерії прийнятності відхилів розташування арматури штирових з'єднань поперечних швів від проєктного положення згідно з даними [2]**

Дефект розташування арматури	Допустимий відхил, одиниця вимірювання	
	нижня границя	верхня границя
Комплексний критерій неспіввісності (CM)	0 мм	19 мм/457 мм
Поздовжнє зміщення	- 50 мм	50 мм
Вертикальне зміщення (відстань від поверхні плити до центроїди арматурного штира)	$h/2 + 13$ мм	$h/2 - 13$ мм
Множинний критерій ефективності шва (JS)	0	15
<b>Примітка.</b> $h$ — номінальна товщина цементобетонної плити (мм).		

Поряд з наведеними вище критеріями, авторами роботи [4] запропоновано також алгоритм розрахунку ефективності передачі навантаження на стиках суміжних плит для окремого шва відповідно до результатів діагностики розташування арматури штирових з'єднань.

Спочатку обчислюють жорсткість шва  $JStiff$  за рівнянням (4) [4]:

$$JStiff = JStiff_0 - 0,20623 \cdot MeanTilt - 0,61796 \cdot StDTilt - 0,86862 \cdot WPTilt, \quad (4)$$

де  $JStiff_0$  — розрахункова жорсткість арматури залежно від діаметра (значення наведено в [4]);

$MeanTilt$  — фактичне середнє значення неспіввісності арматури штирових з'єднань, мм/457 мм;

$StDTilt$  — стандартне відхилення неспіввісності арматури штирових з'єднань, мм/457 мм;

$WPTilt$  — фактична найбільша неспіввісність арматури штирових з'єднань, розташованої в зоні критичної смуги нахату, мм/457 мм.

Використовуючи отримане значення  $JStiff$ , обчислюють ефективність передачі навантаження  $LTE$  (*Load Transfer Efficiency*) за рівнянням (5) [4]:

$$LTE = \frac{100}{1 + 1,2 \cdot (JStiff)^{-0,849}}. \quad (5)$$

Автори [4] використовують отримане таким чином значення  $LTE$  для розрахунку окремих величин у механістико-емпіричній системі проєктування дорожнього одягу. Проте потрібно



зазначити, що розрахунки за рівняннями (4) та (5) можуть бути корисними також під час аналізування даних, отриманих за результатами визначання фактичних значень *LTE* для виокремлення чинників негативного впливу на кожному конкретному об'єкті.

### **Приклади використання результатів діагностики розташування арматури штирових з'єднань поперечних швів цементобетонного покриття типу *JPCP* для усунення дефектів розташування арматури**

Діагностику розташування арматури штирових з'єднань застосовують під час приймання робіт. Для надання висновків використовують критерії прийнятності, критерії вибракування, а також показник *PWL* (*Percent Within Limits*)<sup>4)</sup> — кількість результатів визначання нормованих показників, що знаходяться в межах допустимих відхилів, при цьому кількість результатів, що знаходиться за межами *PWL*, не повинна підпадати під критерії вибракування [12].

Критерії прийнятності було розглянуто вище (див. **табл. 2**, а також вимоги до значень *JS* та *MEPL*). Критерії вибракування (окремого арматурного штира або шва в цілому) дещо різняться, наприклад, у різних штатах США. Проте існують загальні уніфіковані положення.

Наприклад, передбачено відсутність будь-яких коригувальних дій у некритичних випадках — у разі дефектів позиціонування арматурних штирів, розташованих на відстані від поздовжнього армованого шва менше ніж 15 см, а також поза смугою накату; прийнято, що такі штирові з'єднання не впливають на довговічність цементобетонного покриття [2].

В інших випадках у разі виявлення поздовжнього зміщення чи за відсутності арматурного штира, виконують реконструкцію окремого штирового з'єднання [2, 4].

За наявності дефектів розташування арматури штирових з'єднань в зоні смуги накату за неможливості виконати реконструкцію окремих з'єднань виконують реконструкцію шва з заміною частини плити на всю глибину [4]. Згідно з положеннями настанови [4] ефективність передачі навантаження на стиках суміжних плит (*LTE*) після виконання робіт з усунення дефектів повинна становити не менше ніж 70 %.

Згідно з положеннями настанови [4] до критеріїв вибракування можуть бути віднесені дефекти розташування арматури штирового з'єднання, які не забезпечують належну товщину захисного шару бетону над арматурою (менше ніж 51 мм), не дозволяють виконати нарізання шва, або, наприклад, не дозволяють забезпечити значення критеріїв довговічності покриття, прийняті в процесі проектування.

### **Приклади прогностичного оцінювання результатів діагностики розташування арматури штирових з'єднань поперечних швів цементобетонного покриття типу *JPCP***

Окремі можливості використання результатів діагностики розташування арматури штирових з'єднань поперечних швів цементобетонного покриття встановлено в механістико-емпіричній системі проектування дорожнього одягу (*Mechanistic-Empirical Design, MEPD*). З цієї метою було введено термін «еквівалентний діаметр арматури штирових з'єднань [поперечних швів]» (*equivalent dowel bar diameter*) [4]. Концепція еквівалентного діаметра передбачає, що шов із дефектами розташування арматури штирового з'єднання працює як шов без дефектів розташування такої арматури, але за меншого її діаметра  $d_{eq}$  (рівняння (6)):

$$d_{eq} = r_{emb} + r_{cc} + r_{vt} + r_{hs} + d_0, \quad (6)$$

де  $r_{emb}$  — коефіцієнт, що ураховує зменшення довжини заглиблення арматурного штира в плиту внаслідок поздовжнього зміщення;

$r_{cc}$  — коефіцієнт, що ураховує зменшення товщини шару бетону над арматурою внаслідок вертикального зміщення;

<sup>4)</sup> Згідно з даними [18-11] показник *PWL* повинен становити не менше ніж 90 % для певної кількості послідовно розташованих швів.

- $r_{vt}$  — коефіцієнт, що ураховує вертикальну неспіввісність;  
 $r_{hs}$  — коефіцієнт, що ураховує горизонтальну неспіввісність;  
 $d_0$  — номінальний діаметр арматури штирового з'єднання.

Значення коефіцієнтів, що ураховують дефекти розташування арматури штирового з'єднання, варіюються від 0 до 1 та обчислюються згідно з формулами, виведеними авторами [4].

Розрахунки, виконувані з використанням еквівалентного діаметра арматури згідно з [4] дозволяють обчислювати зниження ймовірності забезпечення проєктних значень критеріїв безвідмовної роботи покриття<sup>5)</sup> протягом прийнятого строку служби дорожнього одягу за наявності дефектів розташування арматури штирового з'єднання.

### Висновки

1. Згідно з розглянутою вище світовою практикою дорожнього будівництва система діагностики і аналітичного оцінювання розташування металевої арматури штирових з'єднань швів цементобетонного покриття є розвинутою і багатофункціональною.

Впроваджений стандартний метод діагностики розташування арматури штирових з'єднань дозволяють виявляти й усувати дефекти армування поперечних швів цементобетонного покриття і таким чином забезпечувати належну ефективність передачі навантаження на стиках суміжних плит та індекс рівності покриття. Впроваджені методи прогностичного оцінювання дозволяють оцінити вплив дефектів розташування арматури на ефективність роботи шва, попередити блокування шва та утворення певних дефектів плит.

2. Найбільш сучасним та високоточним методом діагностики розташування металевої арматури штирових з'єднань швів цементобетонного покриття є метод магнітної індукції, принципи якого покладено в основу міжнародного стандарту. Метод характеризується високою точністю діагностики розташування арматури штирових з'єднань та дозволяє виявляти п'ять видів дефектів розташування такої арматури.

3. У національній галузі дорожнього будівництва існують обмеження щодо відхилів розташування арматури штирових з'єднань швів стискання та розширення від проєктного положення, проте процес діагностики розташування арматури штирових з'єднань не регламентується. У зв'язку з активізацією питання будівництва автомобільних доріг з цементобетонним покриттям в Україні, а також високою практичною значимістю розглянутого методу випробування, застосовуваного під час будівництва монолітних цементобетонних покриттів з неармованими плитами, актуальною задачею є розроблення та впровадження національного стандарту стосовно розглянутого методу випробувань.

### Список літератури

1. L. Rens. Guide for Design of Jointed Plain Concrete Pavements, European Concrete Paving Association (EUPAVE), Publ. by EUPAVE, Brussels, Belgium, 2020, 40 p. URL: <http://www.eupave.eu/wp-content/uploads/EUPAVE-Guide-for-the-design-of-jointed-plain-concrete-pavements-April-2020.pdf> (дата звернення 13.07.2021).
2. Dowel Bar Alignment and Location, ACPA Guide Specification, American Concrete Pavement Association, Skokie, Il., 2018, 18 p. URL: <http://www.acpa.org/wp-content/uploads/2020/07/18-11-15-ACPA-Dowel-Alignment-Guide-Spec.pdf> (дата звернення 07.07.2021).

<sup>5)</sup> У наведеному прикладі такими критеріями є граничні значення величини уступів між суміжними плитами, кількість поперечних тріщин плит покриття та індекс рівності покриття IRI.

3. H.T. Yu, S. Tayabji. Best Practices for Dowel Placement Tolerances, FHWA-HIF-07 021, CPCP (Concrete Pavement Technology Programm) TechBrief, US Department of Transportation, FHWA (Federal Highway Administration) 2007, 6 p. URL: <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/07021/07021.pdf> (дата звернення 07.07.2021).
4. L. Khazanovich, K. Hoegh, M. Snyder. Guidelines for Dowel Alignment in Concrete Pavements. NCHRP Report 637, TRB (Transportation Research Board), Washington, DC, 2009, 58 p. URL: <https://www.trb.org> (дата звернення 06.07.2021).
5. C. Amer-Yahia, T. Majidzadeh. Approach to Identify Misaligned Dowel and Tie Bars in Concrete Pavements Using ground Penetrating Radar. Case Studies in Non-Destructive Testing and Evaluation, 2014, 2, pp. 14 - 26. URL: <https://www.sciencedirect.com> (дата звернення 14.07.2021, стаття у вільному доступі).
6. M. Snyder. Guide for Dowel Load Transfer Systems for Jointed Concrete Roadway Pavements, National Concrete Consortium, National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University, 2011, 37 p. URL: <http://www.publications.iowa.gov/11987/1/DowelLoadGuide.pdf> (дата звернення 07.07.2021).
7. ДСТУ ASTM A510/A510M:2021 (ASTM A510/A510M-18, IDT) Катанка та дрiт круглий необроблений з вуглецевої та легованої сталі. Технічні умови. Київ, 2021. 7 с. (Інформація та документація).
8. ДСТУ ASTM A615/A615M:2019 (ASTM A615/A615M-16, IDT) Прокат гладкого та періодичного профілю з вуглецевої сталі для армування бетону. Технічні вимоги. Київ, 2019. 14 с. (Інформація та документація).
9. S. Rao, L. Premkumar. Long-Term Pavement Performance Data Analysis Program: Effect of Dowel Misalignment on Concrete Pavement Performance, Turner-Fairbank Highway Research Center, 2020, Publication No FHWA-HRT-20-070, 120 p. URL: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/htpp/20070/20070.pdf> (дата звернення 07.07.2021).
10. A.K. Kiwi. Dowel Bar Alignment in Concrete Pavements: 21<sup>st</sup> Century Standards and Methods Transportation Association of Canada (TAC) Conference & Exhibition, 2020, session “Innovations in Pavement Management, Engineering and Technologies”, 18 p. URL: [http://www.tac-atc.ca/sites/default/files/conf\\_papers/kivia\\_dowel\\_bar\\_alignment.pdf](http://www.tac-atc.ca/sites/default/files/conf_papers/kivia_dowel_bar_alignment.pdf) (дата звернення 13.07.2021).
11. Evaluation and Optimizing Dowel Bar Alignment, Concrete Pavement Research and Technology Special Report, Publication SR999P. American Concrete Pavement Association, Skokie, IL, August 2006, 8 p. URL: <http://www.countonconcrete.org/wp-content/uploads/2016/11/SR999P.pdf> (дата звернення 14.07.2021).
12. Concrete Pavement Joints. Technical Advisory. FHWA Publication T 5040.30. US Department of Transportation, FHWA (Federal Highway Administration) 2019, 48 p. URL: <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/ta504030.pdf> (дата звернення 08.07.2021).

### References

1. L. Rens. Guide for Design of Jointed Plain Concrete Pavements, European Concrete Paving Association (EUPAVE), Publ. by EUPAVE, Brussels, Belgium, 2020, 40 p. URL: <http://www.eupave.eu/wp-content/uploads/EUPAVE-Guide-for-the-design-of-jointed-plain-concrete-pavements-April-2020.pdf> (Last accessed: 13.07.2021).
2. Dowel Bar Alignment and Location, ACPA (American Concrete Pavement Association) Guide Specification, 2018, 18 p. URL: <http://www.acpa.org> (Last accessed: 07.07.2021).
3. H.T. Yu, S. Tayabji. Best Practices for Dowel Placement Tolerances, FHWA-HIF-07 021, CPCP (Concrete Pavement Technology Programm) TechBrief, US Department of Transportation, FHWA (Federal Highway Administration) 2007, 6 p. URL: <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/07021/07021.pdf> (Last accessed: 07.07.2021).

4. L. Khazanovich, K. Hoegh, M. Snyder. Guidelines for Dowel Alignment in Concrete Pavements. NCHRP Report 637, TRB (Transportation Research Board), Washington, DC, 2009, 58 p. URL: <https://www.trb.org> (Last accessed: 06.07.2021).
5. C. Amer-Yahia, T. Majidzadeh. Approach to Identify Misaligned Dowel and Tie Bars in Concrete Pavements Using ground Penetrating Radar. Case Studies in Non-Destructive Testing and Evaluation, 2014, 2, pp. 14 - 26. URL: <https://www.sciencedirect.com> (Last accessed: 14.07.2021).
6. M. Snyder. Guide for Dowel Load Transfer Systems for Jointed Concrete Roadway Pavements, National Concrete Consortium, National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University, 2011, 37 p. URL: <http://www.publications.iowa.gov/11987/1/DowelLoadGuide.pdf> (Last accessed: 07.07.2021).
7. DSTU ASTM A510/A510M:2021 (ASTM A510/A510M-18, IDT) Катанка та дрит крухлий необроблений з вуглетсевої та левованої сталі. Технічні умови (Standard Specification for general requirements for wire rods and coarse round wire, carbon steel and alloy steel) Kyiv, 2021. 7 p.
8. DSTU ASTM A615/A615M:2019 (ASTM A615/A615M-16, IDT) Прокат хладкоho та періодичного профілю з вуглетсевої сталі для армування бетону. Технічні вимоги (Deformed and plain carbon-steel bar for concrete reinforcement. Technical requirements). Kyiv, 2019. 14 p.
9. S. Rao, L. Premkumar. Long-Term Pavement Performance Data Analysis Program: Effect of Dowel Misalignment on Concrete Pavement Performance, Turner-Fairbank Highway Research Center, 2020, Publication No FHWA-HRT-20-070, 120 p. URL: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/20070/20070.pdf> (Last accessed: 07.07.2021).
10. A.K. Kiwi. Dowel Bar Alignment in Concrete Pavements: 21<sup>st</sup> Century Standards and Methods Transportation Association of Canada (TAC) Conference & Exhibition, 2020, session “Innovations in Pavement Management, Engineering and Technologies”, 18 p. URL: [http://www.tac-atc.ca/sites/default/files/conf\\_papers/kivia\\_dowel\\_bar\\_alignment.pdf](http://www.tac-atc.ca/sites/default/files/conf_papers/kivia_dowel_bar_alignment.pdf) (Last accessed: 13.07.2021).
11. Evaluation and Optimizing Dowel Bar Alignment, Concrete Pavement Research and Technology Special Report, Publication SR999P. American Concrete Pavement Association, Skokie, Il., August 2006, 8 p. URL: <http://www.countonconcrete.org/wp-content/uploads/2016/11/SR999P.pdf> (Last accessed: 14.07.2021).
12. Concrete Pavement Joints. Technical Advisory. FHWA Publication T 5040.30. US Department of Transportation, FHWA (Federal Highway Administration) 2019, 48 p. URL: <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/ta504030.pdf> (Last accessed: 08.07.2021).

---

**Tatyana Tereshchenko, Ph.D.,** <https://orcid.org/0000-0001-7584-9031>

*M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine*

### THE METHODS OF NON-DESTRUCTIVE TESTING OF POSITIONING OF METALLIC DOWEL BARS IN JOINTS OF RIGID PAVEMENTS

#### ***Abstract***

**Introduction.** In the world-wide practice on construction of rigid road pavements significant attention has been given to jointed plain concrete pavements (JPCP) with transverse joints strengthened by dowel bars. Performance of JPCP is sufficiently affected by right alignment and location of dowel bars thereby the methods of non-destructive testing of dowel bar positioning have been gain in great importance. This paper represents analytical review of methods of non-destructive testing of dowel bar alignment and location emphasizing an attention on standard method using magnetic pulse induction

which is applicable to testing of metallic bar position in concrete pavements.

General Part. In the general part of this paper, several main aspects of reviewed test method were analyzed:

- the classification of dowel bars misalignment and their impact on pavement performance;
- the comparison of implemented methods of non-destructive testing of dowel bar positioning;
- possibilities of method of magnetic impulse induction and an approach to analytical evaluation of transverse joints dowel bar misalignment using magnetic image tomography;
- the usage of results of testing of transverse joints dowel bar position to eliminate dowel bars misalignment;
- examples of predictive estimation of results of testing of transverse joints dowel bar position and their impact on performance of JPCP.

The reviewed method of testing and test results estimation concerns practice on application of two levels of performance (e.g. acceptable level and rejectable level) to evaluate the performance of each individual dowel bar or each doweled transverse joint and also a section of rigid road pavement with several consecutive transverse joints with restricted performance.

### Conclusions.

1. World-wide implemented standard method of non-destructive testing of dowel bar alignment and location allows to detect and to eliminate dowel bars misalignment thus ensuring required load transfer efficiency and international roughness index of rigid road pavements. The estimation of road pavement sections with several consecutive joints considering each joint performance allows to ensure the designed service life of road pavement.

2. Standard method of non-destructive testing of dowel bar alignment and location for transverse joints of rigid road pavement using magnetic pulse induction developed by American Society for Testing and Materials assures high precision of measurement of metallic bar position in doweled bar of concrete pavement joints and enables to detect five types of dowel bar misalignment.

3. In connection with the intensification of issues on construction of rigid road pavements in Ukraine as well as the high importance of the considering test method, an important task should be the development and implementation of an appropriate national standard.

**Keywords:** detection, rigid pavement, dowel bar misalignments, metallic dowel bar, transverse joint.

УДК 69.059

Молодід О. С.<sup>1</sup>, *д-р техн. наук, проф.*, <https://orcid.org/0000-0001-8781-6579>

Руднєва І. М.<sup>1</sup>, *канд. техн. наук, доц.*, <https://orcid.org/0000-0002-9711-042X>

Богдан С. М.<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-1109-3447>

<sup>1</sup> Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

<sup>2</sup> ТОВ «Манеї Україна», м. Київ, Україна

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДСИЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗОВНІШНІМ АРМУВАННЯМ МЕТОДОМ НАКЛЕЮВАННЯ ВИСОКОМІЦНИХ КОМПОЗИТНИХ ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ (FRP)

### *Анотація*

**Вступ.** Методи підсилення, які, переважно, використовуються у вітчизняній практиці для підсилення металевих конструкцій, засновані на додаванні додаткового перетину до металевих елементів шляхом їх кріплення болтами або зварюванням. Ці методи, безумовно, надійні та ефективні, але не завжди можуть застосовуватися, коли необхідно зберегти не тільки будівлю в цілому, але й її первісний внутрішній та зовнішній вигляд. Більш того, металеві елементи збільшують навантаження на конструкцію і будівлю в цілому та схильні до корозії і втоми. Нерідко трапляються випадки, коли зафіксувати елемент підсилення до основної конструкції складно, як з технологічної, так і конструктивної точки зору.

У цих ситуаціях виникає необхідність в підсиленні металевих конструкцій високоміцними матеріалами з низькою масою та високою технологічністю. Серед різних стратегій підсилення конструкцій, наклеювання високоміцних композитних вуглецевих матеріалів (FRP — Fibre-reinforced polymer) стає все більш популярним в світі, особливо це стосується залізобетонних конструкцій, хоча застосування до металевих конструкцій теж досить поширене в Європі. Але, слід зазначити, що в Україні, на жаль, цей матеріал наразі немає широкого застосування для підсилення металевих конструкцій.

**Проблематика.** Відновлення металевих конструкцій стає необхідним щоразу, коли присутні помилки проектування, виготовлення або виконання будівельних робіт. Також підсилення необхідне у випадках тривалої експлуатації будівель без своєчасного технічного обслуговування та капітальних ремонтів, недостатньої міцності матеріалів конструкцій, а також зміни погодних умов та діючих нормативних документів в Україні. Отже є необхідність в підсиленні металевих конструкцій максимально ефективними методами, як з точки зору надійності будівельних конструкцій, так і з погляду рентабельності, на що впливає тривале припинення роботи підприємств та зупинка виробничого процесу для виконання робіт з реконструкції.

**Мета.** Дослідити сучасний метод підсилення металевих конструкцій із застосуванням високоміцних композитних вуглецевих матеріалів (CFRP), з метою збільшення згинальної спроможності металевих конструктивних елементів, зокрема перевірити надійність зчеплення металевих балок з підсилюючим шаром з композитного матеріалу ТМ «Манеї», який наклеєно з використанням клею на епоксидній основі.

**Методи дослідження.** Експериментальне випробування металевих балок двотаврового перерізу, підсилені зовнішнім армуванням методом наклеювання високоміцного матеріалу на основі вуглецю (CFRP) ТМ «Манеї» шляхом статичного зосередженого навантаження посередині прогону балки.

**Результати.** Шляхом аналізу результатів виконаного експериментального випробування отримані дані, які свідчать, що після включення в роботу вуглецевого композитного матеріалу

ТМ «Марей» відсоткове зменшення вертикального прогину при навантаженні 75 кН склало 39,5 %, а величина допустимого навантаження, з врахуванням умови жорсткості (перевірка будівельних конструкцій встановленим умовам граничних прогинів), збільшилася на 11,8%. При проведенні випробування явищ відшарування (деламінації) композиту від основи не виявлено.

**Висновки.** Підсилення сталевих балок композитним матеріалом на основі вуглецю, призвело до зниження деформацій елемента і, як наслідок, до можливості збільшення несної здатності. Експериментальне випробування підтверджує теоретичні розрахунки щодо можливості збільшити несну здатність металеві балки за допомогою композитних матеріалів ТМ «Марей». Значний ефект від підсилення металевих конструкцій композитними матеріалами може бути досягнутий при підсиленні будівельних конструкцій великопрогонових будівель та споруд, які при підсиленні традиційними методами вимагають складних конструктивних рішень, великих витрат праці, зупинки технологічного процесу виробництва для виконання робіт із підсилення, коли вага підсилюючої конструкції часто виявляється значною.

**Ключові слова:** композитні матеріали, зовнішнє армування методом наклеювання, високоміцні композитні вуглецеві матеріали, реконструкція, підсилення металевих конструкцій, армований волокном полімер, FRP.

### Вступ

Відновлення металевих конструкцій стає необхідним щоразу, коли присутні помилки проектування, виготовлення або виконання будівельних робіт. Також підсилення необхідне у випадках тривалої експлуатації будівель без своєчасного технічного обслуговування та капітальних ремонтів, недостатньої міцності матеріалів конструкцій, а також зміни погодних умов та діючих нормативних документів в Україні [10]. Найбільш поширені типи пошкоджень металевих конструкцій пов'язані з характеристиками матеріалів, коли розтягнуті металеві елементи мають зменшення площі поперечного перерізу через корозію, а методи відновлення та модернізації цих конструкцій спрямовані, здебільшого, на збільшення несної здатності конструкцій, або зменшення їх деформативності.

### Основна частина

Методи підсилення, які, переважно, використовуються у вітчизняній практиці для підсилення металевих конструкцій, засновані на додаванні додаткового перетину до металевих елементів шляхом їх кріплення болтами або зварюванням. Ці методи, безумовно, надійні та ефективні, але не завжди можуть застосовуватися, коли необхідно зберегти не тільки будівлю в цілому, але й її первісний внутрішній та зовнішній вигляд. Більш того, металеві елементи збільшують навантаження на конструкцію і будівлю в цілому та схильні до корозії і втоми. Нерідко трапляються випадки, коли зафіксувати елемент підсилення до основної конструкції складно, як з технологічної, так і конструктивної точки зору.

У цих ситуаціях виникає необхідність в підсиленні металевих конструкцій високоміцними матеріалами з низькою масою та високою технологічністю. Серед різних стратегій підсилення конструкцій, наклеювання високоміцних композитних вуглецевих матеріалів (FRP — Fibre-reinforced polymer) стає все більш популярним в світі, особливо це стосується залізобетонних конструкцій [11, 12, 18–20], хоча застосування до металевих конструкцій [1–5, 11] теж досить поширене в Європі. Але, слід зазначити, що в Україні, на жаль, цей матеріал наразі немає широкого застосування для підсилення металевих конструкцій.

Переваги вищезазначеної технології такі [10]:

- сумісна робота елемента зовнішнього армування з підсилюваною конструкцією, на всіх етапах її навантаження (така робота забезпечується надійним клейовим з'єднанням);
- висока довговічність і стійкість до корозії;
- високі механічні характеристики (міцність і модуль пружності) матеріалів, що складають систему підсилення;
- простота та швидкість монтажу, мінімальне збільшення габаритів, мала власна маса тощо;
- не потрібно влаштування підмостей (роботи можуть виконуватися з автопідйомника)
- не потребують відселення людей, припинення роботи підприємств або зупинки виробничого процесу.

Зростаюча зацікавленість наукової спільноти світу до підсилення зовнішнім армуванням методом наклеювання високоміцних композитних вуглецевих матеріалів підтверджується великою кількістю досліджень та публікацій, рекомендацій та стандартів з відновлення експлуатаційної придатності як залізобетонних [11, 12], так і металевих конструкцій [1–5, 11].

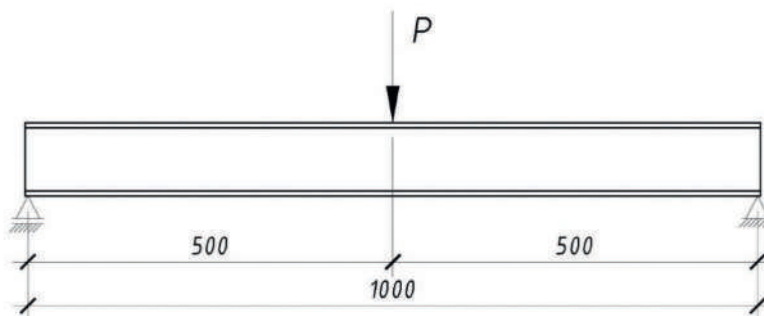
До цілей підсилення металевих конструкцій композитними матеріалами відносяться:

- збільшення або відновлення межі міцності на розтяг;
- збільшення або відновлення межі міцності на згин;
- підвищення втомної міцності.

Серед різних, спостережуваних дослідниками, режимів відмови особливий інтерес та занепокоєння викликають довговічність, відшарування системи FRP від основної металевої конструкції при експлуатації, а також ефективність підсилення стиснутих елементів.

Саме з вищенаведених причин та з метою дослідження дійсної роботи FRP-матеріалів було виконано дослідження, в якому виконано експериментальне випробування металевих балок двотаврового перерізу, підсилені зовнішнім армуванням методом наклеювання високоміцного матеріалу на основі вуглецю (CFRP) ТМ «Марей», з метою збільшення згинальної спроможності металевого конструктивного елемента, зокрема перевірялась надійність зчеплення металевої балки з підсилюючим шаром з високоміцного матеріалу на основі вуглецю ТМ «Марей», який наклеєний з використанням клею на епоксидній основі, особливо країв стрічки.

Випробування проводили на металевих балках з двотавру №10 (ст. 3пс/сп) — без підсилення, а також двотаврових балках, підсилені зовнішнім армуванням методом наклеювання високоміцного матеріалу на основі вуглецю ТМ «Марей» в зоні розтягу. Балки відрізані від одного прокатного елемента, тому мають однакові механічні властивості, що важливо для подальшого порівняння отриманих результатів для балок без підсилення та з підсиленням зовнішнім армуванням. Установка для випробування з прикладеним навантаженням показана на **рис. 1** та **рис. 2**.



**Рисунок 1** — Схема установка для випробування (розміри в мм)





**Рисунок 2** — Непідсилена балка в процесі експерименту

**Методика проведення експерименту.** Підсилення металевих конструкцій включало підготовку основи зони підсилення та нанесення підсилюючих шарів. Підсилення виконують наклеюванням на зону підсилення металевій конструкції високоміцного матеріалу на основі вуглецю ТМ «Марей» в один, два або більше шарів (залежно від того, на скільки потрібно збільшити несну здатність). Основний принцип розміщення композитних елементів підсилення полягає в паралельному їх розташуванні розтягуючим напруженням.

У **табл. 1** наведені технічні характеристики високоміцної фіброармованої тканини Марей MareWrap C UNI-AX 600/10.

**Таблиця 1**

**Технічні характеристики та властивості високоміцної фіброармованої тканини Марей MareWrap C UNI-AX**

Властивості матеріалу	Значення
Тип волокна Вид	Високоміцне вуглеволокно Збалансоване однонаправлене волокно
Технічні характеристики	
Вага (г/см <sup>3</sup> ):	600
Щільність (кг/м <sup>3</sup> ):	1 800
Еквівалентна товщина сухої тканини (мм):	0,333
Стійкість до навантажень на одиницю товщини (мм <sup>2</sup> /м):	333,3
Міцність на розрив (Н/мм <sup>2</sup> ):	4 830
Максимальне навантаження на одиницю товщини (кН/м):	> 1 600
Модуль пружності на розрив (Н/мм <sup>2</sup> ):	23 0000
Подовження при розриві (%):	2

Перед приклеюванням вуглецевого волокна поверхню балок підготували, очистивши від корозії за допомогою щітки по металу (**рис. 3**) та знежирили її «розчинником 646» з подальшим просушуванням. Далі наносили ґрунтовку Марей MareWrap Primer 1 та відразу, за методом «мокре на мокре», нанесли на неї клей MareWrap 11. Далі вкладали один шар вуглецевої стрічки Марей MareWrap C UNI-AX 600/10 (товщина одного шару — 0,333 мм), яку завчасно розрізали навпіл по довжині

(ширина — 50 мм). По поверхні укладеної стрічки прокочували поліуретановим валиком до тих пір, доки через неї не проходив клей на зовнішню поверхню. Після цього, на поверхню першої стрічки наносили тонкий шар клею MareWrap 11 та вкладали на нього другий шар вуглецевої стрічки та повторювали ті ж дії, що й з першим шаром (рис. 4).



*Рисунок 3* — Зачищена балка



*Рисунок 4* — Процес нанесення клею MareWrap 11 та приклеювання вуглецевих стрічок Marei MareWrap C UNI-AX 600/10

Як відомо з літератури [5], концентрація напружень знаходиться на краю підсилючої системи, що викликає відшарування композитної стрічки, коли навантаження досягає якийсь критичний поріг. Тому, для зменшення ймовірності відшарування підсилення в адгезивному шарі від нормальних і дотичних напружень поблизу кінцевих частин підсилення вуглецевою стрічкою наклеєно якірні хомути. Їх влаштування виконано за способом, що використаний для основного елемента підсилення (рис. 5).

У ході експерименту проведено випробування:

Балки без підсилення (контрольні) — 3 шт.

Балки з підсиленням зовнішнім армуванням системою ТМ «Мареі» — 3 шт.

Балки навантажувалися зосередженим навантаженням по середині прогону за допомогою преса (максимальне зусилля преса — 50 кН) (рис. 1, рис. 2, рис. 6, рис. 8).



*Рисунок 5* — Балка, підсилена зовнішнім армуванням з використанням високоміцних вуглецевих стрічок



*Рисунок 6* — Прес (50 кН) для прикладання навантаження при проведенні випробувань



*Рисунок 7* — Індикатор годинникового типу, встановлений по середині прогону балки, для вимірювання прогинів

Для вимірювання прогинів по середині прогону балки було встановлено індикатор годинникового типу (рис. 7), призначений для вимірювання лінійного переміщення точки конструкції відносно початкового положення, з ціною поділки — 0,01 мм.

Випробування проводилися за температури +26 °С всередині сухого приміщення, тобто в умовах не підвищеної вологості.

Для одержання більш точних експериментальних даних балка завантажувалась ступінчасто з певним кроком, який призначали так, щоб при  $n$  кроків сила не перевищувала максимально допустиму. На кожному етапі навантаження знімалися відліки вимірювальних приладів і записувалися в таблицю спостережень (табл. 2). Після кожного етапу навантаження витримували

паузи тривалістю 15 хв. Потім бралися відліки за приладами, а далі прикладали навантаження за наступним етапом.

Повне навантаження, до втрати жорсткості, на непідсилену балку склало 7,5 т = 75 кН. Навантаження прикладалося покрово в 8 етапів: 1 — 1 т, 2 — 1 т, 3 — 1 т, 4 — 1 т, 5 — 1 т, 6 — 1 т, 7 — 1 т, 8 — 0,5 т (рис. 8, рис. 9).

Повне навантаження на підсилену балку склало 8,5 т = 85 кН. Навантаження прикладалося покрово в 9 етапів: 1 — 1 т, 2 — 1 т, 3 — 1 т, 4 — 1 т, 5 — 1 т, 6 — 1 т, 7 — 1 т, 8 — 1 т, 9 — 0,5 т (рис. 10, рис. 11).



*Рисунок 8* — Непідсилена двотаврова балка в пресі перед випробуванням



*Рисунок 9* — Непідсилена двотаврова балка після випробування



*Рисунок 10* — Двотаврова балка, підсилена FRP в пресі перед випробуванням



Рисунок 11 — Двотаврова балка, підсилена FRP в пресі після випробування



Рисунок 12 — Підсилена двотаврова балка після випробування

Максимальне допустиме навантаження на непідсилену балку довжиною 1 м, виконуючи її повний розрахунок за першим та другим граничними станами, складає 76 кН. При проведенні експериментального випробування непідсиленої балки отримали наступне: при навантаженні 75 кН максимальний прогин в середині прогону склав 8,21 мм, який близький до граничного  $8,33 \text{ мм} \left[ \frac{f}{l} \leq \frac{1}{120} = 0,0083 \right]$  [15]. При цьому ж навантаженні в підсиленій балці прогин склав 4,97 мм, що на 39,5 % менше, ніж в непідсиленій.

При навантаженні вагою 80 кН непідсилену балку перевищила допустимий прогин 9,08 мм [15]:

$$\frac{f}{l} = 0,0091 > \left[ \frac{f}{l} \leq \frac{1}{120} = 0,0083 \right]. \quad (1)$$

Підсилена балка при навантаженні 8,5 т, зазнала прогин — 8,01 мм, який все ще менше, ніж граничний — 8,33 мм. Тобто, при підсиленні балки композитним матеріалом ТМ «Марей», вдалося збільшити навантаження на 11,8 %, порівняно з непідсиленою, що вочевидь не є межею.

Значення прогинів в середині прогону балки від дії зосередженого навантаження на непідсилену та підсилену балку представлені в **табл. 2**.

*Установлені прогини при виконанні експериментальних випробувань*

Навантаження, кН	Прогин балки, мм		Відхилення $\Delta_f = \frac{ f^H - f^П }{f^П} \cdot 100\%$
	Непідсилена балка $f^H$	Підсилена балка $f^П$	
0	0	0	
10	0,73	0,72	1,4
20	1,75	1,68	4,0
30	1,98	1,95	1,5
40	2,66	2,59	2,6
50	2,91	3,02	3,8
60	3,76	3,51	6,6
70	4,58	4,00	12,7
75	8,21 ( $f_{\text{твор}}^H = 3,95$ )	4,97 ( $f_{\text{твор}}^П = 3,58$ )	39,5 ( $\Delta_f^{\text{твор}} = 9,26$ )
80	9,08	5,58	38,5
85		8,01	

### Висновки

Підсилення сталевих балок зовнішнім армуванням, а саме вуглецевими композитними матеріалами ТМ «Марей», привело до зниження деформацій елемента і, як наслідок, до можливості збільшення несної здатності.

Після включення в роботу вуглецевого композитного матеріалу відсоткове зменшення вертикального прогину при навантаженні 75 кН склало 39,5 %.

У підсиленій балці, з використанням композитного вуглецевого матеріалу, прогин, близький до граничного, виникає при навантаженні 85 кН, що більше навантаження непідсиленої балки на 10 кН.

Експериментальне випробування підтверджує теоретичні розрахунки щодо можливості збільшити несну здатність металеві балки за допомогою композитних матеріалів ТМ «Марей». Отже, величина допустимого навантаження, з урахуванням умови жорсткості (перевірка будівельних конструкцій встановленим умовам граничних прогинів), збільшилася на 11,8 %.

При проведенні випробування явищ відшарування (деламінації) композиту від основи не виявлено. Однак, для того, щоб стверджувати це остаточно, необхідне проведення більш довгострокових експериментальних досліджень, зокрема на інших типах конструкцій, з врахуванням реальних умов міського середовища або моделюванням умов, в яких передбачається використання досліджуваних підсиленних фіброармованими системами конструкцій.

Для запобігання відшарування поблизу кінцевих частин підсилення FRP слід встановлювати хомути шляхом наклеювання поперек розтягуючих напружень.

Хоча тенденція в зменшенні прогинів підсиленої конструкції спостерігається в теоретичних дослідженнях так само, як і в експериментальних, присутня деяка розбіжність в результатах, що

є результатом не достатньо глибоко проведеного експерименту, де за мету ставилося визначити динаміку поведінки саме підсилених композитним матеріалом металевих конструкцій порівняно з не підсиленими, під навантаженням, та дослідити ймовірність відшарування. Однак, для більш точної оцінки сумісної роботи металу з композитним матеріалом, необхідний більш ґрунтовний й детальніший експеримент.

Значний ефект від підсилення металевих конструкцій композитними матеріалами може бути досягнутий при підсиленні будівельних конструкцій великопрогонових будівель та споруд, які при підсиленні традиційними методами вимагають складних конструктивних рішень, великих витрат праці, зупинки технологічного процесу виробництва для виконання робіт із підсилення, вага підсилюючої конструкції часто виявляється значною.

### Список літератури

1. Luke, S. & Mouchel Consulting. The Use of Carbon Fibre Plates for the Strengthening of Two Metallic Bridges of a Historic Nature in the UK. In IG. Teng (ed.), *FRP Composites in Civil Engineering*, Vol. II.
2. Ceriolo, L. & Di Tommaso, A. 2001. Cast Iron Bridge Failure Due to Impact: reduced Vulnerability through FRP Composite Materials Strengthening. In National Conference on Structure failures and reliability of civil constructions; Proc. symp., Istituto Universitario di Architettura di Venezia, 6-7 December 2001.
3. Miller, T.e., Chajes, M.J., Mertz, D.R. & Hastings, J. 2001. Strengthening of a Steel Bridge Girder Using CFRP Plates, *Journal of bridge engineering*, ASCE, 6(6): from 514-522.
4. Giosuè Boscato. Numerical analysis and experimental tests on dynamic behaviour of gfrp pultruded elements for conservation of the architectural and environmental heritage. PhD. Dissertation. University Iuav of Venice, Venice, Italy, 2009.
5. CNR-DT 202/2005 «Guidelines for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures». Metallic structures. Preliminary study. ROME –CNR, 2007. 57 p.
6. EN1990 Eurocode 0: Basis of structural design.
7. EN1991 Eurocode 1: Actions on structures.
8. EN 1993 Eurocode 3: Design of steel structures.
9. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. / Мінрегіонбуд України. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2018.
10. І. Руднева, Ю. Прядко, М. Прядко, Г. Тонкачєєв. Особливості та перспективи використання технологій підсилення будівельних конструкцій композиційними матеріалами при реконструкції споруд. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. № 7 (2020), с.12-22. DOI: 10.32347/2522-4182.7.2020.12-22
11. I.N. Rudnieva. Comparative analysis of strengthening of building structures (masonry, metal structures, reinforced concrete) using FRP-materials and traditional methods during reconstruction. «Strength of Materials and Theory of Structures», 2020. № 105 – С.267-291. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2020.105.267-291>
12. Kang, T.H.K., Kim, W., Ha, S.S. et al. Hybrid Effects of Carbon-Glass FRP Sheets in Combination with or without Concrete Beams. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 8, 27–41 (2014). <https://doi.org/10.1007/s40069-013-0061-0>
13. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування/ Мінрегіон України. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2014.

14. ДБН А.1.1-94:2010. Проектування будівельних конструкцій за Єврокодами. Основні положення. Мінрегіонбуд України. К.: ДП «Укрархбудінформ», 2012.
15. ДСТУ Б В.1.2.-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. /Мінбуд України. – К.: Сталь, 2006.
16. М.В. Прядко, І.М. Руднева, Ю.М. Прядко. Обстеження та підсилення будівельних конструкцій промислових будівель: Навчальний посібник. Київ: КНУБА, 2018. 332 с.
17. ДСТУ Б В.3.1-2:2016. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. Київ, 2017. – 68 с.
18. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. ЦННИИСК им. Кучеренко. М., 2003.
19. Molodid O. S. Strengthening of reinforced concrete beam structures using external reinforcement. Efficiency research. Organizational and technological model engineering in the construction industry: collective monograph. Lviv-Toruń: Liha-Pres, 2019. P. 69–78.
20. Молодід О. С. Экспериментальные исследования технологии усиления железобетонных колонн углеродными волокнами. *Наука и Техника. Международный научно-технический журнал*. Минск, 2020. Том 19. № 5. С. 395–399.

### References

1. Luke, S. & Mouchel Consulting. The Use of Carbon Fibre Plates for the Strengthening of Two Metallic Bridges of a Historic Nature in the UK. In IG. Teng (ed.), *FRP Composites in Civil Engineering*, Vol. II.
2. Ceriolo, L. & Di Tommaso, A. 2001. Cast Iron Bridge Failure Due to Impact: reduced Vulnerability through FRP Composite Materials Strengthening. In *National Conference on Structure failures and reliability of civil constructions; Proc. symp., Istituto Universitario di Architettura di Venezia*, 6-7 December 2001.
3. Miller, T.e., Chajes, M.J” Mertz, D.R. & Hastyings, J. 2001. Strengthening of a Steel Bridge Girder Using CFRP Plates, *Journal of bridge engineering*, ASCE, 6(6): from 514-522,
4. Giosuè Boscato. Numerical analysis and experimental tests on dynamic behaviour of gfrp pultruded elements for conservation of the architectural and environmental heritage. PhD. Dissertation. University Iuav of Venice, Venice, Italy, 2009.
5. CNR-DT 202/2005 «Guidelines for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures». *Metallic structures. Preliminary study. ROME –CNR, 2007. 57 p.*
6. EN1990 Eurocode 0: Basis of structural design.
7. EN1991 Eurocode 1: Actions on structures.
8. EN 1993 Eurocode 3: Design of steel structures.
9. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні вимоги до забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. /Мінрегіонбуд України. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2018.
10. Rudnieva, Yu. Priadko, M. Priadko, H. Tonkacheiev. Osoblyvosti ta perspektyvy vykorystannia tekhnologii pidslennia budivelnikh konstrukttsii kompozytsiinymy materialamy pry rekonstrukttsii sporud. Zbirnyk naukovykh prats “BUDIVELNI KONSTRUKTSII. TEORIIA I PRAKTYKA”. № 7 (2020), с.12-22. DOI: 10.32347/2522-4182.7.2020.12-22
11. I.N. Rudnieva. Comparative analysis of strengthening of building structures (masonry, metal structures, reinforced concrete) using FRP-materials and traditional methods during reconstruction.



«Strength of Materials and Theory of Structures», 2020. № 105 – С.267-291. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2020.105.267-291>.

12. Kang, T.H.K., Kim, W., Ha, S.S. et al. Hybrid Effects of Carbon-Glass FRP Sheets in Combination with or without Concrete Beams. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 8, 27–41 (2014). <https://doi.org/10.1007/s40069-013-0061-0>.

13. DBN V.2.6-198:2014. Stalevi konstruktсии. Normy proektuvannia/ Minrehion Ukrainy. – K.: DP «Ukrarkhbudininform», 2014.

14. DBN A.1.1-94:2010. Proektuvannia budivelnykh konstruktсии za Yevrokodamy. Osnovni polozhennia / Minrehionbud Ukrainy. K.: DP «Ukrarkhbudininform», 2012.

15. DSTU B V.1.2.-3:2006. Prohyny i peremishchennia. Vymohy proektuvannia. /Minbud Ukrainy. – K.: Stal, 2006.

16. M.V. Priadko, I.M. Rudnieva, Yu.M. Priadko. Obstezhennia ta pidsylennia budivelnykh konstruktсии promyslovykh budivel: Navchalnyi posibnyk. – Kyiv: KNUBA, 2018. – 332 p.

17. DSTU B V.3.1-2:2016. Remont i pidsylennia nesuchykh i ohorodzhvalnykh budivelnykh konstruktсии ta osnov budivel i sporud. Kyiv, 2017. – 68 p.

18. Rukovodstvo po usyleniu zhelezobetonnykh konstruktсии kompozytnymy materialamy. TsNNYYSK ym. Kucherenko. M., 2003.

19. Molodid O. S. Strengthening of reinforced concrete beam structures using external reinforcement. Efficiency research. Organizational and technological model engineering in the construction industry: collective monograph. Lviv-Toruń: Liha-Pres, 2019. P. 69–78.

20. Molodid O. S. Экспериментальные исследования технологий усиления железобетонных колонн углеродными волокнами. *Nauka y Tekhnika. Mezhdunarodnyi nauchno-tekhnicheskyy zhurnal*. Mynsk, 2020. Tom 19. № 5. P. 395–399.

---

**Oleksandr Molodid**<sup>1</sup>, D.Sc., Prof., <https://orcid.org/0000-0001-8781-6579>

**Iryna Rudnieva**<sup>1</sup>, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-9711-042X>

**Sergey Bogdan**<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-1109-3447>

<sup>1</sup> Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> LLC «Mapei Ukraine», Kyiv, Ukraine

### EXPERIMENTAL STUDY OF STRENGTHENING OF METAL STRUCTURES WITH EXTERNAL REINFORCEMENT BY THE METHOD OF GLUING HIGH-STRENGTH CARBON FIBRE-REINFORCED POLYMER (FRP) MATERIALS

#### *Abstract*

**Introduction.** Reinforcement methods, which are mainly used in domestic practice to strengthen metal structures, based on adding an additional section to metal elements by bolting or welding them. These methods, of course, are reliable and effective, but they cannot always be applied when it is necessary to preserve not only the building as a whole, but also its original internal and external appearance. Moreover, metal elements increase the stress on the structure and the building as a whole and are susceptible to corrosion and fatigue. There are often cases when it is difficult to fix a reinforcement element to the main structure, both from a technological and constructive point of view.

In these situations, it becomes necessary to reinforce metal structures with high-strength materials with low weight and high manufacturability. Among the various strategies for reinforcing structures, bonding of high-strength composite carbon materials (FRP — Fiber-reinforced polymer) is becoming more and more popular in the world, especially for reinforced concrete structures, although application to

metal structures is also quite common in Europe. But it should be noted that in Ukraine, unfortunately, this material is not yet widely used to strengthen metal structures.

**Problem Statement.** The restoration of metal structures becomes necessary every time there are design, manufacturing or construction errors. Strengthening is also necessary in cases of long-term operation of buildings without timely maintenance and major repairs, insufficient strength of structural materials, as well as changes in weather conditions and current regulatory documents in Ukraine. So there is a need to strengthen metal structures with the most effective methods, both from the point of view of the reliability of building structures and from the point of view of profitability, which is influenced by the long shutdown of enterprises and the halt of the production process to carry out reconstruction work.

**Purpose.** Investigate a modern method of reinforcing metal structures using high-strength carbon fibre-reinforced polymer (CFRP) materials in order to increase the bending capacity of a metal structural element, in particular, to check the reliability of adhesion of a metal beam to a reinforcing layer of TM «Mapei» composite material, which is glued using epoxy-based glue.

**Methods of research.** Experimental testing of metal I-beams reinforced with external reinforcement by gluing high-strength carbon-based material (CFRP) TM «Mapei» by means of a static concentrated load in the middle of the beam span.

**Results.** By analyzing the results of the experimental test, data were obtained indicating that after the inclusion of the carbon fibre-reinforced polymer in the operation, the percentage decrease in vertical deflection at a load of 75 kN was 39.5 %, and the value of the permissible load, taking into account the stiffness condition (checking of building structures the established conditions of limiting deflections), increased by 11.8 %. When testing the phenomena of delamination of the composite from the base was not detected.

**Conclusions.** Reinforcement of steel beams with a carbon fibre-reinforced polymer material led to a decrease in element deformations and, as a consequence, to the possibility of increasing the bearing capacity. An experimental test confirms the theoretical calculations to maximize the bearing capacity of a metal beam using the fibre-reinforced polymer material. A significant effect from the reinforcement of metal structures with composite materials can be achieved when strengthening the building structures of large-span buildings and structures, when reinforcing by traditional methods, they require complex design solutions, high labor costs, stopping the production process to perform reinforcement work, when the weight of the reinforcing structure is often significant.

**Keywords:** composite materials, external reinforcement by gluing, high-strength composite carbon materials, reconstruction; strengthening of metal structures, fiber-reinforced polymer.

УДК 625.7

Єрмакова І. А., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-2658-1857>

Нечипоренко М. В., <https://orcid.org/0000-0001-5462-6947>

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

## ПОВТОРНЕ ВИКОРИСТАННЯ МОСТОВИХ БАЛОК В ЯКОСТІ ПРОГОНОВИХ БУДОВ ТИМЧАСОВИХ МОСТІВ

### *Анотація*

**Вступ.** У даній статті наведено результати дослідження якостей балок, які були у використанні для будівництва тимчасового автодорожнього моста. У практиці мостобудування є необхідність, при будівництві тимчасових автодорожніх мостів на місцевих дорогах, використовувати вживані мостові балки. Важливо при використанні таких конструкцій визначити їх надійність для тривалої експлуатації. Вартість мостових балок складає до 60% вартості нового моста, тому використання таких балок є економічно доцільним.

**Проблематика.** Визначити придатність балок, які були у використанні при будівництві тимчасових мостів та надання рекомендації щодо можливих конструкцій мостів.

**Матеріали та методи.** Під час обстеження проводилися такі роботи:

- візуальний огляд балок на місцях їх зберігання після розбирання;
- вимірювання основних розмірів балок;
- визначення міцності бетону методом неруйнівного контролю;
- визначення кількості робочої арматури і товщини захисного шару.
- проведені виміри рН бетону захисного шару;
- проводилася фіксація наявних дефектів.

У процесі випробувань виконували такі вимірювання:

- загальні переміщення і деформації елементів конструкцій;
- відносні деформації поперечних перерізів;
- місцеві деформації (зміщення у з'єднаннях).

**Результати.** За результатами випробувань та розрахунків визначено несну здатність прогонової будови. Після аналізу результатів експериментально-теоретичних досліджень зроблено висновки відносно експлуатаційних якостей мостових балок прогонової будови.

**Висновки.** Придатними для прогонових будов мостів без застережень можна вважати балки, які мають 1, 2, 3 експлуатаційний стан.

Балки, що знаходяться у 4 експлуатаційному стані, потребують ремонту і підсилення для використання в прогонових будовах. Без ремонту їх використовувати не можна.

Балки, що відносяться до 5 стану, використовувати у прогонових будовах автомобільних мостів не можна. Їх можна застосувати, наприклад, в якості перехідних плит, або для пішохідних мостів і переходів, або використати для відпрацювання технологій ремонту мостових конструкцій.

Таким чином, випробування мостових балок і стиків натурних розмірів свідчать про те, що прийняте конструктивне рішення забезпечує необхідну несну здатність балок і прогонової будови в цілому. Це підтверджує достатню надійність балки, що були у використанні, у подальшій роботі.

Практика показує, що необхідно також приділяти велику увагу: по-перше, способам демонтажу балок без пошкоджень; по-друге, правильному складуванню та зберіганню балок після розбирання.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, балка, міст, прогонова будова.

## Вступ

На даний час, завдяки будівництву нових транспортних розв'язок і мостів, з'явилося питання повторного використання мостових балок, які були застосовані у шляхопроводах і мостах, побудованих в радянський період.

Зважаючи на нинішню економічну ситуацію і ціни на випуск нових мостових балок, можна сказати, що отримання додатково комплектів балок на теперішній час — це серйозний ресурс. У структурі вартості будівництва моста вартість прогонової будови складає близько 60 %, і її більша частина — це виготовлення і монтаж мостових балок. Використання повторно балок від розбирання старих мостів дасть можливість економити значні кошти. Особливо цінний такий ресурс у теперішній час, коли 70 % мостів на дорогах загального користування зношені, багато з них знаходяться у аварійному стані і вимагають негайного ремонту або реконструкції.

Повторне використання мостових балок дозволило побудувати тимчасовий об'їзний міст поряд з мостом через р. Ворскла на км 137+602 автомобільної дороги загального користування державного значення Н-12 Суми – Полтава біля с. Карабазівка Полтавської області та з найменшими затратами коштів, і таким чином забезпечити функціонування транспорту на час капітального ремонту моста.

Для цього необхідно було відібрати з усіх наявних балок ті, що найменш пошкоджені при експлуатації та при розбиранні, і зможуть забезпечити надійну експлуатацію тимчасового мосту.

### **1. Обстеження балок у с. Білоцерківка**

Працівниками Полтавського комплексного відділу ДП «ДерждорНДІ» проводилося обстеження матеріальних ресурсів від розбирання споруд та конструкцій, а саме — мостових балок. Були обстежені конструкції, які залишилися після розбирання мостів на автомобільній дорозі М-03 Київ – Харків – Довжанський біля с. Красногорівка.

Під час обстеження проводилися такі роботи:

- візуальний огляд балок на місцях їх зберігання після розбирання;
- вимірювання основних розмірів балок;
- визначення міцності бетону методом неруйнівного контролю;
- визначення кількості робочої арматури і товщини захисного шару.
- проведені виміри рН бетону захисного шару;
- проведено фіксацію наявних дефектів.

Балки були перераховані, пронумеровані, складений перелік балок та опис їх дефектів. Проводилося фотографування місць зберігання балок, окремих балок та їх дефектів.

При обстеженні балок, які були у використанні, приділялася увага їх відповідності вимогам типового проекту, за яким вони були побудовані.

Обстеження проводилося на місцях зберігання балок. Під час обстеження балки були оглянуті візуально з метою виявлення тріщин, відколів бетону, лущення, усадочних тріщин, руйнування захисного шару, корозії і вилюговування бетону у вигляді іржавих патьоків, сталактитів і висолів на поверхні бетону. Дані візуального огляду фіксувалися за допомогою фотозйомки.

Для вимірювання ширини розкриття тріщин були використані металеві щупи, які являють собою пластинки відповідної товщини.

Для визначення міцності бетону використовувався метод неруйнівного контролю за ДСТУ Б В.2.7-220:2009. В якості вимірювального пристрою використовували механічний склерометр (молоток Шмідта) типу ОМШ-2.

Балки, що підлягали обстеженню, знаходились на території ДРП-9, отримані від розбирання моста через р. Псел на км 277+355 автомобільної дороги М-03 Київ – Харків – Довжанський у серпні 2018 року. Зберігаються 2 роки, і тому не так сильно вражені корозією.

Балки зберігаються під відкритим небом, у штабелях. У штабелі 3-5 балок, покладених

одна на одну на дерев'яних підкладках. Загальна кількість балок — 98 шт., у тому числі 14 шт. — за огороженою територією (відбраковані, з тріщинами і слідами корозії). На території ДРП, таким чином, зберігалось 84 балки П-16,45. З них для будівництва тимчасового моста потрібно було відібрати 48 шт.



Рисунок 1 — Маркування балки П-16,45

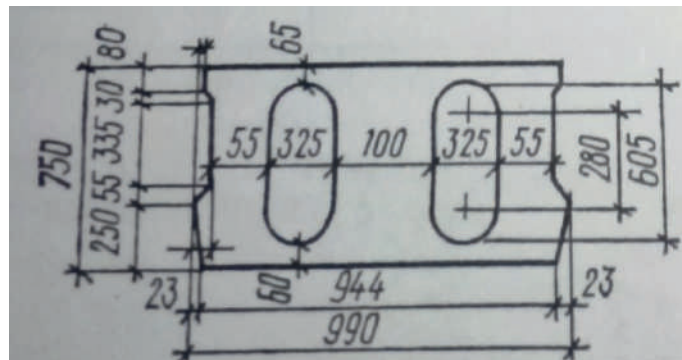


Рисунок 2 — Опалубочні і габаритні розміри балки П-16,45

Згідно з ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009 при обстеженні мостових конструкцій визначається їх технічний стан, в залежності від того, чи мають окремі елементи будь-які дефекти, і які саме.

В даному разі оцінюються окремі елементи моста, які залишилися після розбирання старих транспортних споруд — балки прогонових будов, перехідні плити і тротуарні блоки. Алгоритм оцінки і прогнозування технічного стану складається з таких основних кроків:

- огляд, обстеження елементів мостових конструкцій, виміри, пошук дефектів, визначення характеристик дефектів;
- збір вихідних даних для оцінки і прогнозування технічного стану елементів моста, до яких відносяться і балки, що були у використанні;
- визначення стану балок за класифікаційними таблицями експлуатаційних станів;
- визначення залишкового ресурсу і доцільності повторного застосування цих матеріальних ресурсів.

Експертна експлуатаційна оцінка технічного стану визначається за шкалою безрозмірних

коефіцієнтів  $E$  у 100 балів, залежно від наявності дефектів, передбачених табл. А.3 ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009.

Придатними для прогонових будов мостів без застережень можна вважати балки, які мають 1, 2, 3 експлуатаційний стан.

Балки, що знаходяться у 4 експлуатаційному стані, потребують ремонту і підсилення для використання в прогонових будовах. Без ремонту їх використовувати не можна.

Балки, що відносяться до 5 стану, використовувати у прогонових будовах автомобільних мостів не можна. Їх можна застосувати, наприклад, в якості перехідних плит, або для пішохідних мостів і переходів, або використати для відпрацювання технологій ремонту мостових конструкцій.

## 2. Критерії придатності і відбір балок у с. Білоцерківка

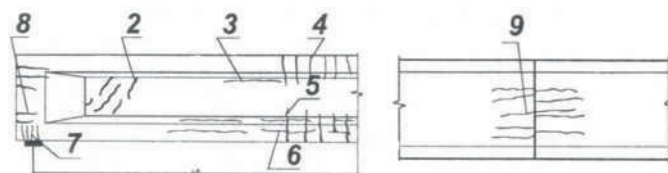
Пошкодження залізобетонних конструкцій неминуче супроводжується тріщиноутворенням. Вивчення тріщин в бетоні, причин їх виникнення, а також можливості ремонту — найбільш важливий момент у загальній проблемі ремонту.

Тріщини не обов'язково свідчать про руйнування конструкції. Поява їх, ширина розкриття, місцезнаходження в елементі — всі ці фактори тільки в цілому виявляють наскільки тріщина є серйозним пошкодженням.

Умовно всі тріщини залежно від їх впливу на роботу конструкції можна поділити на три групи:

- група 1 — тріщини, що не знижують довговічність;
- група 2 — тріщини, що знижують довговічність;
- група 3 — тріщини, що знижують несну здатність.

На **рис. 3** показані характерні типи тріщин в прогонових будовах.



**Рисунок 3** — Характерні тріщини в прогонових будовах мостів

Наведені нижче типи тріщин та їх класифікацію за групами можна назвати класичною (табл. 1) [8].

**Таблиця 1**

**Типи тріщин та їх класифікація за групами**

Тип та номер тріщини	Група
2 — похилі в опорних зонах	3
3 — у місцях сполучення плити і балки	3
4 — у верхній зоні	3 2 (у разі закриття від тимчасових навантажень)
5 — у розтягненій зоні	при корозії арматури — 3; без корозії — 2; при ширині розкриття до 0,3 мм — 1; при ширині розкриття > 0,3 мм — 2
6 — поздовжні у нижній розтягненій зоні	при наявності корозії — 3; в інших випадках — 2
7 — у зоні опорних частин	2

Тип та номер тріщини	Група
8 — у зоні відводу до опор	2
9 — у зоні стиків коробчастих блоків	3

Таким чином, при відборі балок для тимчасового мосту здійснювався візуальний контроль наявності тріщин, їх розташування та ширини розкриття. При цьому відбраковувалися балки, які мали тріщини, що відносяться до 3 групи та знижують несну здатність. Наявність тріщин, що знижують довговічність, допускалася, оскільки строк служби тимчасового моста невеликий, порівняно з капітальною спорудою.

Працівниками ДП «ДерждорНДІ» виконано відбір балок, що були у використанні для тимчасового мосту біля с. Карабазівка.

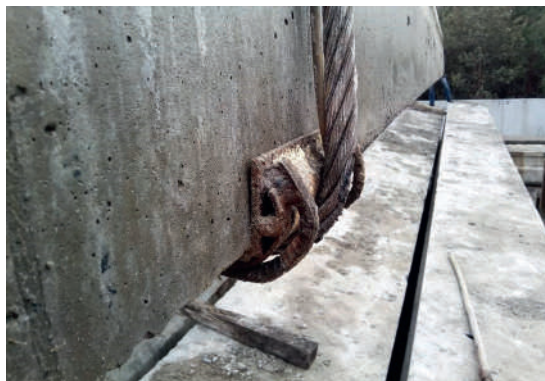


Рисунок 4 — Балки складені для огляду



Рисунок 5 — Працівник Полтавського комплексного відділу ДП «ДерждорНДІ» проводить огляд балки

При виконанні такелажних робіт з мостовими балками важливо дотримуватися правил строповки. Такелажні стропа слід розташовувати в місцях, де за проектом розміщувалися петлі, але в будь-якому разі не далі ніж  $1/6$  довжини прогону від краю балки. Інакше можливе виникнення тріщин у верхній стисненій зоні, якщо кінці балки, що звисають, будуть надто довгими. Також не можна допускати ударів однієї балки об консоль іншої. Для стропування слід використовувати підкладки або інвентарні пристрої, щоб стропа не пошкоджували захисний шар балок і не рвалися.



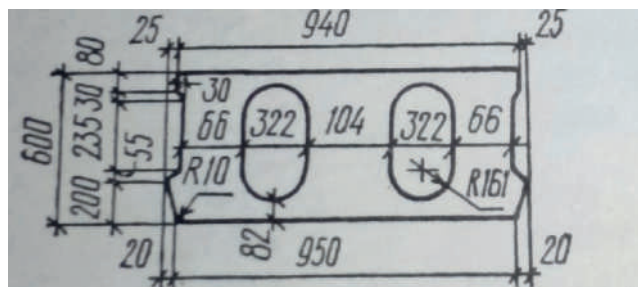
*Рисунок 6* — Приклад стропування балки з інвентарною підкладкою

За результатами відбору було визначено 48 балок, які мали від 1 до 3 експлуатаційного стану. Інші 36 балок відносилися до 4 і 5 стану і не могли бути використані для прогонової будови.

### 3. Відбір балок у с. Мале Ладизине

Двохпустотні балки проекту 3.503-12 384/43 довжиною 12 м, висотою 0,6 м. На торці видно 7 стержнів, діаметр арматурних стержнів 18 мм. Розрахункове навантаження НК-80.

Балки зберігалися на будівельному майданчику біля моста у с. Ладизино на автомобільній дорозі М-03 Київ – Харків – Довжанський. Балки були складені на асфальтованому проїзді одна за одною, в один ряд, на дерев'яних підкладках.



*Рисунок 7* — Опалубочні і габаритні розміри балки П-12.

При відборі балок використовувався гусеничний кран вантажопідйомністю 25 т.

Балки були оглянуті візуально з метою пошуку дефектів та визначення їх впливу на несну здатність конструкції. Тріщини, раковини тощо вимірювалися рулеткою. Ширина розкриття тріщин вимірювалася рулеткою або щупами.

Проводилася фіксація дефектів балок за допомогою електронного фотоапарата.

Оглянуті балки були пронумеровані. Балки, які мали незначні дефекти, одразу завантажувалися на балковоз.

Переважає більшість балок П-12 мала характерні вертикальні тріщини, які вказані на **рис. 10**. Причина появи цих тріщин — неакуратне розбирання підрядником старого моста. Шпонки балок розбивали гідромолотом, а балки розсували екскаватором. Крім того, зберігання балок виконувалося з порушенням технологічних вимог.

У результаті обстеження було виявлено, що переважна кількість балок мають значні дефекти і не можуть використовуватися в прогонових будовах мостів. Було відібрано 6 балок, які мали мінімальні дефекти і найменшу ширину розкриття тріщин.





*Рисунок 8* — Торець балки № 2, видно розташування арматури



*Рисунок 9* — Перекладання балок за допомогою гусеничного крана, проведення вибравочки



*Рисунок 10* — Балка №7. Вертикальна тріщина посередині прогону

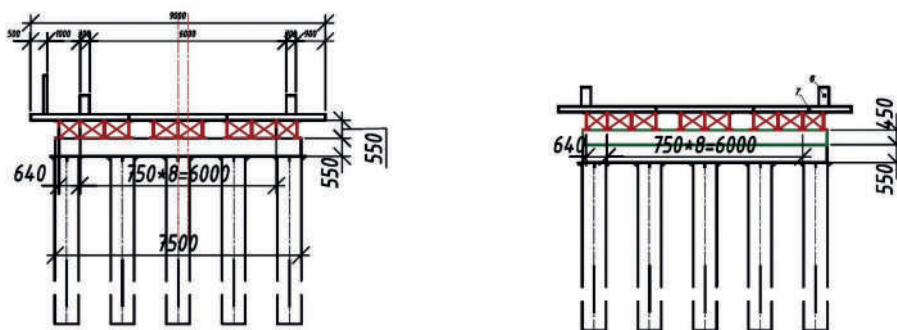
#### **4. Застосування балок, що були у використанні, для будівництва тимчасових мостів.**

##### **4.1 Тимчасовий міст біля с. Карабазівка**

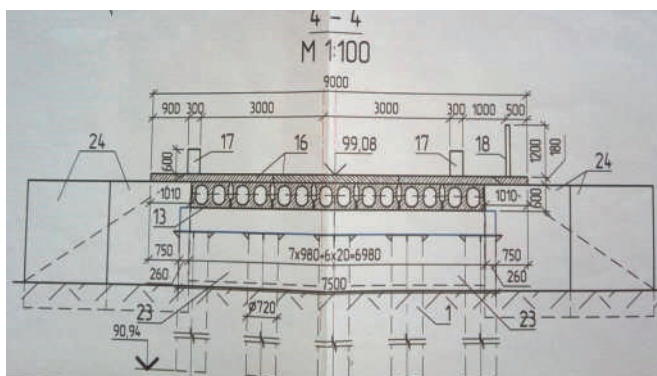
Збудований тимчасовий міст знаходиться поряд з існуючим на автомобільній дорозі загального користування державного значення Н-12 Суми – Полтава на км 137+602 через річку Ворскла.







**Рисунок 16** — Поперечний переріз 1-1 (зліва) та поперечний переріз 2-2 (справа)



**Рисунок 17** — Поперечний переріз крайнього прогону довжиною 9 м з б/у балок П-12

У результаті обстеження було відібрано 6 балок П-12, які мали незначні дефекти і мінімальне розкриття тріщин. Балки були використані в якості крайнього прогону тимчасового моста, суміщеного з перехідними плитами. Це крайній прогон зі сторони смт. Опішня.

При цьому прогін був зменшений з 12 м до фактичних 9 м.

Для будівництва мосту необхідна була більша кількість балок, але ті, що залишилися, були з надмірно великими дефектами, що робило неможливим їх використання.

Було вирішено, що додатково 2 балки для улаштування крайнього прогону фірма-підрядник МСУ-3 привезе з м. Києва, де фірма мала запас таких елементів.

Для іншого крайнього прогону (зі сторони Сорочинців) були використані балки довжиною 6 м і висотою 0,3 м із запасів фірми-підрядника. Балки були привезені з м. Київ.



**Рисунок 18** — Загальний вигляд будмайданчика при спорудженні тимчасового моста



*Рисунок 19* — Прогонова будова і опора тимчасового моста



*Рисунок 20* — Прогонова будова із б/у балок П-12



*Рисунок 21* — Фасад змонтованого прогону довжиною 9 м. На довжині 3 м від берегової опори балки лежать на лежні із залізобетонних плит



*Рисунок 22* — Опора і ригель тимчасового моста



*Рисунок 23* — Загальний вигляд побудованого тимчасового моста



*Рисунок 24* — Покриття із збірних плит на прогонових будовах з металоконструкцій

## Висновки

У науковій роботі доведена можливість використання мостових двохпустотних балок проекту 3.503-12 випуск 21 інв. номер 384/43, довжиною 12 м, та двохпустотних балок індивідуального проектування довжиною 16,45 м, що були у використанні на дорогах державного значення, для будівництва тимчасових об'їздних мостів.

Визначено, що після багатьох років служби балки все ще мають достатню несну здатність та невелику кількість дефектів і задовольняють вимогам за вантажопідйомністю згідно типового проекту. Нормативне навантаження від рухомого складу для таких балок А-11, НК-80.

Повторне використання мостових балок дозволило побудувати тимчасовий об'їздний міст поряд з мостом через р. Ворскла на км 137+602 автомобільної дороги загального користування державного значення Н-12 Суми – Полтава біля с. Карабазівка Полтавської області та тимчасовий об'їздний міст поряд з мостом через р. Псел на км 74+827 автомобільної дороги загального користування державного значення Р-42 Лубни – Миргород – Опішня біля с. Баранівка, Полтавська область з найменшими затратами коштів, і таким чином забезпечити функціонування транспорту на час капітального ремонту мостових споруд.

Придатними для прогонових будов мостів без застережень можна вважати балки, які мають 1, 2, 3 експлуатаційний стан.

Балки, що знаходяться у 4 експлуатаційному стані, потребують ремонту і підсилення для використання в прогонових будовах. Без ремонту їх використовувати не можна.

Балки, що відносяться до 5 стану, використовувати у прогонових будовах автомобільних мостів не можна. Їх можна застосувати, наприклад, у якості перехідних плит, або для пішохідних мостів і переходів, або використати для відпрацювання технологій ремонту мостових конструкцій.

Таким чином, випробування мостових балок і стиків натурних розмірів свідчать про те, що прийняте конструктивне рішення забезпечує необхідну несну здатність балок і прогонової будови в цілому. Це підтверджує достатню надійність балки, що були у використанні, у подальшій роботі.

Практика показує, що необхідно також приділяти велику увагу: по-перше, способам демонтажу балок без пошкоджень; по-друге, правильному складуванню та зберіганню балок після розбирання.

## Список літератури

1. ДБН В.2.3-6:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування. Київ. 2009. 37 с. (Інформація та документація).
2. ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2009 Споруди транспорту. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ. 2009. 56 с. (Інформація та документація).
3. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ. 2015. 115 с. (Інформація та документація).
4. ДБН В.2.3-22:2009 Мости та труби. Основні вимоги проектування. Київ. 2009. 39. (Інформація та документація).
5. ДБН В.1.2-15:2009 Мости та труби. Навантаження і впливи. Київ. 2009. 29 с. (Інформація та документація).
6. СН 200-62 «Технические условия проектирования железнодорожных автодорожных и городских мостов и труб». Москва. 1962. 115 с. (Інформація та документація).
7. Типовой проект серии 3.503-12 выпуск 21, инвентарный номер 384/43 «Унифицированные сборные пролетные строения из предварительно напряженного железобетона для мостов и путепроводов на автомобильных и городских дорогах».

8. Страхова Н. Є., Голубєв В. О., Ковальов П. М., Тодірика В. В. Експлуатація і реконструкція мостів. – Київ. 2002. 408 с.
9. Кручинкин А. В. Сборно-разборные временные мосты. Москва, 1987. 191 с.
10. Инструкция по уширению автодорожных мостов и путепроводов. ВСН 51-88. М.: Транспорт, 1990. 128 с.

## References

1. DBN V.2.3-6:2009 Transport structures. Bridges and culverts. Inspection and tests. Kyiv. 2009. 37 p. (Information and tests).
2. DSTU -N B.V.2.3-23:2009 Transport structures. Guidelines for evaluation and forecasting of the technical state of road bridges. Kyiv. 2009. 56 p. (Information and documents).
3. DBN V.2.3-4:2015. Highways. Part I. Designing. Part II. Construction. Kyiv. 2015. 11 p. (Information and documents).
4. DBN V.2.3-22:2009 Bridges and culverts. Kyiv. 2009. 9 p. (Information and documents).
5. DBN V.1.2-15:2009 Bridges and culverts. Loadings and impacts. Kyiv. 2009. 29 p. (Information and documents).
6. SN 200-62 Technical specification of designing of railway, road and urban bridges and culverts. Moscow 1962. 115 p. (Information and documents).
7. Typical design -Series 3.503-12 issue 21, inventory number 384/43 “Unified prefabricated bridge span structures made of pre-stressed reinforced concrete for bridges and overpasses on highways and urban roads”.
8. N.E. Strakhova, V.O. Holubev, P.M. Kovalev, V.V. Todirika. Operation and reconstruction of bridges. Kyiv, 2002. 408 p.
9. A.V. Kruchinkin - Prefabricated-dismountable temporary bridges. Moscow, 1987. 191 p.
10. Guidelines for road bridges and overpasses widening. VSN 51-88. Moscow: Transport, 1990. 128 p.

---

**Inna Yermakova, Ph.D.,** <https://orcid.org/0000-0002-2658-1857>

**Maksym Nechyporenko,** <https://orcid.org/0000-0001-5462-6947>

*M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine*

## REUSE OF BRIDGE GIRDERS AS BRIDGE SPAN STRUCTURES OF TEMPORARY BRIDGES

### ***Abstract***

**Introduction.** This article presents the results of study of the quality of girders that were used for the construction of temporary road bridge. In the bridge construction practice there is a need to use girders in the construction of road bridges on local roads that can be reused in temporary bridges construction. It is important when using such structures to determine their reliability for long-term operation.

The cost of bridge girders is up to 60% of the cost of a new bridge, so the reuse of utilized girders is economically feasible. Utilized girders can be reused on local roads and temporary bridges.

**Problem statement.** To determine the usability of utilized girders in temporary bridges construction and provide recommendations for the girders reuse and possible bridge design structures.

**Materials and methods.** The following works were performed during the inspection:



- visual inspection of the girders at places of their storage after dismantling;
- measurement of the basic sizes of girders;
- determination of concrete strength by non-destructive test method;
- determination of the number of working reinforcement and the protective layer thickness;
- measurements of pH of concrete of a protective layer were performed;
- registration of existing defects was performed.

The following measurements were performed during the tests:

- general displacements and deformations of structural elements of the structures;
- relative deformations of cross sections;
- local deformations (displacements in joints).

**Results.** According to the results of tests and calculations, the bearing capacity of the bridge span structure was determined. After analyzing the results of experimental and theoretical studies, conclusions were made regarding the operational performance of the girders of the bridge span structure.

**Conclusions.** Girders in the 1<sup>st</sup>, the 2<sup>nd</sup> and the 3<sup>rd</sup> technical state can be considered suitable for bridge span structures unreservedly.

Girders in the 4<sup>th</sup> technical state, need repairing and reinforcement for reuse in bridge span structures. They cannot be used without repairing.

Girders in the 5<sup>th</sup> technical state cannot be used in the span structures of road bridges. They can be used, for example, as transition slabs, or for pedestrian bridges and crossings, or can be used for testing the technology of bridge structures repairing.

Thus, tests of bridge girders and full-size joints testify that the accepted design decision provides the needed bearing capacity of girders and of the bridge span structure as a whole. This confirms the sufficient reliability of utilized girders in the further work.

Practice shows that it is also needed to pay great attention to the following: firstly- to the methods of dismantling the girders without damage; secondly — to the proper storage of girders after dismantling.

**Keywords:** road, girders, bridge span structure, bridge.

УДК 625.7/.8

Онищенко А. М., *д-р техн. наук, доц.*, <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

Гаркуша М. В., *канд. техн. наук*, <https://orcid.org/0000-0002-5388-0561>

Клименко М. І., <https://orcid.org/0000-0002-7967-5881>

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

---

## АНАЛІЗ ПРОЄКТУВАННЯ ТА БУДІВНИЦТВА ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД ТРАНСПОРТНОГО БУДІВНИЦТВА У ВИГЛЯДІ ВОДОПРОПУСКНИХ ТРУБ З ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

### *Анотація*

**Вступ.** Застосування сучасних матеріалів в дорожній галузі все частіше зустрічається при будівництві автомобільних доріг, одним із сучасних матеріалів є застосування полімерних водопропускних труб. У роботі проведено аналіз застосування пластикових водопропускних труб на автомобільних дорогах. Наведено загальні положення проєктування та будівництва гідротехнічних споруд у вигляді водопропускних труб з полімерних матеріалів на автомобільних дорогах. Наведено існуючий гідравлічний розрахунок, міцнісні розрахунки водопропускних труб з полімерних матеріалів на автомобільних дорогах.

**Проблематика.** Із літературного аналізу встановлено, що водопропускні труби з полімерних матеріалів на автомобільних дорогах перебувають у складних умовах експлуатації, які відрізняються від умов експлуатації залізобетонних та металевих труб.

**Мета.** Полягає в дослідженні ефективності застосування водопропускних труб з полімерних матеріалів.

**Результати.** Проведено аналіз фізико-механічних властивостей водопропускних труб з полімерних матеріалів на автомобільних дорогах. Наведено методи розрахунку водопропускних труб з полімерних матеріалів на автомобільних дорогах. У результаті проведених досліджень виконано аналіз ефективності застосування водопропускних труб з полімерних матеріалів на автомобільних дорогах.

На основі проведених досліджень встановлено основні вимоги до водопропускних труб з полімерних матеріалів на автомобільних дорогах.

**Висновки.** Результати досліджень знайшли застосування при розробленні плану експериментальних досліджень для удосконалення нормативних документів для проєктування, будівництва та ремонту водопропускних труб з полімерних матеріалів на автомобільних дорогах. Застосування полімерних труб дозволить приймати в проєктах автомобільних доріг прогресивні технічні рішення з влаштування водовідводу.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, водопропускна труба, гідротехнічна споруда, довговічність, транспортне будівництво.

### **Актуальність роботи**

Водопропускні споруди з використанням труб є найважливішими конструктивними елементами автомобільних і залізних доріг. Від їх належного функціонування залежить загальний стан дороги і забезпечення безпечного руху по ній транспорту. Їх кількість доходить до 90 % від загальної кількості всіх транспортних споруд. У середньому на 1 км дороги мають не більше 1 м водопропускної труби [1, 2].

Останнім часом відбувається прогресуюче погіршення стану водопропускних споруд. Такий стан, поряд з впливом навколишнього середовища, фізичним зносом, старінням матеріалів і конструкцій тощо, викликається зростаючими обсягами автомобільних перевезень, підвищенням осевих навантажень [1, 2].

Незадовільний або аварійний стан мають понад 40 % всіх водопропускних труб. На водотоках експлуатується велика кількість труб, багато з яких через свій фізичний стан, за водопропускної здатності або з інших причин потребують реконструкції аж до перебудови на нові споруди.

Основними матеріалами для влаштування водопропускних труб в даний час служать залізобетон і гофрована сталь, що мають суттєві недоліки в процесі монтажу і експлуатації.

До мінусів залізобетонних труб можна віднести обмежений розмір поперечного перерізу, обмежену довжину і, як наслідок, велику кількість стикувальних швів, які потребують ретельної гідроізоляції, значну вагу, активні процеси вилугування, що призводять до руйнування [1, 2].

Що стосується сталевих труб, то, порівняно із залізобетонними, вони мають меншу вагу. Але в процесі будівництва йде багато часу на складання конструкцій, так як сталеві водопропускні труби монтуються з окремих ланок за допомогою болтового з'єднання. Використання оцинкованих гофрованих труб не гарантує довговічність конструкцій з огляду на те, що в процесі експлуатації відбувається стирання захисного покриття і надалі відбувається катастрофічно швидка корозія основного металу.

Останнім часом для ремонту і будівництва водопропускних споруд широко використовуються полімерні труби великих діаметрів, що володіють цілим рядом переваг порівняно з аналогами із залізобетону і сталі [1, 2].

### **Історичний опис застосування водопропускних труб з полімерних матеріалів**

Історично водопропускні споруди представляли собою відкриті канали і споруди з каменю, цегли або дерева, застосовувалися також труби з різних металів. У кінці 19-го століття з'явилися водопропускні споруди із залізобетонних труб. У середині 20-го століття було винайдено нове рішення — полімерні труби, які дозволили швидко будувати довговічні і надійні водопропускні споруди. За короткий проміжок часу були розроблені і використані труби з полівінілхлориду (ПВХ), поліетилену, поліпропілену і різних їх похідних [1–3].

У 50-х роках усі розвинені країни світу почали проводити дослідження із застосуванням у дорожньому будівництві труб з синтетичних матеріалів (полімербетони, склопластики, полівінілхлорид тощо), які забезпечують водонепроникність, хімічну стійкість. На той час, основним недоліком цих матеріалів вважалося, що існує зміна фізико-механічних властивостей у часі [1, 2].

Гофрована пластикова труба є однією з найпоширеніших полімерних труб, що використовується для осушення земель у США [4]. Перше застосування гофрованих полімерних труб припадає на кінець 1960-х, у той час застосовувалися труби з діаметром від 7,5 см до 10,0 см, які використовувалися переважно для сільськогосподарських угідь в якості дренажу. Протягом 1970-х років використання гофрованих пластикових труб значно збільшилася, діаметр труб збільшився до 37 см, та розпочалося широке застосування гофрованих полімерних труб для відведення води від автомобільної дороги, в якості дренажних труб та труб для відведення стоків. Із введенням 45 см та 60 см труб у 1981 році, гофровані пластикові труби почали застосовувати у гірничодобувній галузі, для доріг та проїздів [4].

У 1963 році виробництво полімерних труб у Північній Америці практично було відсутнє, у 2012 року — у США, Канаді та Мексиці обсяг перевищив 900 тис. тонн [5].

Перші проекти дорожнього будівництва з використанням гофрованих поліетиленових труб в США при будівництві автомагістралей були реалізовані на початку 1970-х рр. в Айові і Джорджії.

Департамент транспорту Джорджії був першим, ввівши полімерні гофровані труби в специфікації, розроблені на основі стандарту ASTM F 405 для сільськогосподарських дренажних систем [6, 7].

У червні 1976 року Федеральне управління шосейних доріг випустило звід правил, що регламентує використання, монтаж і характеристики труб, в який були включені і гофровані поліетиленові труби [7].

У тому ж 1976 році в аеропорту Джексонвілл, Флорида, був реалізований перший великий проєкт із застосуванням поліетиленових гофрованих труб в аеродромному будівництві. З тих пір поліетиленові гофровані труби широко використовуються для прокладки дренажних мереж, зливової каналізації та водовідведення в багатьох аеропортах по всій території США [5].

У наприкінці 1979 року діапазон діаметрів вироблених труб розширився до 375 мм.

Зростання обсягів використання полімерних труб і розширення областей застосування прискорилися після 1981 року з появою труб діаметрами 450 мм і 600 мм. У вересні 1981 року Департаментом транспорту Огайо була прокладена перша відома поліетиленова водопрпускна труба під одним з шосе на південному заході штату. Через високу кислотність ґрунтових вод ( $\text{pH} < 4$ ) труби в цьому місці швидко виходили з ладу, і кожні 2–5 років їх доводилося міняти. Встановлена замість них поліетиленова труба працює вже 40 років, і ніяких видимих змін в ній не відбулося. Протягом декількох років Департамент транспорту штату замінив труби з інших матеріалів на гофровані поліетиленові в тих районах, де корозійна активність ґрунтових вод створювала проблеми для водопрпускних систем [5].

У 1979 р. були проведені польові випробування навантаження в м. Гамільтон, штат Огайо, щоб оцінити структурні показники 30 см (12-дюймової) гофрованої поліетиленової труби для різних типів водопрпускних установок.

У США були проведені польові випробування у м. Лондоні, штат Огайо, університетом штату Юта (USU) у співпраці з Advanced Drainage Systems Inc., щоб дослідити вплив проходження важких вантажів над неглибоким заляганням гофрованих поліетиленових труб. Також USU була проведена додаткова серія тестів із використанням випробувальної камери. Тести були проведені лабораторією з випробувань Уодсворта Кантона, штат Огайо та USU функціонально еквівалентних гофрованих труб із сталі, алюмінію та поліетилену. Дані дослідження показали, що водопрпускні труби здатні сприймати підвищені навантаження [1, 4].

Наступним кроком у використанні поліетиленових труб і розширенні областей їх застосування стала поява в 1987 році технології виробництва двошарових гофрованих труб з гладким внутрішнім шаром. Крім кращої пропускної здатності за рахунок значного зниження коефіцієнта шорсткості, нові труби мають набагато більшу поздовжню жорсткість, що істотно спростило їх монтаж [5].

У цей же час відбувалося подальше збільшення діаметрів вироблених труб: у 1987 році з'явилися труби діаметрами 750 мм і 900 мм, в 1991 році — 1 050 мм і 1 200 мм, у 1998 році — 1 500 мм. Труби таких діаметрів виготовлялися тільки двошарової конструкції, з гладкою внутрішньою стінкою. Перш ніж впровадити кожен новий типорозмір труб у практику дорожнього будівництва, служби експлуатації Департаментів транспорту різних штатів США проводили випробування їх зразків в умовах реальних транспортних навантажень. Найважливішим результатом цих робіт стали дані про відносну ефективності поліетиленових труб порівняно з трубами з інших матеріалів, які раніше проходили аналогічні випробування в таких самих умовах і за тими ж методиками. Ці порівняння показали, що поліетиленові труби з профільованою стінкою можуть перевершувати за робочими характеристиками «гладкі» труби з більш жорстких матеріалів [8–12].

Позитивні властивості полівінілхлориду (легкий, питома вага — 1,55 г/см<sup>3</sup>, міцність —  $R_y = 75$  МПа, діелектричність, зпаюваність, склеюваність тощо) можна покращити властивості шляхом введення добавок (армування поліефірною смолою, підсилення склопластиком) [1, 2].

У процесі будівництва і експлуатації були помічені і недоліки деяких матеріалів, наприклад, ПВХ не завжди відповідав необхідним експлуатаційним параметрам, у першу чергу за рахунок підвищеної крихкості і низької морозостійкості, у той час як марки поліетилену постійно вдосконалювалися [1–3].

Недоліком полімерних матеріалів є велика величина коефіцієнта Пуассона ( $\mu = 0,4$ ), що не дозволяє об'єднувати ці матеріали зі сталлю та бетоном у районах з великими температурними перепадами [1, 2].

На даний момент поліетилен володіє оптимальним поєднанням фізико-хімічних властивостей: висока хімічна стійкість, морозостійкість, в'язкість, довговічність, здатність до самокомпенсації внутрішніх напружень і багато інших властивостей. В останні роки прогрес був спрямований в бік створення більш легких типів труб з високою кільцевою жорсткістю і найкращим співвідношенням «жорсткість/матеріаломісткість» порівняно з іншими матеріалами [2].

### Аналіз нормативної бази

Розвиток і впровадження будь-якої трубної продукції безпосередньо залежить від розвитку відповідної нормативної бази. У США основними розробниками стандартів, пов'язаних з трубами, є Американська асоціація службовців державних автодоріг (AASHTO) і Американське товариство фахівців з випробувань та матеріалів (ASTM).

Великий вплив на розвиток дорожньої галузі надали стандарти, розроблені AASHTO. Ними керуються багато державних структур, зокрема, Департаменти автодоріг штатів, Федеральне управління автомобільних доріг, Федеральне управління цивільної авіації, Інженерний корпус збройних сил США тощо [10].

Вимоги до проектування бетонних водопропускних труб на автомобільних дорогах регулювалися у кожній з версій рекомендацій Департаменту транспорту та розвитку США (DOTD) з 1929 року по 1955 рік [10], а з 1966 року по теперішній час був прийнятий стандарт ASTM C76 [13] для визначення вимог для бетонних водопропускних труб, їх мінімальної товщини стінок, міцності бетону на стиск та вимог до армування.

Лише до 1977 року специфікації DOTD включали пластикові труби як альтернативу для водовідведення, зокрема включаючи гофрований поліетилен (PE) (AASHTO M252 [7]) або полівінілхлорид (PVC) (ASTM D3034 [14]). Найновіша версія специфікацій розширює використання пластикових труб для водопропускних труб та зливових стоків. Перелік матеріалів також розширений і може включати полівінілхлоридні труби (PVC) (ASTM D3034 [14]), ребристі полівінілхлоридні труби (RPVCP) (ASTM F794 [15]), гофровані поліетиленові труби з однією стінкою (CPEPSW) (AASHTO M252 [7]) та гофровані поліетиленові труби з подвійною стінкою (CPEPDW) (AASHTO M294 [16]). З'єднання двох пластикових труб повинно виконуватися за допомогою головок та патрубків або роз'єднаних смуг з'єднання. Кінці повинні бути повністю відцентровані, а внутрішні поверхні повинні бути рівними. Щоб уникнути протікання або фільтрації в ґрунт, необхідно встановити ущільнювач з матеріалом прокладки.

AASHTO розробляє стандарти не тільки на матеріали, а й на проектування, будівництво та програми забезпечення якості [10].

Якість поліетиленових труб і їх відповідність стандартам контролюється в рамках Національної програми оцінки дорожніх матеріалів (NTPEP), розробленої і реалізованої AASHTO. Програма передбачає випадковий відбір зразків труб у виробників — учасників програми — для проходження повного циклу випробувань, передбачених AASHTO M294 [16], в двох незалежних лабораторіях.

Серед основних документів в Австралії та Новій Зеландії, що регламентують влаштування

водопропускних труб є AS/NZS 1254 [17], AS/NZS 1260 [18], AS 1273 [19], AS 5100 [20], AS / NZS 3500 [21, 22–30].

Австралія та Нова Зеландія мають ряд спільних нормативних документів, та специфікацій, серед яких TNZ F/2 [31], TNZ F/3 [32], щодо проектування водопропускних труб з полімерних матеріалів на автомобільних дорогах, що розраховані для людей, які відповідають і потребують розуміння проектування, будівництва та обслуговування систем водовідведення доріг. NZTA F/2 застосовується для труб з високою щільністю, гладкою перфорацією та для гофрованих пластикових труб. NZTA F/3 відноситься до труб для спорудження водопропускних труб, а також допускає перфоровані поліетиленові труби, які виготовлено за типом 1 або типом 2, як визначено в AS 2439 [33]. Специфікації розроблено Транспортним агентством Нової Зеландії (NZTA). В Австралії та Новій Зеландії конструкція водопропускних труб повинна відповідати Оклендському транспортному кодексу (ATCOP) [34].

Труби з полівінілхлориду (ПВХ) поділяються на:

- (a) ПВХ-U (непластифікований полівінілхлорид);
- (b) ПВХ-M (модифікований полівінілхлорид);
- (c) ПВХ-O (орієнтований полівінілхлорид);
- (d) ПВХ-C (хлорований полівінілхлорид).

Варто зазначити, що поліетиленові та поліпропіленові труби є у широкій наявності, але наразі не схвалені для використання в якості водопропускних труб під дорогою з високою інтенсивністю (Технічна примітка департаменту транспорту та магістральних доріг 103 Руйнування пластикових труб під дорогами, залізницями та подібною інфраструктурою) [35].

Матеріали водопропускної труби вибираються залежно від необхідної конструкції, міцності, гідравлічного розрахунку, довговічність та корозієстійкості та стійкість до стирання, що необхідна для конкретних умов [36, 37]. Федеральна Адміністрація автомобільних доріг США (FHWA) опублікувала правила в Федеральному реєстрі та зобов'язала з грудня 2006 р. враховувати при проектуванні водопропускних труб застосування їх з альтернативних матеріалів, включаючи пластик та гофрований алюміній, які мають задовільну якість і вважаються однаково прийнятними на основі інженерно-економічного аналізу [36, 37]. Тому, використання термопластичних труб для водопропускних труб та магістралей стало вагомим збільшуватися [36, 37], однак в ряду інженерів-проектувальників залишаються сумніви, щодо застосування полімерних труб під магістральними дорогами. Термопластичні труби все ще відносно нові продукти для інженерів-будівельників, які віддають перевагу трубам зі сталі та бетону [36, 37]. Як і будь-який новий матеріал, який не оцінювався протягом строку служби, виникають питання щодо структурної міцності, а також довгострокової експлуатації термопластичних труб [36, 37]. Тому довговічність труб з полімерів повинна бути ще вивчена в процесі їх експлуатації.

У роботі Йонг Ханга [36], узагальнено результати дослідження, щодо використання термопластичних труб, а саме поліетилену високої щільності (HDPE) та полівінілхлориду (PVC), для водопропускних споруд під автострадами. У дослідженні оцінювалися труби діаметром від 0,3 м до 1,5 м під впливом транспортного навантаження. Робота складалася з трьох основних етапів: (1) комплексний огляд літератури, (2) аналітичне дослідження допустимих висот заповнення термопластичних труб та (3) польове дослідження для спостереження за монтажем та роботою труби в умовах експлуатації.

Одним з важливих питань, що стосується труб з HDPE та PVC, є те що вони складаються з в'язкоеластичних матеріалів, на яких вплив від навантаження значно відрізняється від навантажень, лінійних, пружних матеріалів (бетон, сталь) [38].

Важливою характеристикою пластикових труб є їх пластичність, вони мають здатність змінювати свою геометрію понад на 2 % без жодних структурних руйнувань, при цьому здатні

стриймати транспортне навантаження через насип [36].

Жорсткі труби сприймають навантаження ґрунту за рахунок власної міцності труби, на відміну від пластикових, які здатні деформуватися без руйнування та передавати вертикальне навантаження на ґрунт навколо труби [36].

Робота пластикових труб включає прогин, викривлення стінки, напруження стінки та деформацію стінки [36], тоді як розрахунок жорстких труб є сила.

Важливим фактором експлуатації пластикових труб є вплив транспортного навантаження через ґрунтовий насип, що впливає на їх розрахунок, встановлено мінімальну товщину ґрунтового насипу, який знаходиться в діапазоні від 0,3 м до 0,9 м [36]. Як правило, насип складає приблизно від 0,9 м до 1,2 м [36], у деяких країнах становить понад 15 м [36].

У проєктах, де були виявлені проблеми з трубами причиною найчастіше вважали їх погане монтування [36]. Хоча існують належні процедури будівництва труб, найважливіший атрибут продуктивності труб, труба повинна відповідати специфікаціям матеріалів, визначеним AASHTO.

Паулі Колісоя [39] було проведено серія 3D моделювання методом скінченних елементів дослідження впливу різних факторів, що впливають на деформування полімерних труб від транспортного навантаження. Застосовану імітаційну модель перевірили натурними випробуваннями навантаження, проведеними на декількох фактичних місць установки водопропускної труби в Фінляндії. За результатами дослідження можна зробити висновок, що як глибина монтажу, так і якість матеріалу, що оточує водопропускну трубу, мають домінуючий вплив на деформації труби, а вплив якості матеріалу водопропускної труби та типу шини, що передає навантаження від колес, значно менший [39].

У даний час Департамент транспорту всіх штатів США дозволяють, при певних умовах, використання гофрованих поліетиленних труб. Федеральне управління автомобільних доріг, Федеральне управління цивільної авіації, Інженерний корпус збройних сил і інші відомства включають їх в свої специфікації. Федеральне агентство з надзвичайних ситуацій (FEMA) випустило керівництво по застосуванню гофрованих поліетиленних труб в будівництві дамб.

У 1984 році в Німеччині було розроблено (і регулярно оновлюється) керівництво щодо забезпечення методики, за якою проводяться статичні розрахунки різних підземних споруд. Підбір та експертиза правильності вибору трубопроводів відповідно до ATV-DVWK-A127 [40] дозволяє врахувати всі підземні навантаження, які будуть діяти на комунікації, установки і агрегати. Також дана система дозволяє провести експертизу проєкту і визначити, наскільки прийняті інженерні рішення адекватні конкретній інженерно-геологічній ситуації. За допомогою керівництва можна визначити придатність пропонованого рішення для конкретної ситуації. Керівництво описує умови роботи споруд з бетону, металу, склопластику, ПВХ, і різні термопластичні (ПЕ, ПП) споруди. У Німеччині надання замовнику розрахунків згідно керівництва є обов'язковою умовою.

Принципи та вимоги до проєктування та будівництва дорожніх труб і допоміжних водовідвідних споруд із синтетичних матеріалів в Україні розроблені з урахуванням ДБН В.2.3-14 [41] та ДБН В.2.3-4 [42].

Проєктний строк служби водовідвідних дорожніх труб із синтетичних матеріалів становить 50 років.

Розташування труби в плані повинно відповідати вимогам ДБН В.2.3-4 [42] та поширюється на проєктування та будівництво труб з отвором від 0,5 м до 2,5 м і допоміжних водовідвідних споруд із синтетичних матеріалів під насипом автомобільних доріг для перепуску водотоків на автомобільних дорогах загального користування.

Проєкт дорожньої труби має бути розроблено так, щоб мінімізувати можливість її руйнування у результаті аварій транспорту та людських помилок при експлуатаційному догляді.

Проєктні рішення повинні забезпечувати відсутність потенційних ушкоджень або

обмежувати їх вплив на споруду шляхом вибору раціональних конструктивних форм. Зменшення і контроль ризику досягаються застосуванням таких принципів:

- застосовувати конструктивні схеми та конструкції оголовків і відмостки, які дали б змогу усунути або зменшити потенційний ризик пошкодження чи руйнування насипу, а відтак і тіла самої труби;

- статичну схему споруди належить вибирати такою, щоб вона була мінімально чутливою до непередбачених змін у впливах і навантаженнях (наприклад, осідання ґрунту, проїзд наднормативних навантажень тощо);

- споруда має бути життєздатною: конструкція і конструктивна схема мають бути такими, щоб при ушкодженні одного із елементів споруди (наприклад, просідання фундаменту) вона могла ще деякий час, визначений періодом обстеження, виконувати свої функції і не була раптово зруйнованою.

Вимоги надійності і довговічності будуть задовольнятися, якщо проєкт буде виконано згідно з СОУ 45.2-00018112-045 [43], який встановлює такі вимоги до процесу проєктування дорожніх труб із синтетичних матеріалів:

- належний вибір матеріалів та їх коефіцієнтів надійності;
- достовірність фізико-механічних властивостей ґрунту основи;
- оцінка гідрологічних впливів із заданою забезпеченістю;
- належне визначення розрахункових комбінацій навантажень та відповідних коефіцієнтів надійності;

- перевірка елементів за граничними станами I та II груп;
- належне конструювання елементів дорожньої труби.

Дорожні труби розраховують на пропуск водяного потоку та міцність і стійкість конструкції труби. Розрахунки на міцність і стійкість виконуються за методом граничних станів. Розглядаються дві групи граничних станів, за межами яких споруда або її елемент не задовольняє вимогам експлуатації:

- I група — за повною неможливістю експлуатації конструкцій, основ або втратою несної здатності дорожньої труби в цілому;

- II група — за перешкодами до нормальної експлуатації, зменшенню проєктної довговічності дорожньої труби.

### **Аналіз методів розрахунку дорожніх водопропускних труб з полімерних матеріалів**

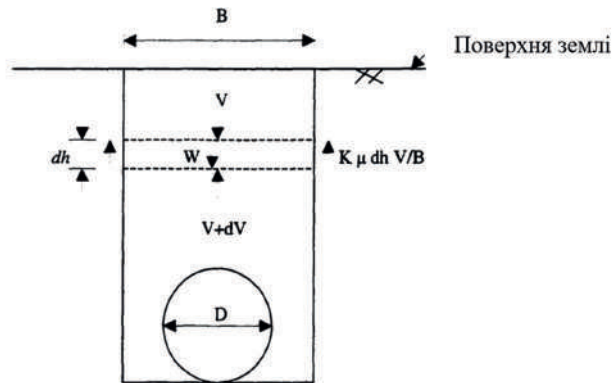
Умовно дорожні водопропускні труби можна класифікувати як гнучкі або жорсткі, залежно від того, як вони працюють після монтажу. Гнучкі труби мають здатністю рухатися або відхилятися, під навантаженням без структурних пошкоджень, у момент експлуатації. Основним матеріалом для гнучких труб є поліетилен, полівінілхлорид, сталь та алюміній. Жорсткі труби класифікуються як труби, які не можуть відхилятися більше ніж на 2 % (від проєктного положення) без значних структурних дефектів, у вигляді розтріскування, у момент експлуатації.

I гнучкі, і жорсткі труби вимагають належного засипання їх ґрунтом, щоб забезпечити передачу навантаження від труби на ґрунт, хоча ця взаємодія відрізняється в залежності від видів і типів труб. Коли на гнучку трубу діє навантаження від транспорту та власної ваги ґрунту засипки, напруження, в основному, передаються на бічний ґрунт засипки, у той час як при навантаженнях жорстких труб, навантаження передається через стінку труби на ґрунт основу на якій знаходиться труба [11].

Марстон А. у 1913 р. [44] опублікував свою теорію (нині відому як теорія навантаження Марстона) про те, як визначити вертикальні навантаження, які сприймає дорожня труба. Відповідно



до цієї теорії, матеріал засипки має тенденцію до ущільнення та осідання вниз відносно рідного ґрунту навколо каналу розриту. Цей відносний рух створює зсув (тертя), що діє вгору. Ним було побудовано схему засипки траншеї **рис. 1**, яка складається з горизонтального тонкого елемента ґрунту товщиною  $dh$  у каналі, сили, що діють на елемент ґрунту, — це вертикальне навантаження на верхній межі ( $V$ ), вертикальне навантаження на нижній межі ( $V+dV$ ) та сили бічного тертя. Марстон знехтував ефектом зчеплення між матеріалом засипки та рідним ґрунтом і припустив, що для розрахунку горизонтальних напружень застосовується відношення активного тиску землі. Сила натягу розраховується за допомогою коефіцієнта тертя ковзання між наповнювачем та рідним ґрунтом ( $\mu$ ).



Умовні позначки:

$B$  — ширина траншеї;

$D$  — діаметр труби;

$W$  — вага ґрунтового елемента, що рівний  $\gamma \cdot dh$ ;

$K$  — відношення активного тиску на землю;

Горизонтальне напруження, що діє з боків засипки, дорівнює  $K \cdot V/B$ .

Горизонтальна сила, що діє на ґрунтовий елемент висотою  $dh$ , дорівнює  $K \cdot V \cdot dh/B$ .

Вертикальна сила тертя, що діє на ґрунтовий елемент висотою  $dh$ , дорівнює  $K \cdot \mu \cdot dh \cdot V/B$ .

Вага ґрунтового елемента з висотою  $dh$  дорівнює  $\gamma \cdot B \cdot dh$ .

**Рисунок 1** — Зображення дії сил в траншеї труби

Значення вертикальної сили  $V$  на будь-якій глибині можна обчислити, вирішивши рівняння рівноваги вертикальних сил, зображене на **рис. 1**. Це значення вертикальної сили  $V$  визначається за формулою (1):

$$V = \gamma \cdot B^2 \cdot \frac{1 - e^{-2K\mu h/B}}{2 \cdot K \cdot \mu} \quad (1)$$

А в 1930 році Марстон А. [45] сформулював диференціальні рівняння для інших типів труб. Для неглибоких насипів залежно від відносного переміщення між стовпом ґрунту над трубою (внутрішня призма) та матеріалом насипу навколо неї (зовнішня призма) сили зсуву можуть діяти вниз або вгору. Якщо зовнішня призма осідає відносно внутрішньої призми, сили зсуву на внутрішній призмі будуть діяти вниз, а навантаження на трубу більше, ніж навантаження призми (умова проєкції). З іншого боку, якщо внутрішня призма осідає відносно зовнішньої, сили тертя будуть спрямовані вгору, а навантаження на трубу менше, ніж навантаження призми (стан каналу).

Нейтральною умовою також можна вважати, коли верхня частина труби осідає так само як і зовнішня призма. У цьому випадку навантаження на трубу є навантаженням призми. Враховуючи напрямки сил тертя, виведення рівняння навантажень внаслідок насипу такі ж, як показано на **рис. 1**. Значення вертикальної сили  $V$  на будь-якій глибині в насипі встановлюється формулою (2). Позитивний знак використовується для умов проєкції, а негативний — для умов траншеї:

$$V = \gamma \cdot D^2 \cdot \frac{e^{\pm 2K\mu h/B} - 1}{\pm 2 \cdot K \cdot \mu} \quad (2)$$

Формула (1) показує, що зі збільшенням ширини траншеї вертикальне навантаження  $V$  зростає. Це вірно, якщо розрахункове вертикальне навантаження менше, ніж обчислене за формулою (2) для виступаючого корпусу трубопроводу. Ширина траншеї, за якої обчислюють вертикальні навантаження використовуючи обидві формули, (1) та (2), рівні, називається шириною переходу.

Якщо висота заповнення достатньо збільшена, напруження зсуву не поширюються на верхню частину насипу, але припиняється в горизонтальній площині в межах засипки. Ця площа називається площиною рівного осідання. У цьому випадку навантаження на трубу залежить від призми навантаження між вершиною труби і площиною рівного осідання. Рівняння (3) показує значення вертикальної сили як функцію висоти площини рівного осідання ( $H_e$ ). Позитивний знак використовується у разі умови проєкції, а негативний знак використовується в разі стану траншеї:

$$V = \gamma \cdot D^2 \cdot \left\{ \frac{e^{\pm 2K\mu h/B} - 1}{\pm 2 \cdot K \cdot \mu} + \left( \frac{H}{D} - \frac{H_e}{D} \right) e^{\pm 2K\mu h/B} \right\} \quad (3)$$

У 1941 році М. Шпенглер запропонував гіпотезу про величину та розподіл різних зусиль навколо заглибленої гнучкої труби, яка отримала назву формула Айови [46]. Ця гіпотеза базується на теорії пружного кільця та експериментальній роботі над гнучкими металевими трубами в штаті Айова Інженерно-експериментальної станції. Запропонована гіпотеза базується на:

- 1) на навантаженні теорії Марстона, навантаження рівномірно розподілено по ширині основи труби, що дорівнює прикладеному вертикальному навантаженню;
- 2) пасивному горизонтальному тиску на трубу, сторони розподілені параболічно по  $100^\circ$ , а максимальне значення тиску дорівнює модулю пасивного опору матеріалу бічної засипки ( $e$ ), помноженої на половину горизонтального прогину.

Цей розподіл напружень був використаний для виведення оригінальної формули Айови:

$$\Delta X = \frac{K_{we} r^3}{EI + 0,061er^4}, \quad (4)$$

- де
- $\Delta X$  — горизонтальний прогин або зміна діаметра, дюйми;
  - $D_L$  — коефіцієнт затримки прогину;
  - $K$  — коефіцієнт влаштування основи;
  - $W_c$  — навантаження Марстона на одиницю довжини труби, фунт/дюйм;
  - $r$  — середній радіус труби, дюйми;
  - $E$  — модуль пружності матеріалу труби, фунт/дюйм<sup>2</sup>;
  - $I$  — момент інерції стінки труби на одиницю довжини, дюйм<sup>4</sup>/ дюйм;
  - $e$  — модуль пасивного опору бічної засипки, фунт/( дюйм<sup>2</sup>) (дюйм).

Модуль пасивного опору ( $e$ ) досліджували Р. Воткінс і М. Спанглер в 1958 році [47], вони помітили, що він не має розмірності модуля і тому не міг являти собою властивість ґрунту. Модуль реакції ґрунту ( $E'$ ) отримано з урахуванням модуля пасивного опору та середнього радіуса труби. Заміною  $E$  в формулі (4) отримано нову формулу під назвою «модифікована формула штату Айова»:

$$\Delta X = \frac{K_{wc} r^3}{EI + 0,061E' r^3}, \quad (5)$$

де  $E'$  — модуль пружності ґрунту, фунт/дюйм<sup>2</sup>.

Той факт, що закопані гнучкі труби продовжують відхилятися з плином часу під постійним навантаженням, у випадку зведених бічних заповнень, привело до розгляду залежності від часу прогину. А коефіцієнт затримки відхилення,  $D_L$ , був введений для збільшення короткочасного прогину, як показано в формулі (6). Значення  $D_L$  1,5, було прийнято для тривалого відхилення, але значення 1,0 застосовувалося у випадку, якщо для розрахунку прикладених навантажень використовувалася теорія призматичного навантаження. А більш популярна і практична форма цього рівняння показана в формулі (7), де жорсткість труби,  $PS$ , можна виміряти за допомогою паралельної пластини ASTM D-2412 [48]:

$$\Delta X = \frac{D_L K_{wc} r^3}{EI + 0,061E' r^3}, \quad (6)$$

$$\frac{\Delta X}{d} = \frac{100D_L K}{0,149(PS) + 0,061E'}, \quad (7)$$

де  $d$  — діаметр труби, дюйми;

$PS$  — жорсткість труби (фунт./дюйм./дюйм.), P/AY.

Проблема розподілу напруження ґрунту навколо гнучких труб полягає в тому, що жорсткість труби вважали рівною жорсткості навколишнього ґрунту. С. Сарганд у 1998 році зазначив, що жорсткість пластикової труби профільної стінки часто становить (1/10) або менше жорсткості ґрунту, особливо при установці в щільний зернистий матеріал. Так рівномірно розподілене вертикальне навантаження вздовж горизонтальної поверхні, що проходить через коло труби, викликає сумніви [49].

Дослідження А. Мозера на 1990 рік [50] свідчать, що ефективне навантаження на гнучку трубу лежить десь посередині навантаження, передбачене теорією Марстона, і навантаження призми.

М. Грінвуд та Д. Ланг у 1990 році заявили, що розподіл тиску, запропонований Спанглером [51] може застосовуватися не до всіх труб, але він широко прийнятий разом із формулою штату Айова [52].

Шпанглер і Хенді у 1982 році відзначили, що формула Айова була виведена для труб, виготовлених з еластичних матеріалів, таких як сталь, тому вони можуть застосовуватися або не застосовуватися до пластикових труб, особливо до тих, які відчувають повзучість і втому з часом при постійному навантаженні [53].

Шлютер і Капоссело у 1999 році порівняли результати модифікованої формули штату Айова з фактичними характеристиками як для дуже жорстких (напівжорстких), так і для дуже гнучких труб. Це було показано, що змінена формула штату Айова надмірно завищує відхилення для жорстких труб і занижує прогин для гнучких труб [54].

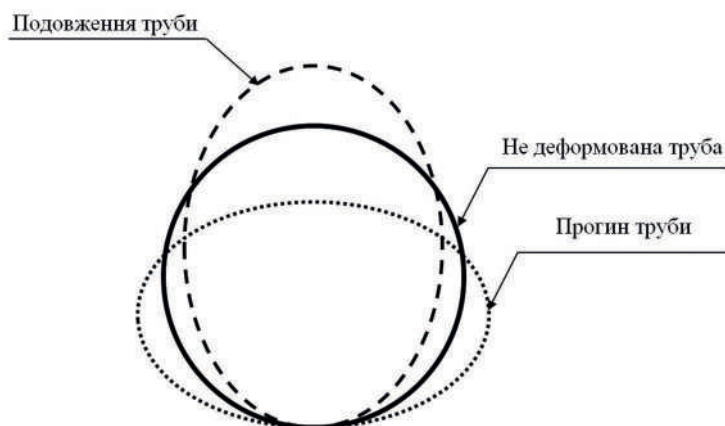
У 2001 році Воткінс заявив, що Шпанглер використовував теорію пружності для виведення формули Айови для прогнозування поперечних прогинів труби, але вона не враховує стан бічного ґрунту, після зворотної засипки. Отже, формула Айова обмежується пружною поведінкою як для труби, так і для ґрунту. Тому даний підхід розрахунку застосовується при невеликих поздовжніх та поперечних деформаціях труби. Воткінс, стверджував, що межа продуктивності гнучких труб не обмежуються гнучкістю труби та поперечними деформаціями труби, при деформації труби виконують свою функцію. Межа продуктивності пластикових труб залежить від значного відхилення поперечного перерізу труби та напружень, які виникають на контакті з ґрунтом.

Тиск ґрунту на конструкцію залежить від стану чутливості полімерної труби на дію тиску ґрунту. Існує три умови бічного тиску на ґрунт від деформації полімерної труби: геостатичний, активний і пасивний. Коефіцієнти ґрунтового тиску згідно з Ранкіним (1857) [55] можна використовувати розрахувавши горизонтальні напруження. Коли полімерна труба є геостатичною, з нульовим горизонтальним прогином, ґрунт з боків буде перебувати в стані пружної рівноваги. Полімерна труба є активною, коли горизонтальний діаметр полімерної труби, від тиску ґрунту, зменшується, і пасивною, коли горизонтальний діаметр збільшується.

Мозер в 1990 році заявив, що межі продуктивності зазвичай встановлюються проектуванням виходячи з матеріалу труби та необхідної продуктивності. Він також припустив, що межі продуктивності можна розділити на прогини, деформації, напруження та вигини.

Згідно з Мозером, межа експлуатації гнучкої труби, зазвичай складається з умов пов'язаних з прогином труби. Надмірний прогин зменшує пропускну здатність та спричинює роз'єднання стиків, порушуючи цим герметичність труби та спричинює протікання води за межі труби.

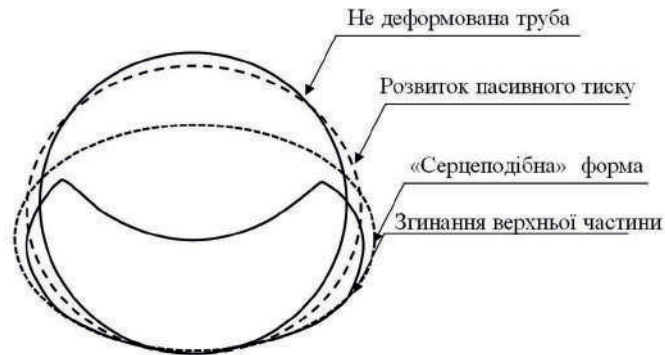
Прогин труби може статися під час транспортування, будівництва та через навантаження під час експлуатації. Гнучкі полімерні труби можуть стискатися (скорочення вертикального діаметра) через прикладення навантаження і можуть подовжуватися (скорочення горизонтального діаметра) в результаті процесу ущільнення, як показано на **рис. 2**.



**Рисунок 2** — Гнучке відхилення та подовження труби

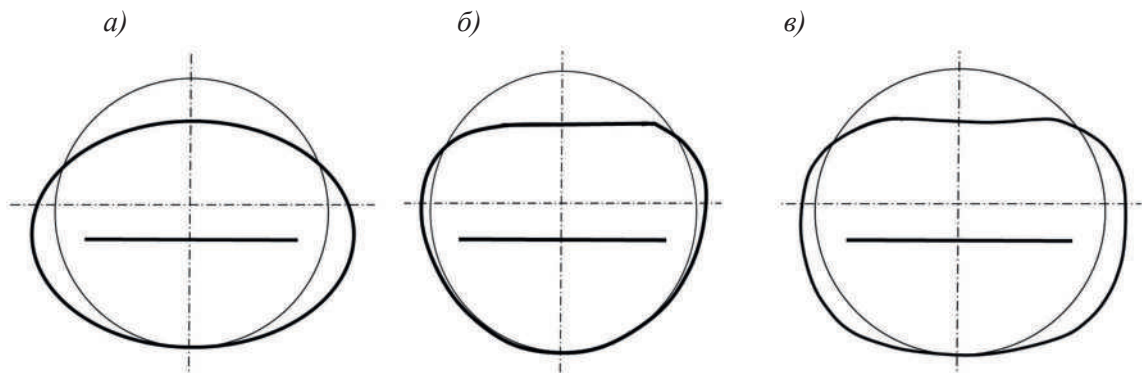
Прогини можна контролювати способом монтажу труби та типом засипки. У влаштованій труби прогин завжди повинен бути рівним або меншим від проектної межі прогину для певного виду труб. Прогин зазвичай виражається як відсоток вертикального прогину, визначений як зміна у вертикальному діаметрі труби, поділеному на початковий діаметр труби. При експерименті, в ґрунтовому ящику, Шпанглер спостерігав надмірне відхилення кільця сталеві труби до 20 %, тому він рекомендував з коефіцієнтом безпеки 4, максимально допустимий прогин кільця 5 %.

У 1941 році Шпанглер визначив різні стадії прогину для металевих гнучких труб як показано на **рис. 3** [46]. Коли навантаження на металеву трубу зростає, труба відхиляється всередину ґрунту, і розвивається пасивний ґрунтовий тиск. Якщо навантаження було збільшено і ґрунт був добре ущільнений, гнучка труба, сплющується біля коронки, починає розриватися. Форма гнучкої труби на цій стадії описується як «серцеподібна». Вінець труби формує вгору увігнуту форму, що виникає в результаті збільшення навантаження до більших рівнів.



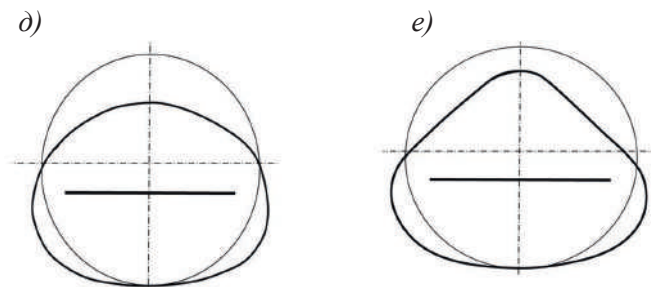
**Рисунок 3** — Етапи прогину гнучких металевих труб

У 1996 році Роджерс з колективом дослідників вивчали вплив процедури монтажу на ґрунт труби, структурну взаємодію труб з ПВХ за допомогою візуального методу [51]. Були використані лабораторні установки моделювання, польові установки для двох типів польових практик, які називаються «хороше місце розташування» та «погане місце розташування». Для моделювання та вивчення було застосовано «хороше місце розташування» вплив ущільнення на форму труби під час будівництва. «Погане місце розташування» було також виконано для моделювання та вивчено вплив різних умов опору на трубу, прогин під час будівництва. Під час монтажу труб з ПВХ спостерігалися різні конфігурації. Ці конфігурації еліптичні, у формі серця, перевернуті деформації у формі серця, квадратні та перевернуті Y, як показано на **рис. 4**.



- а) еліптична деформація;
- б) деформація у формі серця;
- в) квадратна деформація

**Рисунок 4, аркуш 1** — Етапи прогину гнучких металевих труб



- д) перевернута деформація у формі серця;  
 е) перевернута деформація Y.

**Рисунок 4, аркуш 2**

Оскільки деформація пов'язана з прогином, більшість виробників пропонують застосовувати методи установки гнучких полімерних труб з обмеженням прогину, а отже, зменшення їх деформації при монтажі. Обмеження деформації полімерних труб використовується для запобігання руйнування їх, внаслідок погіршення стану матеріалу труби після деформації стінок труби більше критичної деформації. Загальна окружна деформація полімерних труб складається з деформації згину, деформації стиснення та окружної деформації з урахуванням коефіцієнта Пуассона, яка визначається за допомогою формул (8), (9) та (10).

$$\varepsilon_b = 6 \left( \frac{t}{D} \right) \left( \frac{\Delta y}{D} \right), \quad (8)$$

$$\varepsilon_c = \frac{PD}{2tE}, \quad (9)$$

$$\varepsilon_{1/2} = -\nu \cdot \varepsilon_1, \quad (10)$$

- де  $\varepsilon_b$  — деформація згину;  
 $\varepsilon_c$  — деформація стиснення;  
 $\varepsilon_{\nu}$  — окружна деформація з урахуванням коефіцієнта Пуассона;  
 $\varepsilon_1$  — поздовжня деформація;  
 $t$  — товщина стінки, дюйми;  
 $D$  — діаметр труби, дюйми;  
 $\Delta y$  — вертикальний прогин, дюйми;  
 $P$  — вертикальний тиск ґрунту, фунт на квадратний дюйм;  
 $E$  — модуль Юнга матеріалу труб;  
 $\nu$  — коефіцієнт Пуассона.

Явища вигину можуть впливати на конструкцію гнучких труб, що зазнають високого впливу прикладених навантажень або тиску ґрунту. Чим гнучкіша труба, тим менший її опір вигину. Згинання гнучких труб залежить не тільки від властивостей матеріалу труб, а й від їх вигину на геометричні властивості труб і жорсткість навколишнього ґрунту. Точне рішення для викривлення труби, закопаної у ґрунт, не є виправданим, оскільки поведінка ґрунту не дуже передбачувана.

Формула критичного тиску на вигин, розроблена Мейєргофом та Бейком (1963) [56] для заглибленої круглої труби дається формулою (11). Фактичний тест показав, що це рівняння добре працює для сталевих труб (Moser 1990).

$$P_{cr} = 2 \sqrt{\frac{E}{1-\nu^2} \left( \frac{EI}{R^3} \right)}, \quad (11)$$

де  $EI$  — жорсткість труб;  
 $R$  — радіус труби.

Згідно з [43] діаметр труби, довжина, товщина стінки, розміри гофра вибираються з наявного сортаменту пластикових труб виробника, тому мета розрахунків полягає в перевірці міцності та деформацій труби з вже призначеними розмірами.

Результатом міцнісного розрахунку є величина  $\sigma$  найбільшого стискального напруження в стінці труби, яке порівнюється з розрахунковим опором  $R$  матеріалу труби, тобто має виконуватися умова:

$$\sigma = m \cdot R, \quad (12)$$

де  $m$  — коефіцієнт умов роботи;  
 $R$  — розрахунковий опір матеріалу труби (за сертифікатом виробника).

Результатом розрахунку деформацій є визначення зменшення розміру перерізу труби вертикального  $d_1$  і (або) збільшення горизонтального  $d_2$ . Вони порівнюються з допустимими зменшеннями (збільшеннями), які залежать від розмірів перерізу, розташування труби в насипу, властивостей ґрунту. Має виконуватися нерівність:

$$\delta \leq [\delta], \quad (13)$$

де  $[\delta]$  — величина допустимого зменшення (збільшення) [43].

Напруження  $\sigma$  знаходять від дії розрахункового тиску ґрунту насипу та від дії тимчасового навантаження. Переміщення визначають за нормативними навантаженнями.

Умови протікання потоку води в гофрованих трубах відрізняються від умов протікання в звичайних гладких трубах лише підвищеною шорсткістю поверхні труби [43].

Для напірних круглих гофрованих труб пропускну здатність визначають за формулою:

$$Q = 3,48 \cdot \mu_n \cdot d^2 \cdot \sqrt{H + i \cdot l_T - 0,85d}, \quad (14)$$

де  $d$  — діаметр труби, м;  
 $H$  — напір перед трубою, м;  
 $i$  — похил труби;  
 $l_T$  — довжина труби, м;  
 $\mu_n$  — коефіцієнт витрати, який визначається за формулою:

$$\mu_n = \sqrt{\frac{1}{1 + \zeta_{\text{вх}} + \zeta_{\text{довж}}}}, \quad (15)$$

- де  $\zeta_{\text{ВХ}}$  — коефіцієнт опору на вході, що становить:
- для труб без оголовка  $\zeta_{\text{ВХ}} = 0,55$ ;
  - для розтрубних оголовків з кутом розтрубу  $\alpha_p = 10^\circ\text{--}20^\circ$ ,  
 $\zeta_{\text{ВХ}} = 0$ ; —  $\zeta_{\text{ВХ}} = 0,33$  для розтрубних оголовків з кінчною ланкою 2;
- $\zeta_{\text{ДОВЖ}}$  — коефіцієнт гідравлічного опору по довжині, що обчислюється за формулою:

$$\zeta_{\text{ДОВЖ}} = \frac{2 \cdot g \cdot n^2 (l_T - 3,6 \cdot h_T)}{0,157 \cdot d^{4/3}}, \quad (16)$$

- де  $g$  — прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;
- $n$  — коефіцієнт шорсткості, значення залежать від розмірів гофр;
- $l_T$  — довжина труби;
- $h_T$  — висота отвору труби по всій довжині, крім вхідної ланки, м;
- $d$  — діаметр труби, м.

Для гофрованих труб облаштування оголовка з метою збільшення пропускної здатності зазвичай виявляється дорожчим ніж збільшення отвору труби. Тому дозволяється застосовувати гофровані труби без оголовків, дотримуючись таких вимог: нижня частина незрізної труби повинна виступати з насипу на рівні його підоснови не менше ніж 0,2 м, а переріз труби зі зрізаним кінцем має виступати з тіла насипу не менше ніж 0,5 м [43].

## Ремонт водопропускних труб із застосуванням труб з полімерних матеріалів

Ремонт водопропускних труб автомобільних доріг повинен бути проведений відповідно до проекту, вимог технічних регламентів та нормативних документів П-Г.1-218-113 [57], ДБН В.2.3-22 [58]. Найефективнішим методом є ремонт методом «гільзування». Ремонту методом гільзування підлягають труби, звуження отвору яких не впливає на вхідний потік води, що мають наступні дефекти:

- порушення гідроізоляції;
- зміщення геометричного положення елементів більше ніж на 3,0 % від діаметра труби;
- не ефективність дрібного ремонту.

Полімерні гофровані конструкції найчастіше вбудовуються двома способами [59, 60]. Перший спосіб полягає у монтажі труби, загальна довжина якої відповідає довжині об'єкта, чи є більшою при необхідності подовження існуючої водопропускної труби. А другий спосіб передбачає послідовне з'єднання ланок труби під час монтажу, у середині дефектної труби.

На етапі підготовчих робіт повинні бути виконані наступні заходи [60]:

- ізоляція зони робіт від води;
- очищення або, при необхідності, промивка ремонтної труби від сміття і бруду, видалення з неї води, закладення тріщин, відкритих стиків і місць інфільтрації ґрунтових вод;
- створення умов для безперешкодного протягування ланок внутрішньої труби: влаштування настилу, направлення, вирівнювання дна труби відповідно до проекту.

Монтаж ланок внутрішньої труби може виконуватися в такій технологічній послідовності:

1) встановлення в аварійній трубі дерев'яних напрямних для протягування нової труби (мінімальна висота 50 мм) відповідно до проекту щодо осьової і висотної розбивки. Встановлення проектного ухилу за допомогою нівеліра і клинів. Закріплення напрямних допускається на трубі, яку ремонтують, або гільзі (рис. 5). Забезпечити вільне проходження бетонної суміші через



напрявні. При необхідності забезпечити захист покриття при проштовхуванні геотекстилем. У разі рівної лоткової частини труби (відсутні виступи, що перешкоджають просуванню гільзи) напрямні допускається не встановлювати;

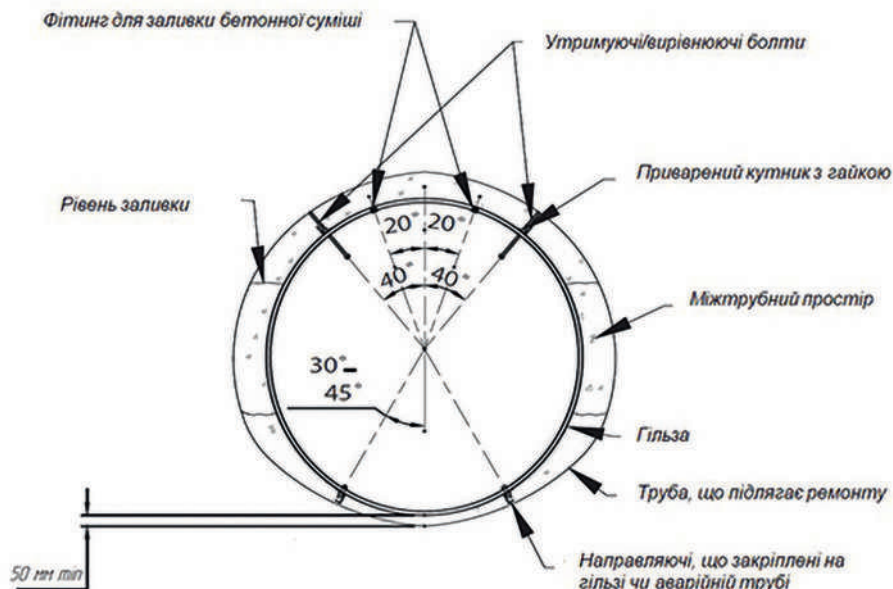


Рисунок 5 — Приклад розташування гільзи в трубі, яку ремонтують

- 2) протягнути в існуючій трубі трос для протягування ремонтної труби з розривним навантаженням не менше загальної маси ремонтних ланок;
- 3) протягнути в існуючій трубі канат з натуральних або штучних волокон, з розривним навантаженням не менше 500 кг, для подальшого протягування шланга для бетонування;
- 4) укласти першу секцію труби за допомогою автокрана біля входу існуючої труби;
- 5) закріпити на торці 1 секції труби трос для протягування за допомогою струбцин або заздалегідь підготовлених вушок;
- 6) другий кінець троса підчепити до лебідки або іншого буксирного засобу;
- 7) протягнути секцію залишивши зовні частину розміром не менше 500 мм для установки бандажа;
- 8) укласти наступну секцію труби за допомогою автокрана;
- 9) з'єднати секції за допомогою бандажа.

Багато відомств США успішно використовують гофровані поліетиленні труби для санації трубопроводів, що вийшли з ладу. Так, у 1983–1984 рр. Департамент транспорту штату Оклахома відновив більше 40 водопропускних сталевих труб, які постраждали від корозії. У 2007 році Департамент транспорту штату Делавер відновив методом санації залізобетонну трубу, прокладену під магістраллю в м. Вілмінгтоні, без перекриття руху (рис. 6).

Економія порівняно з демонтажем старої труби і прокладанням нової оцінюється майже в 1 млн доларів [5].



*Рисунок 6* — Санація (гільзування) залізобетонної труби в м. Вілмінгтоні, штат Делавер

## Висновки

Одна з основних причин, які призводять до розвитку руйнувань дорожнього одягу і укосів земляного полотна, є вплив поверхневих і підземних вод. Міцність дорожньої конструкції втрачається внаслідок перезволоження земляного полотна і основ дорожніх одягів через незадовільний стан водовідвідних споруд. Стан водопропускних труб є незадовільним, що призводить до перенасичення ґрунтів водою в результаті, відсутнього або часткового водовідведення.

Одним із методів підвищення довговічності водопропускних труб є застосування сучасних матеріалів та технологій для їх виготовлення. За час застосування поліетиленових труб в дорожньому будівництві трубний поліетилен сильно змінився. Сьогодні всі провідні виробники поліетилену пропонують спеціальні марки трубної сировини, орієнтовані на застосування в цій галузі. Сучасні матеріали мають збалансовані характеристики і високі фізико-механічні характеристики.

Ремонт водопропускних труб методом гільзування є перспективним і потребує подальшого вивчення.

## Список літератури

1. Водопропускные трубы под насыпями / Под ред. О.А. Янковского. М.: Транспорт, 1982. 232 с.
2. Обзорная информация Автомобильные дороги. Трубы под насыпями автомобильных дорог. Обзорная информация. Выпуск 6, 01.01.1988.
3. URL: [www.polyplastic.ua](http://www.polyplastic.ua).
4. Reynold K. Watkins, Ronald C. Reeve, and James B. Goddard. Effect of Heavy Loads on Buried Corrugated Polyethylene Pipe. Transportation Research Record 903. 1983 pp. 99 — 108.
5. Джим Годдард. Полимерные трубы в дорожном строительстве: 50 лет эволюции и роста. Полимерные трубы №1(43) / апрель 2014. С. 58 — 61.
6. ASTM F405, 2013 Edition, August 1, 2013 - Standard Specification for Corrugated Polyethylene (PE) Pipe and Fittings.
7. AASHTO M 252, 2020 Edition, 2020 - Standard Specification for Corrugated Polyethylene Drainage Pipe.
8. Gassman SL, Schroeder AJ, Ray RP. Field performance of high density polyethylene culvert pipe. ASCE J Transport Eng 2005.

9. Sargand SM, Masada T, White K, Altarawneh B. Profile-wall high-density polyethylene pipes 1050 mm in diameter under deep soil cover: comparisons of field performance data and analytical predictions. In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board No. 1814. TRB. National Research Council; 2002. p. 186 — 196.
10. Navid H. Jafari, H. Omar Ulloa. Literature Search on Use of Flexible Pipes in Highway Engineering for DOTD's Needs. FHWA/LA.17/638. Dept. of Civil and Environmental Engineering Louisiana State University. 2020 p. 63.
11. Suleiman, Muhannad Taher, The structural performance of flexible pipes (2002). Retrospective Theses and Dissertations. 1033. P. 143. URL: <https://lib.dr.iastate.edu/rtd/1033>.
12. Phares, Brent Matthew, High density polyethylene pipe in highway applications (1996). Retrospective Theses and Dissertations. 17278. <https://lib.dr.iastate.edu/rtd/17278>
13. ASTM International. C76-19b. Standard Specification for Reinforced Concrete Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe. 2019. URL: <https://doi.org/https://doi.org/10.1520/C0076-19B>.
14. ASTM D3034 - 00 Standard Specification for Type PSM Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Sewer Pipe and Fittings.
15. ASTM International. F794-03. Standard Specification for Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Profile Gravity Sewer Pipe and Fittings Based on Controlled Inside Diameter. 2014. URL: <https://doi.org/https://doi.org/10.1520/F0794-03R14>.
16. AASHTO M 294. Standard Specification for Corrugated Polyethylene Pipe, 300- to 1500-Mm (12- to 60-in.) Diameter. 2018, p. 22.
17. AS/NZS 1254 Stormwater.
18. AS/NZS 1260 Drain, waste and vent.
19. AS 1273 Rainwater downpipes.
20. AS 5100:2017 Bridge Design.
21. AS / NZS 3500 Plumbing and Drainage.
22. AS / NZS 3572:1997 Plastics - Glass Filament Reinforced Plastics (Grp).
23. AS 1597.1-2010, AS 1597.2-2013 Precast Reinforced Concrete Box Culverts – Small Culverts, Large Culverts.
24. Austroads (2013), Guide to Road Design Part 5, 5A, 5B: Drainage - General and Hydrology Considerations, Road Surface, Networks, Basins and Subsurface, Open Channels, Culverts and Floodways.
25. Roads and Maritime Services (RMS) QA Specification R11 Stormwater Drainage.
26. Roads and Maritime Services (RMS) QA Specification R16 Precast Reinforced Concrete Box Culverts.
27. Roads and Maritime Services (RMS) QA Specification R23 Plastic Flexible Pipes.
28. Roads and Maritime Services (RMS) QA Specification R53 Concrete (for General Use), Mortar and Grout.
29. Roads and Maritime Services (RMS) QA Specification B80 Concrete Work for Bridges.
30. Roads and Traffic Authority (RTA) Rehabilitation Guideline for Corrugated Steel Culverts.
31. Specification NZTA F/2: 2013 Specification for Pipe Subsoil Drain Construction.
32. Specification TNZ F/3: 2010 Specification for pipe culvert construction.
33. AS 2439 Perforated plastics drainage and effluent pipe and fittings.
34. Code of Practice for Land Development and Subdivision: Chapter 4 – Stormwater.
35. Manual Road Drainage Chapter 9: Culvert Design. Department of Transport and Main Roads). September 2019.
36. Kang J, Jung Y and Ahn Y (2013a) Cover requirements of thermoplastic pipes used under highways. Composites Part B — Engineering 55: 184 — 192.
37. Normann JM, Houghtalen RJ, Johnston WJ. Hydraulic design of highway culverts. 2nd ed. FHWA-NHI-01-020. HDS No. 5; 2001.
38. Gabriel LH, Goddard JR. Curved-beam stiffness for thermoplastic gravity-flow drainage pipes. In:

Transportation research record: journal of the transportation research board. No. 1656. TRB, National Research Council; 1999. p 51 — 7.

39. Pauli Kolisoja1, Antti Kalliainen. Modelling of Plastic Culvert and Road Embankment Interaction in 3D. *Advances in Transportation Geotechnics 3* . The 3rd International Conference on Transportation Geotechnics (ICTG 2016). Volume 143, 2016, Pages 427 — 434.

40. ATV-DVWK-A 127-2000-08 Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen; 3. Auflage

41. ДБН В.2.3-14:2006 Сооружения транспорта. Мосты и трубы. Правила проектирования.

42. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво.

43. СОУ 45.2-00018112-045:2010. Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд з пластикових труб на автомобільних дорогах загального користування.

44. Marston, Anson, and A. O. Anderson, 1913. «The Theory of Loads on Pipes in Ditches and Tests of Cement and Clay Drain Tile and Sewer Pipe,» Bulletin 31, Iowa Engineering Experiment Station, Ames, Iowa.

45. Marston, A. and A. Anderson 1930. «The Theory of External Loads on Closed Conduits in the Light of the Latest Experiments,» The Iowa State College bulletin, No. 96, volXXVIII, Iowa Engineering Experiment Station, Iowa State College.

46. Spangler, M.G, 1941. The Structural Design of Flexible Pipe Culverts». Iowa Engineering Experiment Station. Bulletin 153. Ames, Iowa.

47. Watkins, Reynold K. and Spangler, M.G. 1958. «Some Characteristics of the Modulus of Passive Resistance of Soil: A Study in Similitude,» Highway Research Board Proceedings, Vol. 37, pp. 576-583.

48. ASTM D2412 Plastic Pipe Deflection Testing.

49. Sargand, S.M., Hazen, G.A., and Masadda, T. 1998. «Structural Evaluation and Performance of Plastic Pipe». Report FHWA-OH-98-O11. FHWA, U.S. Department of Transportation.

50. Moser, A. P.1990. «Buried Pipe Designs». McGraw Hill, Inc., New York.

51. Rogers, C.D.F., Fleming, P.T., and Talby R., 1996. «Use of Visual Methods to Investigate The Influence of Installation Procedure on Pipe-Soil Interaction». Transportation Research Record 1541, pp 76-85. Washington DC.

52. Greenwood, Mark E. and Lang, Dennis C., 1990. «Vertical Deflection of Buried Flexible Pipes». Buried Plastic Pipe Technology. Philadelphia, PA: ASTM.

53. Spangler M. G., and Handy R. L. 1982. Soil Engineering. Harper and Row, New York, NY, 4 Edition.

54. Schluter C. J. and Shade J.W, 1999, «Flexibility Factor or Pipe Stiffness, Significant Stiffness Considerations. Transportation Research Record 1656, pp 45-50. Washington D C.

55. Rankine, W. M. J. 1857. «On Stability on Loose Earth,» Philosophic Transactions of Royal Society, London, Part 1,9-27.

56. Meyerhof, G. G. and Baike, L. D. 1963. «Strength of Steel Culvert Sheets Bearing against Compacted Sand Backfill». Highway Research Board Proceedings, vol. 30.

57. П-Г.1-218-113:2009 Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України.

58. ДБН В.2.3-22-2009 Мости та труби. Основні вимоги проектування.

59. Study of the Stress-Strain State in Defective Railway Reinforced-Concrete Pipes Restored with Corrugated Metal Structures / V. Kovalchuk, R. Markul, A. Pentsak [and others] // EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies. 2017. N 5 (1–89). P. 37–44. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109611.

60. Онищенко А. М. Аналіз перспективи застосування ремонту, методом гільзування, водопропускних труб, як різновиду гідротехнічних споруд транспортного будівництва / Онищенко А. М., Гаркуша М. В. // Збірник наукових праць видається за підсумками щорічної Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії». Херсон: ХДАЕУ, 2021. Вип. 3. С. 147 – 150.

## References

1. Vodopropusknuyye trubyy pod nasypnyami / Pod red. O.A. Yankovskogo. M.: Transport, 1982. 232 p.
2. Obzornaya informatsiya Avtomobil'nyye dorogi. Trubyy pod nasypnyami avtomobil'nykh dorog. Obzornaya informatsiya. Vypusk 6, 01.01.1988.
3. URL: [www.polyplastic.ua](http://www.polyplastic.ua).
4. Reynold K. Watkins, Ronald C. Reeve, and James B. Goddard. Effect of Heavy Loads on Buried Corrugated Polyethylene Pipe. Transportation Research Record 903. 1983 pp. 99 — 108.
5. Dzhim Goddard. Polimernyye trubyy v dorozhnom stroitel'stve: 50 let evolyutsii i rosta. Polimernyye trubyy №1(43) / aprel' 2014. P. 58 — 61.
6. ASTM F405, 2013 Edition, August 1, 2013 - Standard Specification for Corrugated Polyethylene (PE) Pipe and Fittings.
7. AASHTO M 252, 2020 Edition, 2020 - Standard Specification for Corrugated Polyethylene Drainage Pipe.
8. Gassman SL, Schroeder AJ, Ray RP. Field performance of high density polyethylene culvert pipe. ASCE J Transport Eng 2005.
9. Sargand SM, Masada T, White K, Altarawneh B. Profile-wall high-density polyethylene pipes 1050 mm in diameter under deep soil cover: comparisons of field performance data and analytical predictions. In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board No. 1814. TRB. National Research Council; 2002. p. 186 — 196.
10. Navid H. Jafari, H. Omar Ulloa. Literature Search on Use of Flexible Pipes in Highway Engineering for DOTD's Needs. FHWA/LA.17/638. Dept. of Civil and Environmental Engineering Louisiana State University. 2020 p. 63.
11. Suleiman, Muhannad Taher, The structural performance of flexible pipes (2002). Retrospective Theses and Dissertations. 1033. P.143. URL: <https://lib.dr.iastate.edu/rtd/1033>.
12. Phares, Brent Matthew, High density polyethylene pipe in highway applications (1996). Retrospective Theses and Dissertations. 17278. URL: <https://lib.dr.iastate.edu/rtd/17278>.
13. ASTM International. C76-19b. Standard Specification for Reinforced Concrete Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe. 2019. URL: <https://doi.org/https://doi.org/10.1520/C0076-19B>.
14. ASTM D3034 - 00 Standard Specification for Type PSM Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Sewer Pipe and Fittings.
15. ASTM International. F794-03. Standard Specification for Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Profile Gravity Sewer Pipe and Fittings Based on Controlled Inside Diameter. 2014. URL: <https://doi.org/https://doi.org/10.1520/F0794-03R14>.
16. AASHTO M 294. Standard Specification for Corrugated Polyethylene Pipe, 300- to 1500-Mm (12- to 60-in.) Diameter. 2018, p. 22.
17. AS/NZS 1254 Stormwater.
18. AS/NZS 1260 Drain, waste and vent.
19. AS 1273 Rainwater downpipes.
20. AS 5100:2017 Bridge Design.
21. AS / NZS 3500 Plumbing and Drainage.
22. AS / NZS 3572:1997 Plastics - Glass Filament Reinforced Plastics (Grp).
23. AS 1597.1-2010, AS 1597.2-2013 Precast Reinforced Concrete Box Culverts – Small Culverts, Large Culverts.
24. Austroads (2013), Guide to Road Design Part 5, 5A, 5B: Drainage - General and Hydrology Considerations, Road Surface, Networks, Basins and Subsurface, Open Channels, Culverts and Floodways.
25. Roads and Maritime Services (RMS) QA Specification R11 Stormwater Drainage.
26. Roads and Maritime Services (RMS) QA Specification R16 Precast Reinforced Concrete Box Culverts

27. Roads and Maritime Services (RMS) QA Specification R23 Plastic Flexible Pipes.
28. Roads and Maritime Services (RMS) QA Specification R53 Concrete (for General Use), Mortar and Grout.
29. Roads and Maritime Services (RMS) QA Specification B80 Concrete Work for Bridges.
30. Roads and Traffic Authority (RTA) Rehabilitation Guideline for Corrugated Steel Culverts.
31. Specification NZTA F/2: 2013 Specification for Pipe Subsoil Drain Construction.
32. Specification TNZ F/3: 2010 Specification for pipe culvert construction.
33. AS 2439 Perforated plastics drainage and effluent pipe and fittings.
34. Code of Practice for Land Development and Subdivision: Chapter 4 – Stormwater.
35. Manual Road Drainage Chapter 9: Culvert Design. Department of Transport and Main Roads). September 2019.
36. Kang J, Jung Y and Ahn Y (2013a) Cover requirements of thermoplastic pipes used under highways. Composites Part B — Engineering 55: 184 — 192.
37. Normann JM, Houghtalen RJ, Johnston WJ. Hydraulic design of highway culverts. 2nd ed. FHWA-NHI-01-020. HDS No. 5; 2001.
38. Gabriel LH, Goddard JR. Curved-beam stiffness for thermoplastic gravity-flow drainage pipes. In: Transportation research record: journal of the transportation research board. No. 1656. TRB, National Research Council; 1999. p 51 — 7.
39. Pauli Kolisoja J, Antti Kalliainen. Modelling of Plastic Culvert and Road Embankment Interaction in 3D. Advances in Transportation Geotechnics 3 . The 3rd International Conference on Transportation Geotechnics (ICTG 2016). Volume 143, 2016, Pages 427 — 434.
40. ATV-DVWK-A 127-2000-08 Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen; 3. Auflage.
41. DBN V.2.3-14:2006 Sooruzhenyia transporta. Mosty y truby. Pravyla proektyrovannya.
42. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobil'ni dorohy. Chastyna I. Proektuvannya. Chastyna II. Budivnytstvo.
43. SOU 45.2-00018112-045:2010. Sporudy transportu. Proektuvannya ta budivnytstvo sporud z plastykovykh trub na avtomobil'nykh dorohakh zahalnoho korystuvannya.
44. Marston, Anson, and A. O. Anderson, 1913. «The Theory of Loads on Pipes in Ditches and Tests of Cement and Clay Drain Tile and Sewer Pipe,» Bulletin 31, Iowa Engineering Experiment Station, Ames, Iowa.
45. Marston, A. and A. Anderson 1930. «The Theory of External Loads on Closed Conduits in the Light of the Latest Experiments,» The Iowa State College bulletin, No. 96, volXXVII, Iowa Engineering Experiment Station, Iowa State College.
46. Spangler, M.G, 1941. The Structural Design of Flexible Pipe Culverts». Iowa Engineering Experiment Station. Bulletin 153. Ames, Iowa.
47. Watkins, Reynold K. and Spangler, M.G. 1958. «Some Characteristics of the Modulus of Passive Resistance of Soil: A Study in Similitude,» Highway Research Board Proceedings, Vol. 37, pp. 576-583.
48. ASTM D2412 Plastic Pipe Deflection Testing.
49. Sargand, S.M., Hazen, G.A., and Masadda, T. 1998. «Structural Evaluation and Performance of Plastic Pipe». Report FHWA-OH-98-O11. FHWA, U.S. Department of Transportation.
50. Moser, A. P. 1990. «Buried Pipe Designs». McGraw Hill, Inc., New York.
51. Rogers, C.D.F., Fleming, P.T., and Talby R., 1996. «Use of Visual Methods to Investigate The Influence of Installation Procedure on Pipe-Soil Interaction». Transportation Research Record 1541, pp 76-85. Washington DC.
52. Greenwood, Mark E. and Lang, Dennis C., 1990. «Vertical Deflection of Buried Flexible Pipes». Buried Plastic Pipe Technology. Philadelphia, PA: ASTM.
53. Spangler M. G., and Handy R. L. 1982. Soil Engineering. Harper and Row, New York, NY, 4 Edition.
54. Schluter C. J. and Shade J.W, 1999, «Flexibility Factor or Pipe Stiffness, Significant Stiffness Considerations. Transportation Research Record 1656, pp 45-50. Washington D C.
55. Rankine, W. M. J. 1857. «On Stability on Loose Earth,» Philosophic Transactions of Royal Society, London, Part 1, 9-27.

56. Meyerhof, G. G. and Baike, L. D. 1963. «Strength of Steel Culvert Sheets Bearing against Compacted Sand Backfill». Highway Research Board Proceedings, vol. 30.
57. P-H.1-218-113:2009 Tekhnichni pravyla remontu ta utrymannya avtomobil'nykh dorih zahal'noho korystuvannya Ukrainy.
58. DBN V.2.3-22-2009 Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannya.
59. Study of the Stress-Strain State in Defective Railway Reinforced-Concrete Pipes Restored with Corrugated Metal Structures / V. Kovalchuk, R. Markul, A. Pentsak [and others] // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – N 5 (1–89). – P. 37–44. – doi: 10.15587/1729-4061.2017.109611.
60. Onyshchenko A. M. Analiz perspektyvy zastosuvannya remontu, metodom hil'zuvannya, vodopropusknykh trub, yak riznovydu hidrotekhnichnykh sporud transportnoho budivnytstva / Onyshchenko A. M., Harkusha M. V. // Zbirnyk naukovykh prats' vydayet'sya za pidsumkamy shchorichnoyi Mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi «Suchasni tekhnolohiyi ta dosyahnennya inzhenernykh nauk v haluzi hidrotekhnichnoho budivnytstva ta vodnoyi inzheneriyi» – Kherson: KHDAEU, 2021. – Vyp. 3. С. 147 – 150.

---

**Artur Onyshchenko**, D.Sc., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

**Mykola Harkusha**, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-5388-0561>

**Mykola Klymenko**, <https://orcid.org/0000-0002-7967-5881>

National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

## ANALYSIS OF DESIGN AND CONSTRUCTION OF HYDROTECHNICAL STRUCTURES OF TRANSPORT CONSTRUCTION IN THE FORM OF WATER PIPES MADE OF POLYMER MATTERS

### *Abstract*

**Introduction.** The use of modern materials in the road industry is increasingly common in the construction of roads, one of the modern materials is the use of polymer culverts. The analysis of application of plastic culverts on highways is carried out in the work. The general provisions of design and construction of hydraulic structures of transport construction in the form of culverts made of polymeric materials on highways are given. The existing hydraulic calculation, strength calculations of culverts made of polymeric materials on highways are given.

**Problem statements.** From the literature analysis it is established that culverts made of polymeric materials on highways are in difficult operating conditions, which differ from the operating conditions of reinforced concrete and metal pipes.

**Purpose.** Is to study the effectiveness of culverts made of polymeric materials.

**Results.** The analysis of physical and mechanical properties of culverts made of polymeric materials on highways is carried out. Methods of calculation of culverts from polymeric materials on highways are given. As a result of the conducted researches the analysis of efficiency of application of culverts from polymeric materials on highways is executed.

On the basis of the conducted researches the basic requirements to culverts from polymeric materials on highways are established.

**Conclusions.** The results of the research were used in the development of a plan of experimental research to improve regulations for the design, construction and repair of culverts made of polymeric materials on highways. The use of polymer pipes will make it possible to make progressive technical solutions for drainage in road projects.

**Keywords:** highways, culverts, hydraulic structures, durability, transport construction.

УДК 625.7

Бондар Т. В., <https://orcid.org/0000-0001-9693-5545>Беленчук О. В., <https://orcid.org/0000-0003-0525-0546>Пина О. Г., <https://orcid.org/0000-0002-5808-4679>Міненко Є. В., <https://orcid.org/0000-0001-8547-9089>

*Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна*

---

## АНАЛІЗ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЗАХОДІВ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В УКРАЇНІ ЗА ПЕРІОД (2011–2020) РОКИ

### *Анотація*

**Вступ.** Небажаними наслідками стрімкого збільшення автомобільного парку є зростання рівня аварійності та кількості загиблих і травмованих в дорожньо-транспортних пригодах (ДТП). Позитивний досвід інших країн показує, що встановлення цільових показників щодо зменшення кількості жертв ДТП на автомобільних дорогах шляхом впровадження обґрунтованих заходів направлених на ліквідацію домінуючих причин виникнення аварійності є найефективнішим способом досягти бажаного результату щодо підвищення безпеки учасників дорожнього руху.

**Проблематика.** З огляду на величезні економічні збитки від скоєння ДТП, підвищення безпеки дорожнього руху є пріоритетним завданням в політиці багатьох країн світу упродовж останніх десятиліть. У зв'язку з цим міжнародне співтовариство приділяє значну увагу розробленню цільових програм та реалізації заходів з безпеки дорожнього руху, спрямованих на запобігання дорожньо-транспортному травматизму. Зокрема, Генеральна Асамблея ООН 02 березня 2010 р. прийняла Резолюцію № 64/255 «Підвищення безпеки дорожнього руху в усьому світі» якою було проголошено 2011–2020 роки «Десятиліттям дій щодо забезпечення безпеки дорожнього руху» з метою скоротити кількість смертей від травм, отриманих в результаті ДТП — на 50 %. Україна, через територію якої пролягає сім міжнародних транспортних коридорів [1], не залишилася осторонь вирішення загальної проблеми і приєдналася в 2011 році до ініціативи ООН щодо зниження рівня смертності унаслідок ДТП, щонайменше на 30 % [2]. Для оцінки досягнутого результату важливо проаналізувати статистику аварійності і встановити, чи вдалося досягнути намічених результатів завдяки впровадженню запланованих заходів з підвищення безпеки дорожнього руху.

**Мета.** У статті розглянуто динаміку аварійності та кількості жертв ДТП в Україні за період 2011–2020 рр., а також проаналізовано основні причини скоєння ДТП на дорогах загального користування, зокрема на дорогах державного значення, з метою оцінки результату проведення Десятиліття дій з безпеки дорожнього руху та надання рекомендацій щодо подальшого зниження показників смертності на вітчизняних дорогах.

**Матеріали та методи.** В дослідженні було застосовано метод статистичної обробки даних щодо кількості ДТП та їх жертв в Україні та метод системного аналізу факторів ризику, що були причиною скоєння ДТП.

**Результати.** Встановлено, що загальна кількість загиблих в ДТП за період 2011–2020 рр. скоротилася в Україні на 27,8 %, а на автомобільних дорогах загального користування на 44,0 %. Але, враховуючи що з 2014 р. відсутні дані про ДТП в АР Крим та частково в Донецькій та Луганській областях, розглянуто показник зменшення кількості загиблих на 100 ДТП і, результат свідчить про скромніші досягнення: в Україні вдалося досягнути зменшення кількості загиблих на 100 ДТП на 14 %, а на автомобільних дорогах загального користування — лише на 5,4 %.



**Висновки.** Аналіз аварійності створює інформаційне підґрунтя для усвідомлення масштабу проблеми дорожнього травматизму, оцінки результату від впроваджених заходів з підвищення безпеки руху, динаміки позитивного чи негативного розвитку ситуації, а також дозволяє обґрунтовано планувати заходи з покращення дорожніх умов, направлені на зниження показників рівня смертності на автомобільних дорогах.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, аварійність, безпека дорожнього руху, дорожньо-транспортна пригода, ДТП, загиблій, травмований.

### Вступ

Швидке зростання автомобільного парку потребує безперервного спостереження за динамікою аварійності та впровадження економічно обґрунтованих заходів з підвищення безпеки дорожнього руху. Важливу роль в усвідомленні проблеми безпеки дорожнього руху в країні відіграє доступність інформації про стан аварійності, яка допомагає встановити найважливіші причини її виникнення. Безперечно, що зменшення рівня аварійності та тяжкості наслідків ДТП можливе лише за умови ретельного вивчення домінуючих причин виникнення аварій та ефективної інтерпретації результатів такого аналізу в цільові показники, які б могли поліпшити безпеку дорожнього руху. Виходячи з міжнародного досвіду встановлено, що достовірна статистична інформація про кількість і точне місцезонаження ДТП допомагає визначити основні причини виникнення аварійності і дає можливість обґрунтовано планувати заходи з підвищення безпеки дорожнього руху на кращій професійній основі, а також оцінювати результати від впровадження цих заходів.

Для досягнення мети, поставленої у 2010 р. Резолюцією № 64/255 «Підвищення безпеки дорожнього руху в усьому світі» щодо скорочення рівня смертності від ДТП, Генеральна Асамблея ООН проголосила 2011-2020 рр. «Десятиліття дій по забезпеченню безпеки дорожнього руху», до якого у травні 2011 року приєдналася Україна. Цей план був покликаний вирішенню однієї з найбільших проблем людства — проблеми зниження смертності та травматизму на автомобільних дорогах і Україна, з огляду на вивчення позитивного досвіду інших країн щодо скорочення кількості жертв ДТП, теж зобов'язана керуватися подібними принципами у розробленні стратегії з дорожньої безпеки.

В рамках реалізації «Десятиліття дій по забезпеченню безпеки дорожнього руху» на вітчизняних дорогах, було розроблено Стратегію підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні [2], на основі якої було розроблено план заходів щодо реалізації Стратегії підвищення безпеки дорожнього руху на період до 2020 року та затверджено Державну програму підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року [3].

З метою оцінки отриманого результату важливо проаналізувати статистику аварійності і встановити, чи вдалося досягнути намічених результатів завдяки впровадженню запланованих заходів з підвищення безпеки дорожнього руху за згадане десятиріччя. Дані про аварійність необхідні для усвідомлення стану безпеки дорожнього руху в державі, простеження динаміки позитивного чи негативного розвитку ситуації, обґрунтованого планування заходів з безпеки дорожнього руху з огляду на виявлені закономірності домінуючих чинників ризику виникнення ДТП та їх негативних наслідків. Досвід успішних країн демонструє, що статистична інформація про ДТП, коли і де вони трапилися та які саме заходи можуть знизити їх кількість, чи зменшити тяжкість наслідків при скоєнні ДТП є необхідною підставою для вдалої боротьби із аварійністю.

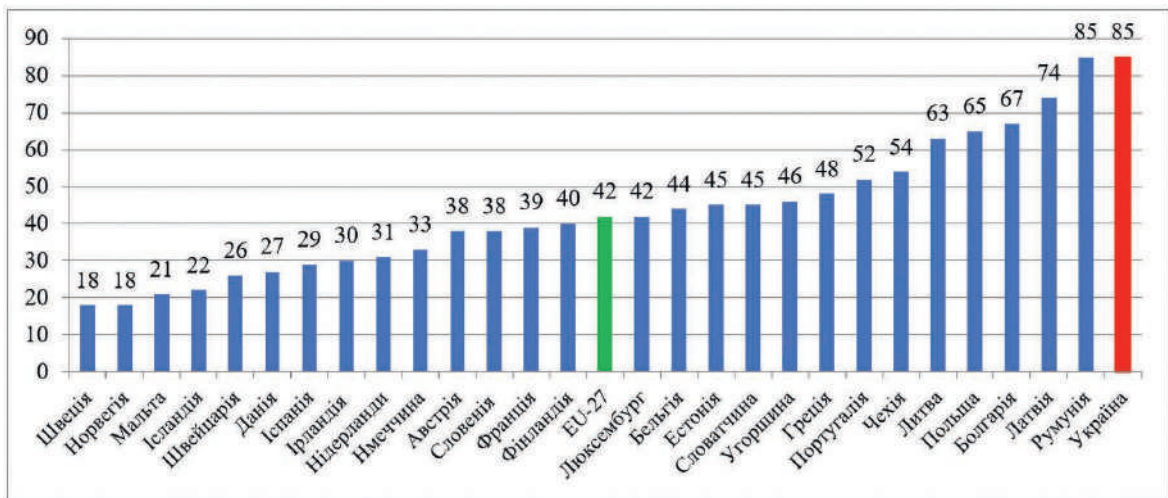
Вирішення проблеми щодо зменшення смертності при скоєнні ДТП залишається головним завданням зацікавлених підприємств і суспільства в цілому. Детальна інформація про аварійність дає можливість обґрунтовано планувати ефективні заходи з підвищення безпеки дорожнього руху на професійній основі та оцінювати результат від впроваджених заходів. Надійність результату залежить від того, настільки точними і повними є дані про аварійність, оскільки ці дані характеризують чинники ризику, що впливають на виникнення ДТП та тяжкість їх наслідків.

## Основна частина

Метою забезпечення безпеки дорожнього руху є зниження рівня аварійності, зменшення тяжкості наслідків від ДТП та забезпечення комфортних умов для всіх категорій учасників дорожнього руху.

Розглянемо зміну показників аварійності та смертності на вітчизняних дорогах за період (2011–2020) рр., проголошений Генеральною Асамблеєю ООН «Десятиліттям дій щодо забезпечення безпеки дорожнього руху», що спонукає зупинити тенденцію до зростання числа випадків смерті в результаті ДТП.

За період (2011–2020) рр., кількість загиблих в дорожніх аваріях в EU-27 зменшилася на 36 % та становить в середньому 42 особи на 1 млн населення [4]. За цей же період, в Україні, цей показник знизився на 20,9 % — до 85 осіб і, нажаль, є одним з найвищих у європейському регіоні, що більше ніж вдвічі перевищує середньоєвропейський (рис. 1).



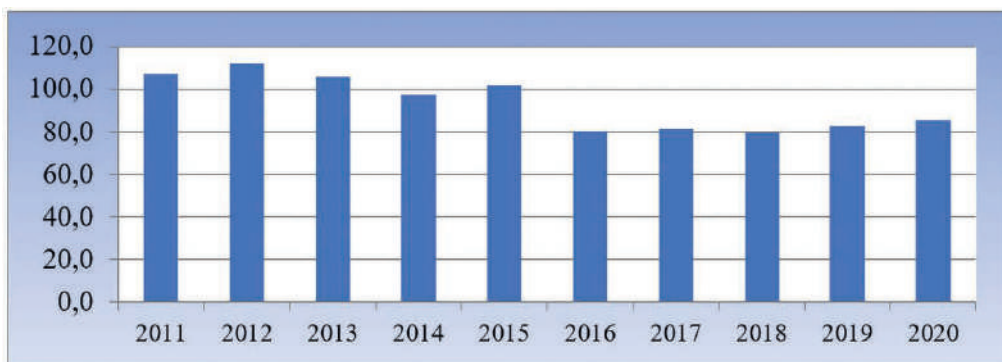
**Рисунок 1** — Порівняння кількості загиблих в ДТП на 1 млн населення в країнах ЄС та в Україні (2020 р.)

Стрімке збільшення кількості транспортних засобів призводить до зростання рівня аварійності та смертності внаслідок ДТП і тому підвищення безпеки дорожнього руху є пріоритетним завданням в політиці багатьох країн світу, у тому числі і в Україні. Темпи розвитку та модернізації мережі автомобільних доріг і дорожньої інфраструктури в Україні та обладнання їх сучасними технічними засобами забезпечення безпеки учасників дорожнього руху не поспівають за збільшенням автомобільного парку, що сприяє зростанню аварійності та впливає на тяжкість наслідків ДТП.

На думку спеціалістів, вирішення проблеми ліквідації небажаних наслідків автомобілізації неможливе без встановлення вимірних цілей щодо зниження рівня аварійності, яких можна досягти лише шляхом визначення основних причин виникнення ДТП, розроблення та впровадження обґрунтованих заходів, спрямованих на їх ліквідацію, що безумовно має вплив на зменшення кількості загиблих та травмованих в ДТП. Аналіз причин виникнення аварійності дозволяє на кращій професійній основі планувати та впроваджувати першочергові та ефективні заходи з підвищення безпеки дорожнього руху, що і передбачено в статті 24 Закону України «Про дорожній рух».

У зв'язку з цим, останнім часом значна увага приділялася розробленню та реалізації практичних заходів з безпеки дорожнього руху, спрямованих на запобігання дорожньо-

транспортному травматизму що спонукає зупинити тенденцію до зростання числа випадків смерті в результаті ДТП [3]. Але, нажаль, план заходів щодо реалізації Стратегії з підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 р. розпочався з великим запізненням і, тому не всі заплановані заходи вдалося впровадити вчасно та в повній мірі у зазначений термін. І все ж таки, вжиті зусилля дали певний позитивний результат (**рис. 2**).



**Рисунок 2** — Динаміка кількості загиблих в ДТП на 1 млн населення в Україні по роках

Як видно з **рис. 2**, показник кількості загиблих на 1 млн населення в Україні за період 2011–2020 рр. поступово знижувався до 2016 р., а потім мав майже постійне значення і, дещо підвищився в 2020 р. Але, все ж таки, за десятилітній період вдалося досягнути зниження показника смертності в ДТП на 1 млн населення на 20,8 % (із 106 чел. до 85 чел.).

Загальна кількість ДТП в Україні (із загиблими чи травмованими та лише з матеріальним збитком) та ДТП із загиблими чи травмованими скромно, але зменшилася за період (2011–2020) рр. на 16 % та 28 % відповідно (**рис. 3**).



**Примітка.** З 2014 р. дані без АР Крим та частково Донецької і Луганської областей

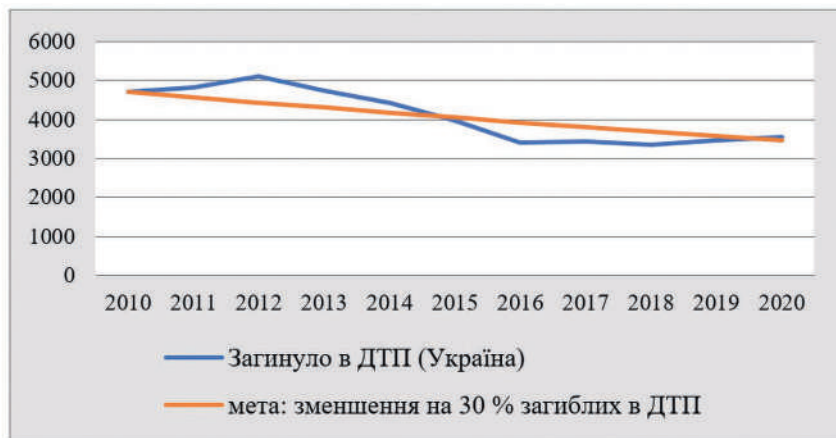
**Рисунок 3** — Динаміка усього ДТП та ДТП з постраждалими за десятирічний період в Україні

Слід відмітити, що на дорогах загального користування кількість усього ДТП за цей же період зменшилася на 30,3 %, а кількість ДТП із загиблими та/чи травмованими — на 43,8 % (**рис. 4**).



**Рисунок 4** — Динаміка усього ДТП та ДТП з постраждалими за десятирічний період на автомобільних дорогах загального користування

Загальна кількість загиблих у ДТП в Україні за десятирічний період (2011–2020) рр. знизилася на 27,8 % і, майже досягла проголошеної Генеральною Асамблеєю ООН мети щодо зменшення смертності на вітчизняних дорогах на 30 %, в рамках «Десятиліття дій щодо забезпечення безпеки дорожнього руху» (рис. 5).

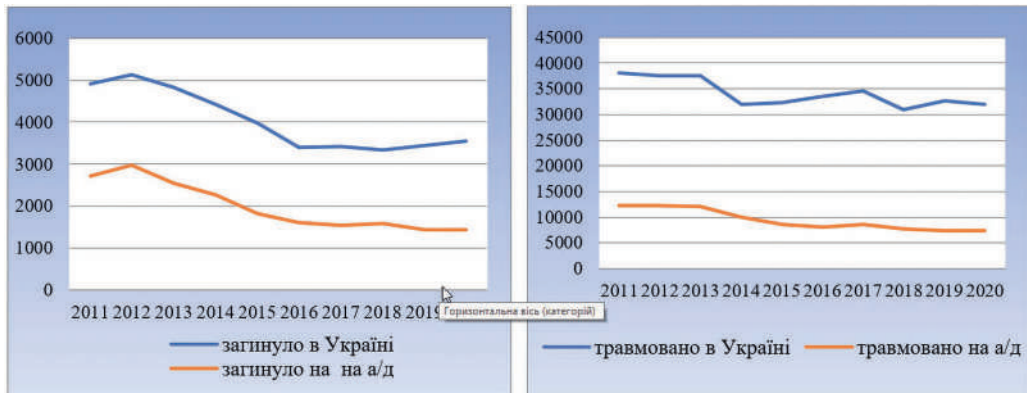


**Рисунок 5** — Динаміка кількості загиблих в ДТП в Україні за (2011–2020) рр.

Але потрібно не забувати і про кількість травмованих в ДТП, оскільки це трагедія для суспільства в цілому, рідних та близьких людей, що потрапили в ДТП. Слід зазначити, що кількість травмованих в ДТП в Україні зменшилася за період (2011–2020) рр. на 16,3 % (з 38 178 осіб до 31 974 осіб).

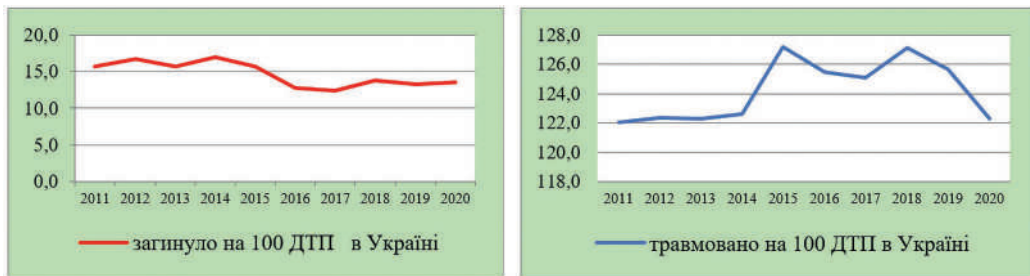
На автомобільних дорогах загального користування вдалося досягти кращого результату, де кількість загиблих в ДТП за цей же період знизилася на 44,0 %, а травмованих на 40,1 % (рис. 6).

Варто зазначити, що з 2014 року відсутня статистика ДТП по АР Крим та частково по Донецькій і Луганській областях. Тому, для об'єктивності, розглянемо відносні показники жертв аварійності в Україні на 100 ДТП (рис. 7).



**Примітка.** З 2014 р. дані без АР Крим та частково Донецької і Луганської областей

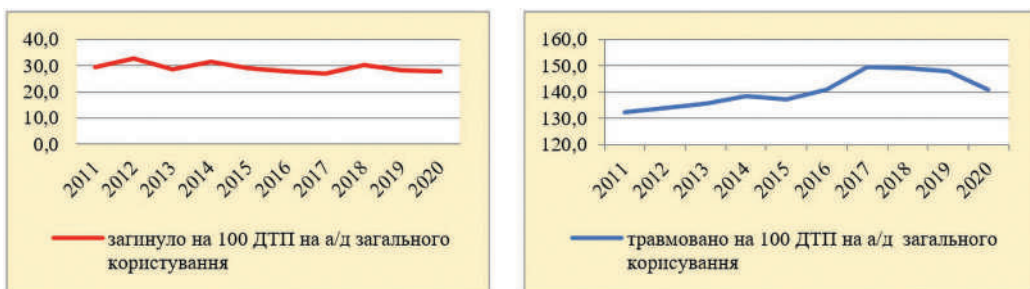
**Рисунок 6** — Динаміка кількості загиблих та травмованих в Україні у т. ч. на автомобільних дорогах загального користування



**Рисунок 7** — Динаміка кількості загиблих та травмованих на 100 ДТП в Україні

Як видно з **рис. 7**, кількість загиблих на 100 ДТП в Україні за період (2011–2020) рр. скромно знизилася з 15,7 чол. до 13,5 чол. А от кількість травмованих, після значного зростання в 2015 р. та 2018 р., майже повернулася до рівня 2011 року і становить 122,3 чол. на 100 ДТП. Викладене змушує зробити невтішні висновки про те, що рівень смертності на 100 ДТП в Україні з 2011 р. до 2020 р. знизився лише на 14 %, що нижче запланованого відповідно до [2] показника — 30 %. Не вдалося, за вказаний період, досягнути і зменшення в Україні кількості травмованих на 100 ДТП.

Дещо гірша справа на дорогах загального користування, де кількість загиблих на 100 ДТП, за вказаний період, знизилася лише на 5,4 % (з 29,3 чол. до 27,7 чол.), а травмованих, навпаки, зросла на 7,0 % (із 132,4 чол. до 141,7 чол.) (**рис. 8**). Варто зазначити, що значне збільшення кількості травмованих на 100 ДТП спостерігалось у 2017–2019 рр.



**Рисунок 8** — Динаміка кількості загиблих та травмованих на 100 ДТП на автомобільних дорогах загального користування

Нажаль, смертність на дорогах загального користування в середньому вдвічі вища ніж в цілому по Україні, що можна частково пояснити високими швидкісними режимами руху і невчасно наданою медичною допомогою постраждалим у ДТП, недосконалою системою захисту учасників дорожнього руху від помилок та порушенням Правил дорожнього руху.

Отже, можна зробити висновки, що в рамках Десятиліття дій з безпеки дорожнього руху за період (2011–2020) рр. загальна кількість загиблих у ДТП в Україні в цілому скоротилася на 27,8 %, а на автомобільних дорогах загального користування — на 44,0 %. Але, слід відзначити, що з 2014 року в загальну статистику аварійності не увійшли дані по АР Крим та частково по Донецькій і Луганській областях.

Якщо ж розглянути відносні показники загиблих на 100 ДТП по Україні, то цей показник знизився на 14,0 %, а на автомобільних дорогах загального користування — лише на 5,4 %. Результат досить скромний. Тому в наступні роки потрібно більш ретельно планувати заходи з підвищення безпеки руху на основі детального аналізу причин виникнення ДТП, а також за результатами проведених перевірок безпеки автомобільних доріг, направлених на упередження виникнення аварійності та пом'якшення тяжкості наслідків ДТП згідно з [5].

### **Приклад аналізу основних чинників ризику виникнення аварійності на автомобільних дорогах загального користування**

Для вдалого управління безпекою автомобільних доріг необхідно проводити детальний аналіз аварійності, що і відображено в статті 24 Закону України «Про дорожній рух», де зазначено, що при виконанні робіт по ремонту і утриманню автомобільних доріг, вулиць та залізничних переїздів дорожньо-експлуатаційні організації у першочерговому порядку повинні здійснювати заходи щодо безпеки дорожнього руху на основі обліку і аналізу дорожньо-транспортних пригод, результатів обстежень і огляду автомобільних доріг, вулиць та залізничних переїздів, і передусім на аварійних і небезпечних ділянках та у місцях концентрації дорожньо-транспортних пригод. Тобто, аналіз аварійності складає інформаційне підґрунтя для розроблення заходів з підвищення безпеки руху.

Отже, для ефективного планування заходів з підвищення безпеки руху потрібно установити перелік основних чинників ризику виникнення ДТП. Слід зазначити, чим детальніший і більш повний буде виконано аналіз ДТП, тим ефективніші заходи з підвищення безпеки учасників дорожнього руху будуть призначені. Аналіз аварійності та кількості жертв ДТП потрібно виконувати виходячи з наявних даних та досвіду виконавця, але обов'язково слід проаналізувати дані про види скоєних ДТП, розподіл їх за періодам року і порам доби, проаналізувати зафіксовані порушення Правил дорожнього руху та недоліки в утриманні автомобільних доріг. Окремо можна розглянути інші аспекти розподілу аварійності, наприклад, аналіз причин виникнення окремих видів ДТП чи ДТП, що сталися в темну пору доби тощо, що безумовно дозволить виявити додаткові чинники ризику, що впливають на виникнення аварійності.

Для прикладу, розглянемо розподіл аварійності на автомобільних дорогах загального користування за видами пригод за 2020 р. (**рис. 9**).

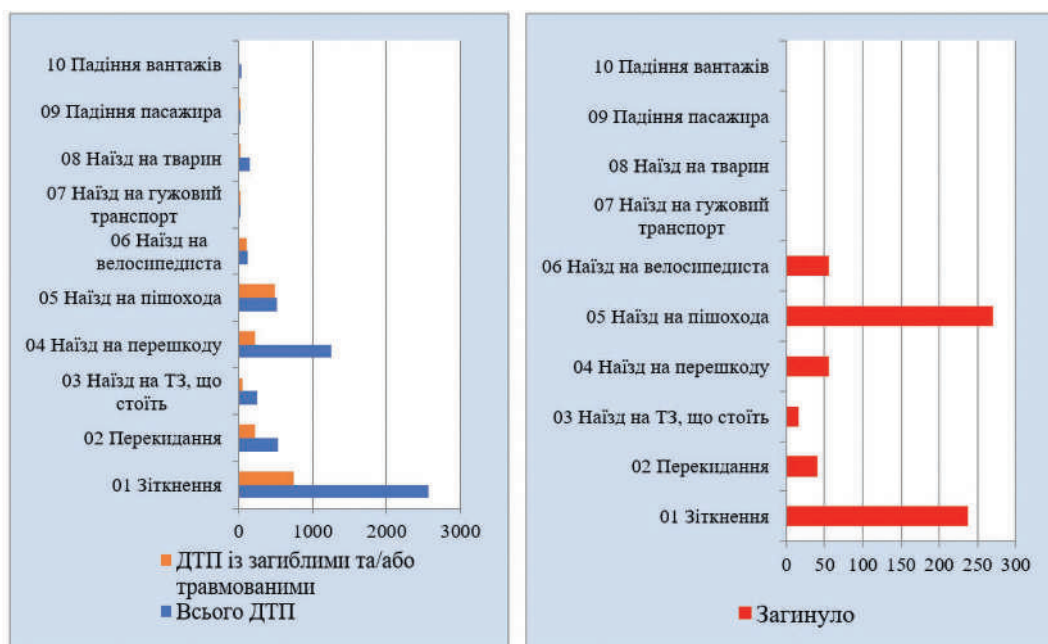
Із даних, що наведені на **рис. 9**, можна зробити висновок, що найбільша кількість загиблих у ДТП на автомобільних дорогах загального користування стається при «зіткненні», «наїзді на пішохода», «наїзді на перешкоду» та «наїзді на велосипедиста». Отже, при призначенні заходів з підвищення безпеки руху потрібно звернути особливу увагу на ділянки доріг з незабезпеченою видимістю, на організацію дорожнього руху на перехрестях та примиканнях доріг, на наявність в необхідних місцях пішохідних та велосипедних переїздів та обладнання їх якісними технічними засобами організації дорожнього руху, наявність та експлуатаційний стан тротуарів/велосипедних доріжок, видимість дорожніх знаків та розмітки, а також на стан узбіччя та наявність близько розташованих перешкод, а також на наявність і стан відведених майданчиків для паркування транспортних засобів.



Примітка. Види ДТП вказано без деталізації.

**Рисунок 9** — Розподіл аварійності за видами пригод та кількість загиблих при скоєнні окремих видів ДТП на автомобільних дорогах загального користування (2020 р.)

Для більш точного визначення причини скоєння ДТП рекомендовано розглянути розподіл ДТП в темну пору доби (**рис. 10**).



Примітка. Види ДТП вказано без деталізації.

**Рисунок 10** — Розподіл аварійності за видами пригод та кількість загиблих при скоєнні певних видів ДТП в темну пору доби на автомобільних дорогах загального користування (2020 р.)

Порівнюючи дані **рис. 9** та **рис. 10**, можна зробити висновок, що в темну пору доби більша кількість загиблих в таких видах ДТП; «наїзд на пішохода» та «наїзд на велосипедиста», а також велика кількість загиблих залишається і при скоєнні ДТП «зіткнення». Отже, додатково потрібно дослідити забезпечення безпеки уразливих учасників дорожнього руху в темну пору доби, а саме: перевірити наявність та відповідність вимогам нормативних документів штучного освітлення наземних пішохідних переходів та велосипедних переїздів, тротуарів, пішохідних та велосипедних доріжок, видимість дорожніх знаків та розмітки у темну пору доби.

Розглянувши, для прикладу, вид ДТП «наїзд на пішохода» з деталізацією, на дорогах державного значення за 2020 р., можна зробити висновок, що найбільша кількість ДТП сталася при переході пішохода через дорогу поза межами пішохідного переходу, коли пішохід рухався вздовж дороги у попутному напрямку, а також на нерегульованих пішохідних переходах чи коли пішохід стояв на проїзній частині (**рис. 11**).



**Рисунок 11** — Розподіл виду ДТП «наїзд на пішохода» на дорогах державного значення за порами доби (2020 р.)

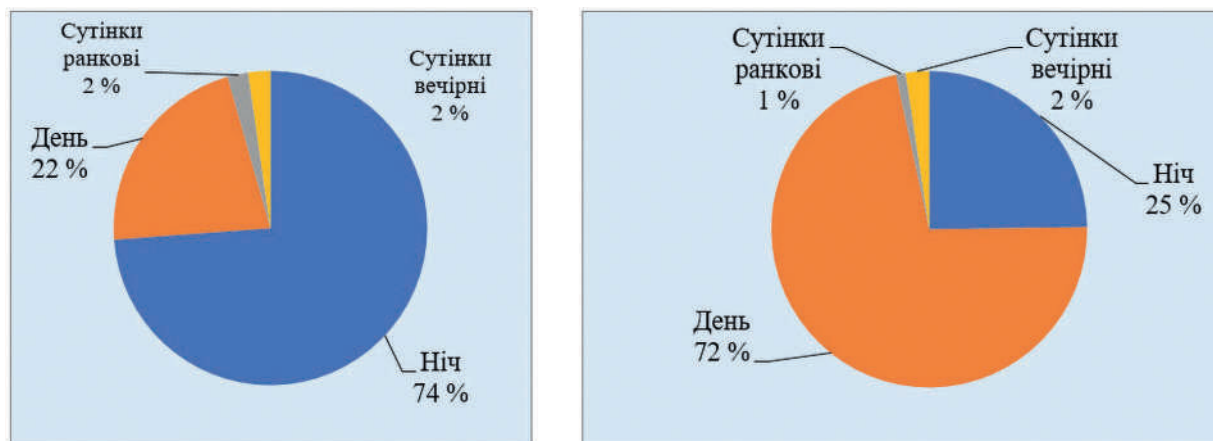
В цілому на дорогах державного значення, більша частка виду ДТП «наїзд на пішохода» трапляється в темну пору доби і, слід зазначити, така тенденція зберігається протягом багатьох років. При скоєнні ДТП «зіткнення» — навпаки, більша їх частка трапляється у світлу пору доби, але вагомою їх частка залишається і в темну пору доби (**рис. 12**).

Отже, при розробленні заходів з підвищення безпеки дорожнього руху потрібно звернути особливу увагу на забезпечення видимості зони пішохідних переходів у темну пору доби (дорожніх знаків та розмітки), наявність пішохідного огороження (за потреби), наявність тротуарів/пішохідних доріжок та їх експлуатаційний стан, освітлення зони пішохідних переходів та підходів до них.

З метою зменшення виду ДТП «зіткнення» потрібно звернути особливу увагу на видимість дорожніх знаків та розмітки, організацію дорожнього руху в межах перехресть, стан дорожнього покриття та узбіччя, наявність облаштованих зон для розвороту, наявність віражу на кривих у плані, забезпечення видимості у напрямку руху нормативним вимогам, наявність додаткових смуг



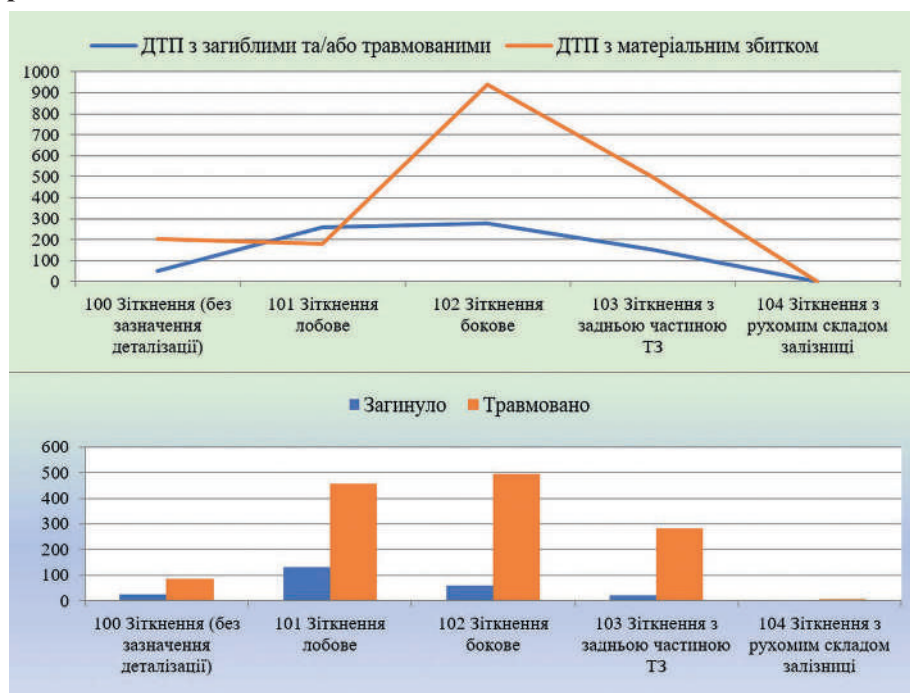
на підйом, забезпечення водовідведення з проїзної частини та узбіччя, наявність штучного освітлення в передбачених нормативними документами місцях, наявність майданчиків для стоянки транспортних засобів.



- а) ДТП «наїзд на пішохода»;  
б) ДТП «зіткнення».

**Рисунок 12** — Порівняння розподілу ДТП «наїзд на пішохода» та «зіткнення» на дорогах державного значення за порами доби (2020 р.)

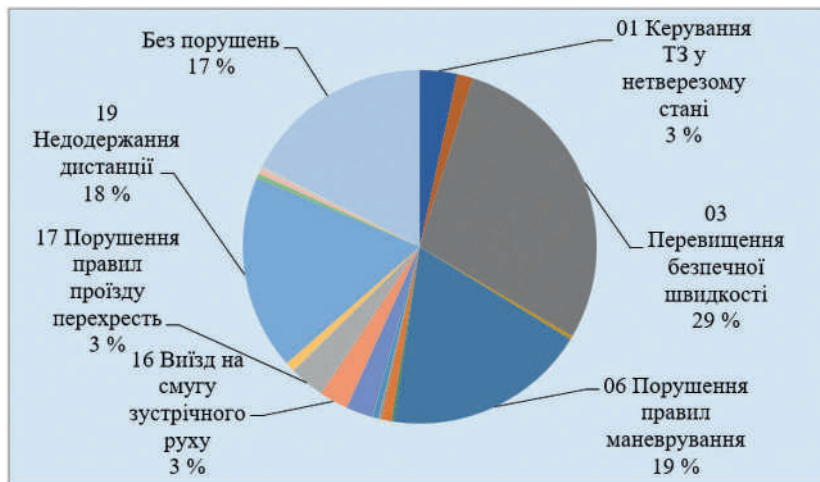
Розподіл ДТП «зіткнення» з деталізацією видів пригод та їх наслідки в темну пору доби наведено на **рис. 13**.



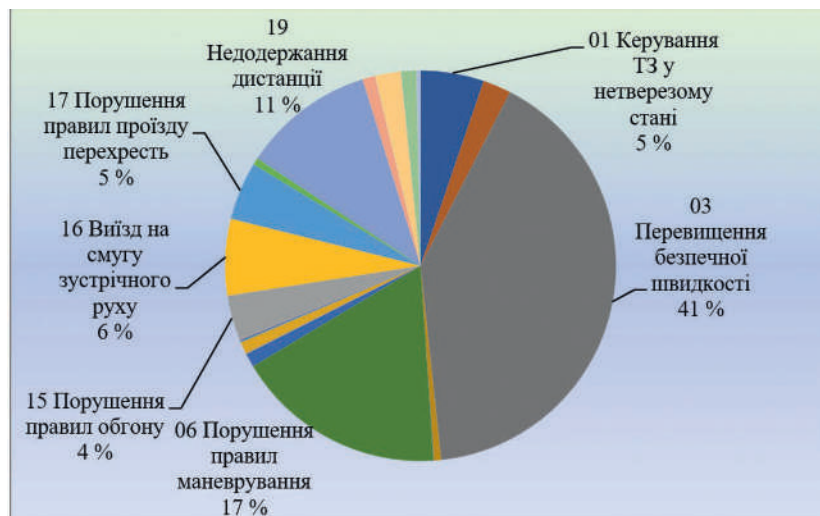
**Рисунок 13** — Розподіл виду ДТП «зіткнення» на дорогах державного значення в темну пору (2020 р.)

Із даних, що наведені на **рис. 13**, бачимо, що в темну пору доби на дорогах державного значення вагома частка ДТП із загиблими та/або травмованими — «зіткнення бокове» та при обгоні — «зіткнення лобове». Слід звернути увагу на серйозність тяжкості наслідків ДТП при лобовому та боковому зіткненні (**рис. 13**). Тому, при розробленні заходів з підвищення безпеки дорожнього руху потрібно приділити особливу увагу організації дорожнього руху на перехрестях на ділянках з обмеженою видимістю у напрямку руху, звернути увагу на стан узбіччя та забезпечення видимості дорожніх знаків і розмітки у темну пору доби, а також на наявність зупинкових майданчиків маршрутних транспортних засобів та наявність майданчиків для стоянки транспортних засобів.

Щодо порушень Правил дорожнього руху, то слід зазначити, що на дорогах загального користування із року в рік при скоєнні ДТП переважають перевищення безпечної швидкості, порушення правил маневрування та недотримання дистанції (**рис. 14** та **рис. 15**). При цьому, перевищення безпечної швидкості має серйозніші наслідки при скоєнні ДТП (**рис. 15**).



**Рисунок 14** — Основні порушення Правил дорожнього руху при скоєнні всього ДТП на дорогах загального користування (2020 р.)



**Рисунок 15** — Основні порушення Правил дорожнього руху при скоєнні ДТП із загиблими та/або травмованими на дорогах загального користування (2020 р.)

Слід зазначити, що часто при перевищенні безпечної швидкості фіксують і «виїзд на смугу зустрічного руху» (6 %) та «порушення правил обгону» (4 %).

Подібна картина порушень Правил дорожнього руху спостерігається і на дорогах державного значення (табл. 1).

*Таблиця 1*

**Порушення Правил дорожнього руху при скоєнні ДТП на дорогах державного значення (2020 р.)**

Порушення Правил дорожнього руху, зафіксоване поліцією при оформленні ДТП (шифр, вид порушення)	Всього ДТП	Процент від всього ДТП	ДТП із загиблими та/або травмованими	Процент від ДТП із загиблими чи травмованими
01 Керування ТЗ у нетверезому стані	703	4,23	173	5,34
02 Перевищення встановленої швидкості	290	1,74	77	2,38
03 Перевищення безпечної швидкості	5 790	34,84	1 319	40,71
04 Невиконання вимог сигналів регулювання	63	0,38	20	0,62
05 Порушення правил перевезення пасажирів	4	0,02	1	0,03
06 Порушення правил маневрування	3 694	22,23	561	17,31
07 Порушення правил проїзду пішохідних переходів	42	0,25	37	1,14
08 Порушення правил проїзду зупинок громадського транспорту	1	0,01	0	0
09 Порушення правил користування освітлювальними приладами	11	0,07	3	0,09
10 Порушення правил надання безперешкодного проїзду	184	1,11	30	0,93
11 Порушення правил зупинки і стоянки ТЗ	45	0,27	2	0,06
12 Порушення правил проїзду залізничних переїздів	11	0,07	1	0,03
13 Порушення правил перевезення вантажів	105	0,63	4	0,12
14 Порушення правил буксирування	9	0,05	1	0,03
15 Порушення правил обгону	493	2,97	121	3,73
16 Виїзд на смугу зустрічного руху	537	3,23	207	6,39
17 Порушення правил проїзду перехресть	660	3,97	158	4,88
18 Управління несправним ТЗ	182	1,1	19	0,59
19 Недодержання дистанції	3 565	21,45	349	10,77
20 Перевтома, сон за кермом	85	0,51	34	1,05
21 Порушення правил проїзду великогабаритних та великовагових ТЗ	10	0,06	1	0,03
22 Перехід у невстановленому місці	80	0,48	69	2,13
23 Невиконання вимог сигналів регулювання	1	0,01	1	0,03
24 Неочікуваний вихід на проїзну частину	43	0,26	41	1,27
25 Пішохід у нетверезому стані	12	0,07	11	0,34

Аналізуючи дані **табл. 1**, бачимо, що особливо тяжкі наслідки при скоєнні ДТП трапляються при таких порушеннях Правил дорожнього руху: «перевищення безпечної швидкості» (40,7 %), «порушення правил маневрування» (17,3 %) та «недотримання дистанції» (10,8 %). Але, потрібно відзначити і інші порушення Правил дорожнього руху водіями, наприклад, «керування у нетверезому стані» (5,3 %), «порушення правил обгону» (3,7 %), «виїзд на смугу зустрічного руху» (6,4 %) та

«порушення правил проїзду перехресть» (4,9 %), які можуть бути зафіксовані при скоєнні ДТП як окремо, так і в сукупності з іншими порушеннями. Така тенденція порушень Правил дорожнього руху зберігається із року в рік, але для розроблення заходів з підвищення безпеки руху для кожної автомобільної дороги потрібно зробити індивідуальний аналіз.

З урахуванням викладеного, при плануванні заходів з підвищення безпеки дорожнього руху при обстеженні доріг, потрібно звернути увагу на забезпечення видимості у напрямку руху, наявність додаткової смуги руху на підйом, організацію маршрутного орієнтування на транспортних розв'язках. У населених пунктах та на підходах до них потрібно розглянути можливість застосування засобів заспокоєння руху відповідно до [6].

Отже, для призначення ефективних заходів із зниження рівня аварійності та зменшення кількості жертв ДТП, вкрай важливо дослідити основні причини виникнення аварійності, які пов'язані з виникненням певного виду ДТП, часом доби, періодом року, видами порушень Правил дорожнього руху та недоліками в утриманні доріг тощо. Слід відзначити, що чим детальніший буде виконано аналіз ДТП, тим точніше будуть встановлені основні причини виникнення аварійності та призначено ефективні заходи з підвищення безпеки дорожнього руху. Досягнення запланованих результатів щодо скорочення рівня аварійності та кількості жертв ДТП потребує постійного контролю отриманих результатів та регулярного корегування програми з підвищення безпеки всіх користувачів дорожнього руху.

### Висновки

На сьогодні в Україні рівень смертності внаслідок ДТП поки що є одним з найвищих у Європі, хоча за період (2011–2020) рр., що проголошений Генеральною Асамблеєю ООН «Десятиліттям дій щодо забезпечення безпеки дорожнього руху», до якого приєдналася наша країна у травні 2011 р., вдалося досягнути зниження показника смертності в ДТП на 1 млн населення на 20,8 % (із 106 чол. до 85 чол.).

Загальна кількість загиблих в ДТП за період 2011–2020 рр. скоротилася в Україні на 27,8 %, а на автомобільних дорогах загального користування на 44,0 %. Але, враховуючи що з 2014 р. відсутні дані про ДТП в АР Крим та частково в Донецькій та Луганській областях, було розглянуто зменшення відносного показника кількості загиблих на 100 ДТП і, результат свідчить про скромніші досягнення: в Україні вдалося досягнути зменшення кількості загиблих на 100 ДТП на 14,0 %, а на автомобільних дорогах загального користування — лише на 5,4 %.

Отже, для досягнення позитивного результату щодо скорочення кількості жертв ДТП в Україні, вкрай важливо:

- ставити вимірні цілі щодо скорочення кількості жертв ДТП на вітчизняних дорогах;
- планувати та впроваджувати обґрунтовані заходи з підвищення безпеки руху за результатами детального аналізу основних причин скоєння ДТП, в першу чергу на дорогах з підвищеним рівнем аварійності;
- проводити перевірку безпеки автомобільних доріг згідно з [5], метою якої є покращення дорожніх умов направлених на упередження виникнення аварійності та пом'якшення наслідків ДТП, якщо такі стануться;
- контролювати виконання запланованих заходів з підвищення безпеки руху;
- оцінювати отриманий результат проведеної роботи.

Необхідно також переглянути і сам підхід до проблеми зменшення кількості жертв ДТП. Тобто, головним завданням при розробленні заходів з покращення дорожніх умов повинно стати не пошук винних і перекладання вини тільки на учасників дорожнього руху, а впровадження превентивних заходів, направлених на запобігання можливості допущення помилок (особливо це стосується мало захищених учасників дорожнього руху: пішоходів, велосипедистів), а у випадку скоєння ДТП, пом'якшення їх наслідків згідно з [5].

Додатковим дієвим стимулом для скорочення кількості жертв ДТП є доступність в суспільстві даних про аварійність та основні причини їх виникнення, пропаганда ЗМІ щодо дотримання Правил дорожнього руху.

### Список літератури

1. Про першочергові заходи щодо створення національної мережі міжнародних транспортних коридорів від 16.12.1996 № 1512 // База даних Законодавство України / Верховна Рада України. URL/: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1512-96-%D0%BF#Text> (дата звернення 02.03.2021).
2. Стратегія підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 14.06.2017 № 481-р // База даних Законодавство України / Кабінет Міністрів України. URL/: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/481-2017-%D1%80> (дата звернення 02.03.2021).
3. Державна програма підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року: Постанова Кабінету Міністрів України від 25.04.2018 № 435 // База даних Законодавство України / Кабінет Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-2018-%D0%BF> (дата звернення 02.03.2021).
4. European Commission. Press release. 20 April 2021. Brussels. Road safety: 4,000 fewer people lost their lives on EU roads in 2020 as death rate falls to all-time low. URL: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_21\\_1767](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_1767) (дата звернення 06.07.2021).
5. Порядок проведення перевірки безпеки автомобільних доріг, затверджений наказом Міністерства України від 18 травня 2021 року № 266, зареєстрований в Міністерстві юстиції України 02 червня 2021 р. за № 737/36359. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0737-21#Text>
6. ДСТУ 4123:2020 Безпека дорожнього руху. Засоби заспокоєння пуху. Загальні технічні вимоги. Київ, 2020, 25 с. (Інформація та документація).

### References

1. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 16.12. 1996 № 1512 «Pro pershocherhovi zakhody shchodo stvorennia natsionalnoi merezhi mizhnarodnykh transportnykh korydoriv». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1512-96-%D0%BF#Text> (Last accessed: 02.03.2021).
2. Stratehiia pidvyshchennia rivnia bezpeky dorozhnoho rukhu v Ukraini na period do 2020 roku: Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 14.06.2017 № 481-r // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Kabinet Ministriv Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/481-2017-%D1%80> (Last accessed: 02.03.2021).
3. Derzhavna prohrama pidvyshchennia rivnia bezpeky dorozhnoho rukhu v Ukraini na period do 2020 roku: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 25.04.2018 № 435 // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Kabinet Ministriv Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-2018-%D0%BF> (Last accessed: 02.03.2021).
4. European Commission. Press release. 20 April 2021. Brussels. Road safety: 4,000 fewer people lost their lives on EU roads in 2020 as death rate falls to all-time low. URL: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_21\\_1767](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_1767) (Last accessed 06.07.2021).
5. Poriadok provedennia perevirky bezpeky avtomobilnykh dorih, zatverdzhenyi nakazom Ministerstva Ukrainy vid 18 travnia 2021 roku № 266, zareiestrovanyi v Ministerstvi yustytzii Ukrainy 02 chervnia 2021 r. za № 737/36359. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0737-21#Text> [in Ukrainian].
6. State Standard of Ukraine (DSTU 4123:2020) Bezpeka dorozhnoho rukhu. Zasoby zaspokoieniia pukhu. Zahalni tekhnichni vymohy. Kyiv, 2020, 25 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

Tetiana Bondar, <https://orcid.org/0000-0001-9693-5545>  
Olha Belenchuk, <https://orcid.org/0000-0003-0525-0546>  
Oleksandr Pyna, <https://orcid.org/0000-0002-5808-4679>  
Yevhen Minenko, <https://orcid.org/0000-0001-8547-9089>

*M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine*

## ANALYSIS AND RESULTS OF MEASURES TO ENSURE ROAD SAFETY IN UKRAINE FOR THE PERIOD (2011–2020)

### *Abstract*

**Introduction.** Undesirable consequences of fast increase of the vehicle fleet are an increase in the level of accident rate and the number of deaths and injuries in traffic accidents (hereinafter accidents). The positive experience of other countries shows that objectives indicators for reducing the number of traffic accident victims by implementing reasonable measures to eliminate the dominant causes of accidents is the most effective way to achieve the desired result in improving traffic safety.

**Problem statement.** Considering the enormous economic lost caused by traffic accidents, improving of traffic safety has been a priority in the policies of many countries around the world in recent decades. In this regard, the international community pays considerable attention to the development of targeted programs and implementation of traffic safety measures directed at preventing the road traffic injuries. In particular, on March 2, 2010, the UN General Assembly adopted Resolution No. 64/255 «Improving Traffic Safety Worldwide», which proclaimed the 2011–2020 «Decade of Traffic Safety Actions» to reduce deaths from injuries sustained as a result of traffic accident — by 50%. Ukraine, through which seven international transport corridors run [1], did not stay away from solving the common problem and joined in 2011 to the UN initiative regarding reducing the death rate due to traffic accidents by at least 30 % [2]. For evaluation of the achieved result, it is important to analyze the accident statistics and determine whether the planned results were achieved through the implementation of planned measures to improve traffic safety.

**Purpose.** The article considers the dynamics of accident rate and the number of traffic accidents victims in Ukraine for the period 2011–2020, as well as analyzes the main causes of traffic accidents on the public roads, including roads of state importance, to evaluate the outcome of the Decade of Traffic Safety Actions and providing the recommendations for further decreasing of mortality on domestic roads.

**Materials and methods.** The study used the method of statistical processing of data on the number of accidents and their victims in Ukraine and the method of systematic analysis of risk factors that contributed to the accidents.

**Results.** It is determined that the total number of fatalities in traffic accidents for the period 2011–2020 decreased in Ukraine by 27.8 %, and on the public roads — by 44.0 %. However, considering that since 2014 there are no data on traffic accidents in Autonomous Republic of Crimea and partly in Donetsk and Luhansk regions, the indicator of decreasing of deaths per 100 traffic accidents and the result shows more modest achievements: in Ukraine it was possible to reduce deaths by 100 traffic accidents per 100 14 %, and on the public roads — only 5.4 %.

**Conclusions.** Accident rate analysis provides an information basis for understanding the scale of the problem of traffic injuries, evaluating the results of implemented measures to improve traffic safety, the dynamics of positive or negative developments, and allows to plan reasonably the measures to improve road conditions to reduce mortality on roads.

**Keywords:** road, accident, road safety, traffic accidents, dead, injured.

УДК 625.746.5

Гостєв Ю. Г., <https://orcid.org/0000-0002-0351-9591>

Кострульова Т. Є., <https://orcid.org/0000-0002-9554-1285>

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

## АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ТА МЕТОДІВ ВИПРОБУВАНЬ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ДОРОЖНЬОЇ РОЗМІТКИ ЗГІДНО УКРАЇНСЬКИХ ТА ЄВРОПЕЙСЬКИХ НОРМ

### *Анотація*

**Вступ.** Сучасний етап розвитку дорожньої галузі характеризується посиленням вимог до дорожньої розмітки. Для влаштування розмітки використовують різні матеріали: фарбу, мікрокульки скляні світлоповертальні, пластики холодного та гарячого нанесення, полімерні стрічки, готові штучні форми тощо. Кожен матеріал має свій власний набір унікальних характеристик, пов'язаних із довговічністю, світлоповертанням, вартістю нанесення та життєвого циклу.

**Проблематика.** У зв'язку з розширенням асортименту вибір матеріалів для розмітки стає складною задачею, він повинен проводитися з урахуванням таких вимог: забезпечення нормативної відстані видимості при будь-якій погоді, цілодобово; тривале збереження в незмінному вигляді (стійкість до умов навколишнього середовища); розмітка не повинна заважати транспортним засобам рухатися, посилювати ковзання.

Для того, щоб правильно вибрати матеріали для розмітки доріг, потрібно враховувати рівень навантаження на дорогу і передбачувані строки використання. З метою їх оптимального вибору, насамперед, необхідно здійснювати перевірку якісних характеристик матеріалів шляхом проведення випробувань за фізико-механічними, технологічними, функціональними характеристиками.

Усе частіше власники доріг висувають вимоги щодо перевірки якості матеріалів відповідно до європейських стандартів.

**Мета.** Провести порівняння технічних вимог та методів випробувань матеріалів для дорожньої розмітки згідно українських та європейських норм.

**Матеріали та методи.** Аналіз діючих в Україні та європейських стандартів щодо технічних вимог та методів випробувань матеріалів для дорожньої розмітки.

**Результати.** Розглянуті технічні вимоги до матеріалів для дорожньої розмітки, методи їх випробування, які відсутні в українських стандартах. Наведено перелік обладнання для проведення необхідних випробувань згідно європейських стандартів.

**Висновки.** За результатами проведеного аналізу можна сказати, що українські лабораторії для проведення контролю якості матеріалів за технічними характеристиками згідно європейських стандартів необхідно доукомплектувати новим обладнанням (апарат Трегера, віскозиметр Кребса-Стормера, рентгенофлуоресцентний аналізатор, стенд для випробування на зношення та інші), а також освоювати нові методики випробувань. Через значну вартість приладів та установок (наприклад, стенда для випробування на зношення) необхідно влаштовувати експериментальні ділянки на автомобільних дорогах або ж налагоджувати контакт з європейськими лабораторіями щодо можливості передачі їм зразків матеріалів на випробування.

**Ключові слова:** дорожня розмітка, мікрокульки скляні світлоповертальні, пластик гарячого нанесення, пластик холодного нанесення, фарба.

## Вступ

На сучасному етапі розвитку дорожньої галузі посилюються вимоги до дорожньої розмітки. Функціональна довговічність розмітки залежить від якості матеріалів, від технології нанесення розмітки, умов її експлуатації. Сьогодні розмітку влаштовують різними матеріалами: фарбою, пластиками холодного та гарячого нанесення, полімерними стрічками, штучними формами, а в окремих спеціальних випадках використовують керамічну і клинкерну бруківку, порцелянову крихту тощо [1–7]. З метою оптимального вибору матеріалів на стадії вхідного контролю необхідно здійснювати перевірку якісних характеристик шляхом проведення випробувань за фізико-механічними, технологічними, функціональними характеристиками.

## Основна частина

На даний момент в Україні контроль якісних характеристик матеріалів для дорожньої розмітки перевіряють згідно галузевих стандартів [8–11], у Європі згідно стандартів [12–17]. В українських стандартах нормується велика кількість показників та описані методи випробування цих показників. Що стосується європейських стандартів, то є окремо стандарти, в яких є вимоги до фізичних властивостей матеріалів з наведенням методів їх випробування, а є стандарти, в яких наведені методи випробування вже інших характеристик. Проаналізувавши усі ці стандарти, можна сказати, що по деяких матеріалах нормуються різні характеристики. Український стандарт [8] нормує 18 показників фарб — це і вимоги до технологічних (умовна в'язкість, час висихання до ступеня 3, співвідношення товщин рідкого та сухого шару фарби), фізико-механічних (адгезія, еластичність, твердість, густина), функціональних (показник зношування Табера, коефіцієнт зчеплення) характеристик. В українському, і в європейському стандарті є вимоги до координат колірності, коефіцієнта яскравості, стійкості до лугів, покривності, зниження коефіцієнта яскравості при взаємодії з бітумом. Однак, у [15] є вимоги до таких характеристик, які відсутні у [8]: ступінь суспензії і легкості перемішування, старіння від ультрафіолетового випромінювання, втрата маси після ущільнення, а у [13] є методи випробування з визначення вмісту органічних та неорганічних сполук, вмісту діоксиду титану, вмісту золи, вмісту розчинника, вмісту склокульок, що також не передбачає [8]. Для проведення випробувань за цими показниками необхідне спеціальне обладнання.

Для визначення вмісту органічних сполук необхідна високошвидкісна центрифуга, роторний випарник, інфрачервоний спектрометр, ультразвуковий розподільник. Вартісним є інфрачервоний спектрометр, ціна якого варіюється від 15 000 євро до 40 000 євро. Для визначення вмісту неорганічних сполук також використовується цей прилад та необхідний прес з пресформою для виготовлення гранул.

Для визначення вмісту розчинника у фарбах та пластиках холодного нанесення використовується хроматографічна система: газовий хроматограф, що являє собою 30 м капілярну колону з покриттям, яке складається із 6 % ціанопропілфенілу та 94 % диметилполісілоксану хімічно зв'язаного; з детектором іонізації полум'я. Вартість такої системи може сягати 100 000 євро. Не кожна українська лабораторія може собі дозволити придбання такого приладу.

Визначення вмісту діоксиду титану, вмісту золи та склокульок не потребує якогось специфічного обладнання, необхідні водяна баня, піщана баня, ваги, скляні колби та хімічні реактиви, такими приладами оснащена більшість лабораторій, які займаються випробуваннями дорожніх матеріалів.

В'язкість фарби відповідно до [15] випробовують за допомогою віскозиметра Кребса-Стормера з лопатевим ротором, її визначають в одиницях Кребса. Вартість такого віскозиметра — від 13 000 грн до 50 000 грн.



Випробування на старіння під впливом ультрафіолетового випромінювання проводять для різних типів ламп та з різною тривалістю випромінювання, для випробування використовують камери клімату Xenotest 250, Suntest or Suntest CPS+.

Втрату маси визначають як різницю між масою зразків на початку випробування та масою зразків після зберігання в прискорених умовах (дії тепла і ущільнення), зразки зберігають у теплової шафі протягом 30 днів при температурі 45 °С. Раз у 7 днів зразки піддають 25 000 ударам автоматичного ущільнюючого апарату відповідно до EN ISO 787-11 [18]. Вартість такого обладнання близько 3 000 доларів.

Ступінь суспензії і легкості перемішування визначають після зважування зразків, для цього обережно відкривають три ємності для випробування без струшування або перемішування і перевіряють їх. Не видаляють будь-який поверхневий шар, який, можливо, утворився на зразках (утворення плівки). Щоб визначити ступінь, в якому складові частини фарби відокремились і утворити шар на дні випробовуваної ємності під час зберігання і ущільнення, використовують шпатель. Тримають один кінець шпателя так, щоб він був перпендикулярно центральній ділянці фарби, а його другий кінець знаходився на рівні верхньої частини випробувальної колби. Відпускають шпатель з цієї висоти, потім переміщують шпатель вручну по нижній частині випробовуваної ємності в горизонтальному напрямку. Визначають опір щільного шару пігменту, що осів, цьому руху і легкості перемішування для всіх трьох зразків згідно таблиці після чого визначають і записують середній показник для трьох зразків.

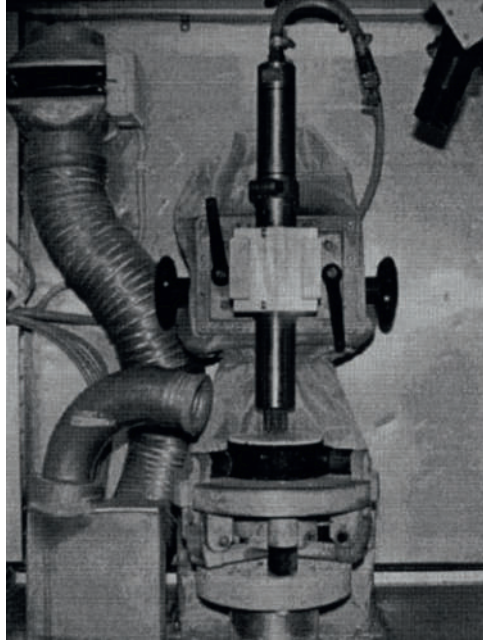
Щодо пластиків холодного та гарячого нанесення, український стандарт [10] нормує різні показники: фізико-механічні (адгезія, еластичність, щільність), технологічні (час затвердіння до ступеня 3, в'язкість за Брукфільдом), функціональні (коефіцієнт зчеплення, морозостійкість). Однаковими характеристиками відповідно до [10] та [15] є координати кольоровості, коефіцієнт яскравості, стійкість до дії лугів, а також температура розм'якшення для пластиків гарячого нанесення, відмінністю є — визначення зносостійкості пластиків та визначення значення вдавлювання та термостійкості пластиків гарячого нанесення, такі показники відсутні в [10]. Відповідно до [13] випробовують щільність, вміст органічних та неорганічних сполук, вміст діоксиду титану, вміст золи, вміст розчинника, вміст склокульок, ступінь перемішування, старіння від ультрафіолетового випромінювання.

Для визначення вмісту твердих речовин, вмісту органічних та неорганічних сполук, вмісту діоксиду титану пластиків використовують таке ж спеціальне обладнання, що і для фарб: інфрачервоний спектрометр та ультразвуковий розподільник.

Під час випробування на термостійкість пластик гарячого нанесення плавлять і нагрівають протягом 6 год за температури нанесення. Коли матеріал охолоне до кімнатної температури (як правило, протягом ночі), проводять визначення наступних параметрів: координат колірності  $x$ ,  $y$  та коефіцієнта яскравості, точки розм'якшення, величини вдавлювання, зношування і старіння під дією ультрафіолетового випромінювання. Результати порівнюють з результатами випробувань зразків, які не піддавалися випробуванню на термостійкість.

При проведенні випробування на вдавлювання зразок пластика гарячого нанесення відливають у форми для отримання випробувальних кубів зі стороною 70 мм. Випробувальні куби витримують у формі у ванні з водою. Циліндричний штамп з площею поверхні 100 мм<sup>2</sup> встановлюють перпендикулярно поверхні зразка  $n_f$  прикладають силу 525 Н. Глибина відбитку циліндричного штамп змінюється з часом та фіксується. Записують час, необхідний для поглиблення на 10 мм.

Випробування на зносостійкість пластиків відбувається в апараті Трегера на зразку, який нанесений на зразок Маршала (рис. 1).



*Рисунок 1* — Апарат Трегера

Зношення відбувається голковим пістолетом, що рухається під дією стисненого повітря. Під час випробування зразок безперервно за температури мінус 10 °С повинен обдуватися повітрям.

Після проведеного випробування обчислюють втрати об'єму, які і є показником зносостійкості.

У [19–21] проводились лабораторні та польові випробування матеріалів на зносостійкість. У лабораторних умовах зносостійкість досліджувалась на апараті Трегера, а в польових умовах визначалась зносостійкість в реальних умовах на автомобільній дорозі. У ході досліджень дані про втрату ваги на апараті Трегера порівнювались з фактичним зношуванням від коліс транспортних засобів на дорозі після однієї зими. За результатами досліджень автори розробили класифікацію за класами зносостійкості у лабораторних та польових умовах та відповідності цих класів один одному.

На жаль, знайти інформації щодо вартості апарата Трегера, а також можливості його придбання не вдалось.

Вимоги до мікрокульок скляних світлоповертальних та методів їх випробувань в Україні встановлює [9], у Європі є чинними два стандарти [16, 17]. Показники мікрокульок, які нормують стандарти майже однакові, виключенням є вимоги щодо визначення небезпечних речовин (миш'яку, свинцю та сурми) у європейських стандартах. Для визначення вмісту небезпечних речовин у скляних мікрокульках еталонним методом є атомно-емісійна спектроскопія з індуктивно-зв'язаною плазмою, яка дозволяє вимірювання в мільйонних частках концентрацій заявлених елементів. Для прискореного аналізування хімічного складу виготовлених склакульок перед відвантаженням можна використовувати портативний чи стаціонарний рентгенофлуоресцентний аналізатор (X-Ray Fluorescence, XRF) (рис. 2).

За функціональною характеристикою, а саме довговічністю, відповідно до європейського стандарту [14] матеріали для дорожньої розмітки випробовують на стенді зношення (рис. 3). Дана установка є унікальною і знаходиться лише у двох країнах Європи (Іспанія, Німеччина). Стенд складається з платформи із зовнішнім діаметром 6,4 м, яка може обертатися з максимальною

швидкістю 120 км/год. Одночасно може бути встановлено до вісімнадцяти зразків. Чотири шини із тиском  $(0,25 \pm 0,02)$  МПа вільно рухаються по платформі під кутом повороту  $1^\circ \pm 10'$ , докладаючи навантаження  $(3\ 000 \pm 300)$  Н на випробувальні зразки від кожної шини. Стенд знаходиться у приміщенні з регульованою температурою, де проводять випробування за температури  $(7,5 \pm 2,5)$  °С [19].



Рисунок 2 — Стационарний рентгенофлуоресцентний аналізатор (X-Ray Fluorescence, XRF)

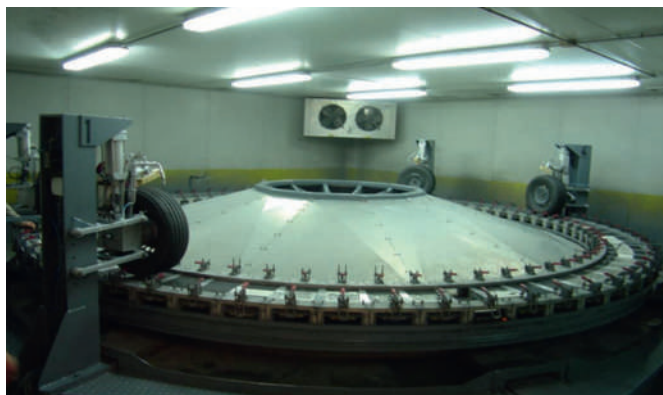


Рисунок 3 — Стенд для випробування на зношення

На стенді випробовують системи дорожньої розмітки: основний матеріал з мікрокульками або протиковзними наповнювачами.

Вимірювання проводяться відповідно до [12] за наступними параметрами:

- коефіцієнт світлоповертання  $R_L$  у сухих умовах;
- коефіцієнт світлоповертання  $R_L$  в умовах зволоження;
- коефіцієнт світлоповертання  $R_L$  під час дощу;
- коефіцієнт яскравості при дифузному освітленні  $Q_d$ ;
- коефіцієнт яскравості  $\beta$ ;
- координати колірності  $(x, y)$ ;
- опір ковзанню SRT.

Для визначення коефіцієнта яскравості  $\beta$  мінімальна площа вимірювання поверхні повинна становити 25 см<sup>2</sup>, для визначення коефіцієнта світлоповертання  $R_L$  (у сухих умовах, умовах зволоження або/та під час дощу) та коефіцієнта яскравості при дифузному освітленні  $Q_d$  — 400 см<sup>2</sup>.

Випробування проводять відповідно до класів руху (табл. 1).

*Таблиця 1*

*Класи руху та кількість проходів коліс*

Класи руху	Кількість проходів коліс
P0	< 50 000
P1	50 000 (необов'язково)
P2	100 000
P3	200 000
P4	500 000
P5	1 000 000
P6	2 000 000
P7	4 000 000

Для кожного класу руху визначаються наведені вище параметри. За результатами випробування роблять висновок — якому класу руху відповідає система дорожньої розмітки.

Альтернативним варіантом визначення класу руху для системи дорожньої розмітки є проведення дорожніх випробувань відповідно до [22]. Такі випробування проводяться на дослідних ділянках автомобільних доріг, на яких інтенсивність руху відповідає класам руху таблиці 1 (до класу P6). На ділянках наносять різні системи дорожньої розмітки (рис. 4), під час дорожніх випробувань визначають ті самі параметри, що і на стенді.



*Рисунок 4* — Дослідна ділянка для проведення дорожніх випробувань

## Висновки

Українські стандарти встановлюють вимоги як до фізико-механічних властивостей матеріалів, так і до технологічних, функціональних показників, а також показників видимості. У європейських же стандартах перевагу надають вимогам до показників видимості: координатам колірності, коефіцієнта яскравості та зміні цих показників під певними умовами (після ультрафіолетового впливу, впливу температури, впливу лугів або після взаємодії з бітумом).

Для проведення випробувань матеріалів за європейськими стандартами українським лабораторіям необхідно закуповувати нове обладнання (апарат Трегера, віскозиметр Кребса-Стормера, рентгенофлуоресцентний аналізатор, стенд для випробування на зношення та інші) та вивчати нові методики випробувань. У разі неможливості (через значну вартість) придбання приладів та установок (наприклад, стенда для випробування на зношення відповідно до [14]) необхідно влаштувати експериментальні ділянки на автомобільних дорогах або ж налагоджувати контакт з європейськими лабораторіями щодо можливості передачі їм зразків матеріалів на випробування. Крім того, виникає проблема з аналізом результатів проведених випробувань за показниками для яких не встановлено вимоги, оскільки такі дані можна використовувати лише як довідкову інформацію або в якості порівняння отриманих показників для матеріалів різних виробників.

## Список літератури

1. Быковская Н.Е., Разумов М.С. Дорожная разметка с применением инновационного материала. *Молодые ученые – основа будущего машиностроения и строительства. Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции*. Курск, 2014. С. 69-72.
2. Яковец А.В. Использование современных материалов для нанесения дорожной разметки с целью повышения безопасности дорожного движения. Инновационное лидерство строительной и транспортной отрасли глазами молодых ученых. *Сборник научных трудов молодых ученых по материалам Международной научно-практической конференции. Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)*. Омск, 2014. С. 173-175.
3. Babić D., Burghardt T. Application and characteristics of waterborne road marking paint. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*. Serbia, 2015. N 5. P. 150–169. [https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5\(2\).06](https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5(2).06).
4. Гостев Ю.Г., Румянцев Л.Ю., Фощ І.В., Кострульова Т.Є. Функціональна довговічність дорожньої розмітки та якість розмічального матеріалу. *Дорожня галузь України*. Київ, 2011. N 3. С. 72-74.
5. Гостев Ю.Г., Румянцев Л.Ю., Фощ І.В., Кострульова Т.Є. Сучасні вимоги щодо застосування пластиків, полімерних стрічок, мікрокульок скляних світлоповертальних для горизонтальної розмітки автомобільних доріг. *Автошляховик України*. Київ, 2012. N 5. С. 42-48.
6. Свежинский В.Н., Малышкин С.А., Бессонова Л.П. Материалы и микростеклошарики для дорожной разметки – проблемы и тенденции. *Строительные материалы*. Москва, 2018. N 7. С. 28–30.
7. Свежинский В.Н., Малышкин С.А. Материалы и изделия для дорожной разметки. *Мир дорог*. Санкт-Петербург, 2016. N 88. С. 22–23.
8. СОУ 42.1-37641918-116:2014 Фарба для горизонтальної розмітки автомобільних доріг. Технічні вимоги та методи випробування. Київ. 2016. 30 с. (Інформація та документація).
9. СОУ 42.1-37641918-089:2012 Мікрокульки скляні світлоповертальні для

горизонтальної розмітки автомобільних доріг. Технічні вимоги та методи випробування. Київ. 2012. 36 с. (Інформація та документація).

10. СОУ 42.1-37641918-090:2012 Пластики, спреї-пластики холодного та гарячого нанесення для горизонтальної розмітки автомобільних доріг. Технічні вимоги та методи випробування. Київ. 2012. 30 с. (Інформація та документація).

11. СОУ 42.1-37641918-088:2012 Стрічки полімерні для горизонтальної розмітки автомобільних доріг. Технічні вимоги та методи випробування. Київ. 2012. 20 с. (Інформація та документація).

12. EN 1436:2018 Road marking materials - Road marking performance for road users and test methods. Brussels, 2018. 29 p. (Інформація та документація).

13. EN 12802:2011 Road marking materials - Laboratory methods and identification. Brussels, 2011. 33 p. (Інформація та документація).

14. EN 13197:2011 Road marking materials - Wear simulator Turntable. Brussels, 2011. 24 p. (Інформація та документація).

15. EN 1871:2020 Road marking materials - Paint, thermoplastic and cold plastic materials - Physical properties. Brussels, 2020. 43 p. (Інформація та документація).

16. EN 1423:2012 Road marking materials - Drop on materials - Glass beads, antiskid aggregates and mixtures of the two. Brussels, 2012. 70 p. (Інформація та документація).

17. EN 1424:1997 Road marking materials - Premix glass beads. Brussels, 1997. 8 p. (Інформація та документація).

18. EN ISO 787-11:1995 General methods of test for pigments and extenders — Part 11: Determination of tamped volume and apparent density after tamping (ISO 787-11:1981). Brussels, 1995. 24 p. (Інформація та документація).

19. Ulf Isacson, Yiva Colldin, VTI rapport 325 A «Laboratory and field studies on durability of thermoplastic road marking materials», Swedish Road and Traffic Research Institute, Linköping, 1988, 54 p.

20. Ylva Edwards, Sofi Aström, VTI notat 23-1998 Vägmarkeringsmaterial – Kravspecifikationer, Väg-och transport forskningsinstitutet, Linköping, 1998, 86 p.

21. Shaun Friel, David Woodward, High Friction Surfacing Systems Using Blends of Natural Aggregate and Calcined Bauxite. *Coatings*. 2019, 9 (3), 177. <https://doi.org/10.3390/coatings9030177>.

22. EN 1824:2020 Road marking materials - Road trials. Brussels, 2020. 35 p. (Інформація та документація).

### References

1. Bykovskaia N.E., Razumov M.S. Dorozhnaia razmetka s pryomenenyem ynnovatsyonnoho materyala. Molodye uchenye – osnova budushcheho mashynostroeniya y stroytelstva. Sbornyk nauchnykh trudov Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsyy. Kursk, 2014. P. 69-72 [in Russian].

2. Yakovets A.V. Yspolzovanye sovremennykh materyalov dlia naneseniya dorozhnoi razmetky s tseliu povysheniya bezopasnosti dorozhnoho dvyzheniya. Ynnovatsyonnoe lyderstvo stroytelnoi y transportnoi otrasly hlazamy molodykh uchenykh. Sbornyk nauchnykh trudov molodykh uchenykh po materyalam Mezhdunarodnoi nauchno-praktycheskoi konferentsyy. Sybyskaia hosudarstvennaia avtomobylnodorozhnaia akademyia (SybADY). Omsk, 2014. P. 173-175 [in Russian].

3. Babić D., Burghardt T. Application and characteristics of waterborne road marking paint. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*. Serbia, 2015. N 5. P. 150–169. [https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5\(2\).06](https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5(2).06) [in English].

4. Gostev Yu.G., Rumyantsev L.Yu., Fosch I.V., Kostrulova T.E. Funktsionalna dovgovichnist

dorozhnoyi rozmitki ta yakist rozmichalnogo materialu. Dorozhnya galuz Ukrayini. Kyiv, 2011. № 3. P. 72-74 [in Ukrainian].

5. Gostev Yu.G., Rumyantsev L.Yu., Fosch I.V., Kostrulova T.E. Suchasni vimogi schodo zastosuvannya plastikiv, polimernih strichok, mikrokulok sklyanih svitlopovertalnih dlya gorizontalnoyi rozmitki avtomobilnih dorog. Avtoshlyahovik Ukrayini. Kyiv, 2012. № 5. P. 42-48 [in Ukrainian].

6. Svezhinsky V.N., Malyshkin S.A., Bessonova L.P. Materials and Micro-Glass Beads for Road Surface Marking - Problems and Trends. Stroitel'nyie materialy. Moscow, 2018. № 7. P. 28–30 [in Russian].

7. Svezhinsky V.N., Malyshkin S.A. Materialy i izdeliya dlya dorozhnoy razmetki. Mir dorog. St. Petersburg, 2016. № 88. P. 22–23 [in Russian].

8. SOU 42.1-37641918-116:2014 Farba dlya gorizontalnoyi rozmitki avtomobilnih dorog. Tehnichni vimogi ta metodi viprobuvannya [Management organization standart (SOU 42.1-37641918-116:2014) Paint for horizontal marking of highways. Technical requirements and test method]. Kyiv, 2014. 30 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

9. SOU 42.1-37641918-089:2012 Mikrokulky skliani svitlopovertalni dlia horizontalnoi rozmitky avtomobilnykh dorih. Tekhnichni vymohy ta metody viprobuvannya [Management organization standart (SOU 42.1-37641918-089:2012) Reflective glass beads for horizontal marking of highways. Technical requirements and test methods]. Kyiv, 2012. 36 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

10. SOU 42.1-37641918-090:2012 Plastyky, sprej-plastyky kholodnoho ta hariachoho nanesennia dlia horizontalnoi rozmitky avtomobilnykh dorih. Tekhnichni vymohy ta metody viprobuvannya [Management organization standart (SOU 42.1-37641918-090:2012) Plastics, spray-plastics of cold and hot drawing for horizontal marking of highways. Technical requirements and test methods] Kyiv, 2012. 30 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

11. SOU 42.1-37641918-088:2012 Strichky polimerni dlia horizontalnoi rozmitky avtomobilnykh dorih. Tekhnichni vymohy ta metody viprobuvannya [Management organization standart (SOU 42.1-37641918-088:2012) Tapes polymeric for a horizontal marking of highways. Technical requirements and test methods] Kyiv, 2012. 20 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

12. EN 1436:2018 Road marking materials - Road marking performance for road users and test methods. Brussels, 2018. 29 p. (Information and documentation) [in English].

13. EN 12802:2011 Road marking materials - Laboratory methods and identification. Brussels, 2011. 33 p. (Information and documentation) [in English].

14. EN 13197:2011 Road marking materials - Wear simulator Turntable. Brussels, 2011. 24 p. (Information and documentation) [in English].

15. EN 1871:2020 Road marking materials - Paint, thermoplastic and cold plastic materials - Physical properties. Brussels, 2020. 43 p. (Information and documentation) [in English].

16. EN 1423:2012 Road marking materials - Drop on materials - Glass beads, antiskid aggregates and mixtures of the two. Brussels, 2012. 70 p. (Information and documentation) [in English].

17. EN 1424:1997 Road marking materials - Premix glass beads. Brussels, 1997. 8 p. (Information and documentation) [in English].

18. EN ISO 787-11:1995 General methods of test for pigments and extenders — Part 11: Determination of tamped volume and apparent density after tamping (ISO 787-11:1981). Brussels, 1995. 24 p. (Information and documentation) [in English].

19. Ulf Isacson, Yiva Colldin, VTI rapport 325 A «Laboratory and field studies on durability of thermoplastic road marking materials», Swedish Road and Traffic Research Institute, Linköping, 1988, 54 p. [in English].

20. Ylva Edwards, Sofi Aström, VTI notat 23-1998 Vägmarkeringsmaterial – Kravspecifikationer, Väg-och transport forskningsinstitutet, Linköping, 1998, 86 p. [in English].

21. Shaun Friel, David Woodward, High Friction Surfacing Systems Using Blends of Natural Aggregate and Calcined Bauxite. *Coatings*. 2019, 9(3), 177. URL: <https://doi.org/10.3390/coatings9030177> [in English].

22. EN 1824:2020 Road marking materials - Road trials. Brussels, 2020. 35 p. (Information and documentation) [in English].

---

---

**Yuriy Gostev**, <https://orcid.org/0000-0002-0351-9591>

**Tetyana Kostrulyova**, <https://orcid.org/0000-0002-9554-1285>

*M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine*

### ANALYSIS OF TECHNICAL REQUIREMENTS AND TEST METHODS FOR ROAD MARKING MATERIALS ACCORDING TO UKRAINIAN AND EUROPEAN STANDARDS

#### *Abstract*

**Introduction.** The current stage of the road sector development is characterized by the increased demand in the road marking. For the arrangement of road marking, various materials are used: paint, retroreflective glass beads, plastics of cold and hot application, polymer strips, prefabricated items, etc. Each material has its own set of unique characteristics related to durability, retroreflectivity, cost of application and life cycle.

**Problem statement.** Due to the expansion of the production range of road marking materials, their choice becomes a difficult task and it should be carried out while taking into account the following requirements: normative distances of visibility must be ensured in all weather conditions 24 hours a day; long-term preservation (resistance to environmental impacts); road marking must not interfere with the vehicles movement, it should foster gliding. In order to properly select the road marking materials, the road traffic level and the predicted operation life cycle should be taken into account.

For optimal selection, it is primarily necessary to review the quality characteristics of the materials through the testing of their physical, mechanical, technological and functional characteristics. Commonly, the roads owners require the quality requirements for the materials in accordance with the European standards.

**Objective.** To compare technical requirements and methods of testing materials for road marking in accordance with the European standards.

**Materials and methods.** Analysis of current Ukrainian and European standards for technical requirements and methods of testing the road marking materials.

**Results.** Technical requirements for road marking materials and methods of their testing which are lacking in the Ukrainian standards are considered. A list of equipment for the required tests according to the European standards is given.

**Conclusions.** Basing on the analysis results, it can be noted that in order to ensure the compliance of the Ukrainian laboratories abilities to check the quality of technical characteristics of materials according to the European standards, the new equipment should be provided (Tregers device, Stormer videometer, X-ray fluorescence analyzer, wear test bench and others) as well as mastering the new testing methods. Due to the high cost of the devices and equipment (for example, of the wear test bench), it is necessary to build the test sites on the roads or establish contacts with the European laboratories on the possibility of transferring the samples of materials to them for testing.

**Keywords:** road markings, retroreflecting glass beads, plastic of hot application, plastic of cold cold application, paint.

---

---



УДК 625.7

Неизвестний С. В.<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-8888-313X>

Пальчик А. М.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-7658-6066>

Неизвестна Н. В.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0003-2406-3906>

Додух К. М.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0003-2544-5359>

<sup>1</sup> Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

<sup>2</sup> Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

## РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ З ПОКРАЩЕННЯ ДОРОЖНІХ УМОВ НА ДІЛЯНКАХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ УМОВ РУХУ

### Анотація

**Вступ.** Виконано аналіз понять пропускної здатності. Досліджено залежність середньої швидкості руху від геометричних параметрів автомобільної дороги та умов руху.

**Проблематика.** Одною з причин призначення проведення реконструкції дороги або її частини є погіршення безпеки руху транспортних потоків, в результаті чого, збільшується кількість жертв та матеріальні втрати при дорожньо-транспортних подіях. Пропускна здатність є важливим показником під час реконструкції автомобільної дороги. Аналіз пропускної здатності ділянки автомобільної дороги дає можливість оцінити роботу дороги протягом всього її життєвого циклу від моменту здачі її в експлуатацію і до моменту реконструкції. Існуючі методи визначення практичної пропускної здатності смуги руху, максимальної інтенсивності руху на ділянці автомобільної дороги дають неоднозначні результати, що потребує їх удосконалення.

**Мета.** Мета роботи полягає у дослідженні середньої швидкості руху, яка є одним із чинників, від якого залежить максимальна інтенсивність руху на автомобільній дорозі.

**Матеріали і методи.** Аналіз результатів експериментальних досліджень середніх швидкостей вільного руху різних типів автомобілів на дорогах різних категорій.

**Результати.** Встановлено загальний вигляд рівнянь залежності середньої швидкості руху транспортного потоку від радіусів горизонтальних кривих та швидкості руху від поздовжнього похилу; проаналізований вплив дорожніх умов на швидкість руху, згідно дослідження графіків середніх швидкостей до та після покращення умов руху на ділянках дороги.

**Висновки.** На основі оцінки умов руху із забезпеченням максимальної інтенсивності руху на ділянках дороги між перехрещеннями та примиканнями, які визначають інтенсивність руху між ними, можливо вирішити питання щодо необхідності виконання часткової або повної реконструкції автомобільної дороги.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, інтенсивність руху, перехрещення, примикання, пропускна здатність, реконструкція, швидкість руху.

### Вступ

У наш час велика кількість автомобільних доріг України експлуатується при значно більшій інтенсивності руху ніж та, на яку вони розраховувалися. В кожному з таких випадків, при розробленні проекту реконструкції автомобільної дороги, необхідно виконати аналіз характеристик транспортного потоку та пропускної здатності, які є важливими показниками на основі яких визначаються проектні рішення. Аналіз пропускної здатності ділянки автомобільної дороги дає можливість оцінити роботу дороги протягом всього її життєвого циклу від моменту здачі в експлуатацію і до моменту реконструкції.

У літературі можна зустріти різні модифікації поняття пропускної здатності. Таке різноманіття термінів не випадкове. Воно відображає різні підходи до визначення даного критерію, а також великого числа чинників, що впливають на показник пропускної здатності в реальних умовах дорожнього руху. Методика розрахунку пропускної здатності автомобільної дороги ґрунтується на врахуванні реальних дорожніх умов і є дуже сприятливою у практичній роботі.

На думку проф. Д. Дрю [4] пропускна здатність дороги досягається в той момент, коли будь-яке подальше збільшення інтенсивності руху при інших незмінних факторах визиває помітне зниження швидкості руху. При виборі чисельного значення пропускної здатності доріг виходять з максимальної інтенсивності руху. Максимальна інтенсивність руху — це максимально можлива кількість автомобілів в перетині дороги за одиницю часу в конкретних дорожніх умовах та при визначеному складі транспортного потоку [7]. При розробленні проєкту на реконструкцію автомобільної дороги використовується значення максимальної інтенсивності руху при визначеній швидкості руху.

### Основна частина

Пропускна здатність перехрещень та примикань на автомобільній дорозі є показником пропускної здатності дороги в цілому. Максимальна інтенсивність по смузі руху не може перевищувати практичну пропускну здатність через розподіл інтенсивності руху на перехрещеннях та примиканнях [1, 3]:

$$N_{\max} \leq P_v, \quad (1)$$

де  $N_{\max}$  — максимальна інтенсивність смуги руху, авт/год;  
 $P_v$  — практична пропускна здатність смуги руху для розрахункової швидкості руху, авт/год.

Окрім того, причиною призначення проведення реконструкції дороги або її частини є погіршення безпеки руху транспортних потоків, в результаті чого, збільшується кількість жертв та матеріальні втрати при дорожньо-транспортних подіях.

Розроблення рекомендацій для оцінювання та покращення умов руху виконують такими методами: оцінюванням доріг за допомогою балів; конфліктних ситуацій; коефіцієнтів безпеки; коефіцієнтів аварійності; коефіцієнтів швидкості руху; аналізом статистичних даних на основі теорії ймовірності тощо [8].

Аналіз основних методів оцінювання безпеки руху на автомобільних дорогах встановив ряд переваг та недоліків [5]. Для підвищення безпеки руху та ефективного призначення реконструкції автомобільної дороги в якості критерія необхідно приймати середню швидкість руху. Для визначення максимальної інтенсивності руху потрібно встановити середню швидкість руху транспортного потоку на всіх ділянках автомобільної дороги. Максимальна інтенсивність руху прямо пропорційно залежить від середньої швидкості транспортного потоку [9]. Виходячи з цього, оптимальним методом оцінки безпеки руху є метод коефіцієнтів швидкості руху.

Метод коефіцієнтів швидкості руху характеризує вплив дорожніх умов на швидкість руху транспортного потоку:

$$C = \frac{V_c}{V_{\text{вгл}}}, \quad (2)$$

де  $V_c$  — середня швидкість руху транспортного потоку із урахуванням дорожніх умов;  
 $V_{віль}$  — швидкість вільного руху на даній ділянці залежно від складу транспортного потоку та категорії дороги [6].

Середню швидкість вільного руху транспортного потоку визначають як середньостатистичне значення за формулою (3):

$$V_{віль} = V_{л} \cdot \alpha + V_{в} \cdot \beta + V_{ав} \cdot \gamma + V_{ап} \cdot \rho, \quad (3)$$

де  $V_{л}, V_{в}, V_{ав}, V_{ап}$  — відповідно середні швидкості вільного руху легкових, вантажних автомобілів, автобусів та автопотягів, км/год;

$\alpha, \beta, \gamma, \rho$  — частки відповідно легкових, вантажних автомобілів, автобусів та автопотягів в транспортному потоці.

Оскільки середня швидкість руху є одним із чинників, від якого залежить максимальна інтенсивність руху на автомобільній дорозі, тому виникла необхідність в дослідженні її на дорогах різних категорій для різних типів автомобілів. За результатами експериментального дослідження були отримані середні швидкості вільного руху типів автомобілів на дорогах різних категорій, які представлені в **табл. 1** [10].

*Таблиця 1*

*Середні швидкості вільного руху*

Ч. ч.	Категорія дороги	Кількість смуг руху	Середня швидкість, км/год			
			Легкові	Вантажні	Автобуси	Автопотяги
1	Ia	6	91,13	75,70	77,50	81,03
2	Ia, Ib	4	88,04	75,77	74,61	80,00
3	II	2	84,29	71,90	71,50	72,93
4	III	2	79,72	67,06	69,33	71,11
5	IV	2	75,83	64,08	67,03	68,75

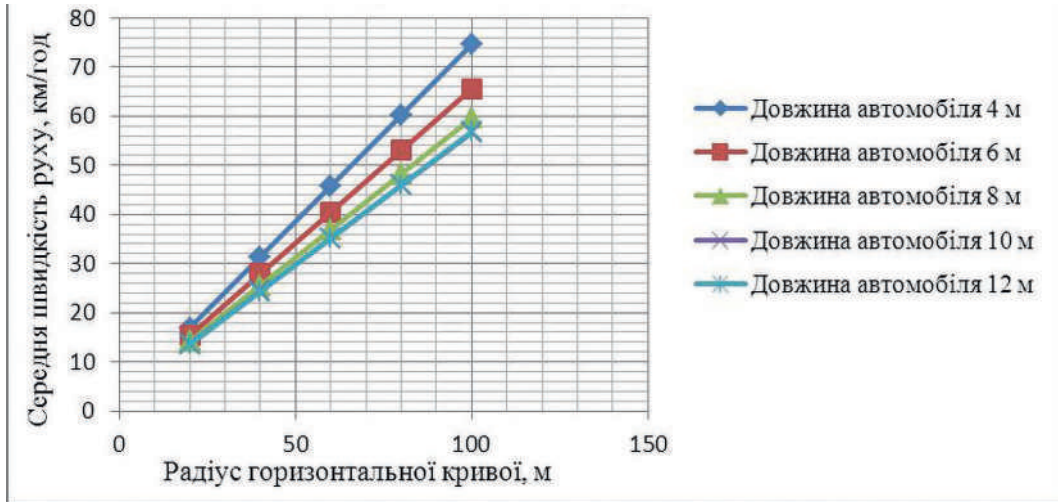
Значення середньої швидкості транспортного потоку залежить від багатьох чинників. Частина з цих чинників враховується при визначенні середньої швидкості вільного руху. Зменшення цієї швидкості відбувається при наявності горизонтальних кривих та позовжнього похилу. У результаті дослідження їхнього впливу на середню швидкість руху встановлені залежності швидкості руху від радіусів горизонтальних кривих та швидкості руху від позовжнього похилу [10]:

– загальний вигляд рівняння залежності середньої швидкості руху транспортного потоку від радіуса горизонтальної кривої до 100 м:

$$V = (0,005l_a^2 - 0,0904l_a + 0,8551)R + (0,0781l_a^3 - 1,896l_a^2 + 13,269l_a - 12,553), \quad (4)$$

де  $l_a$  — довжина автомобіля, м;

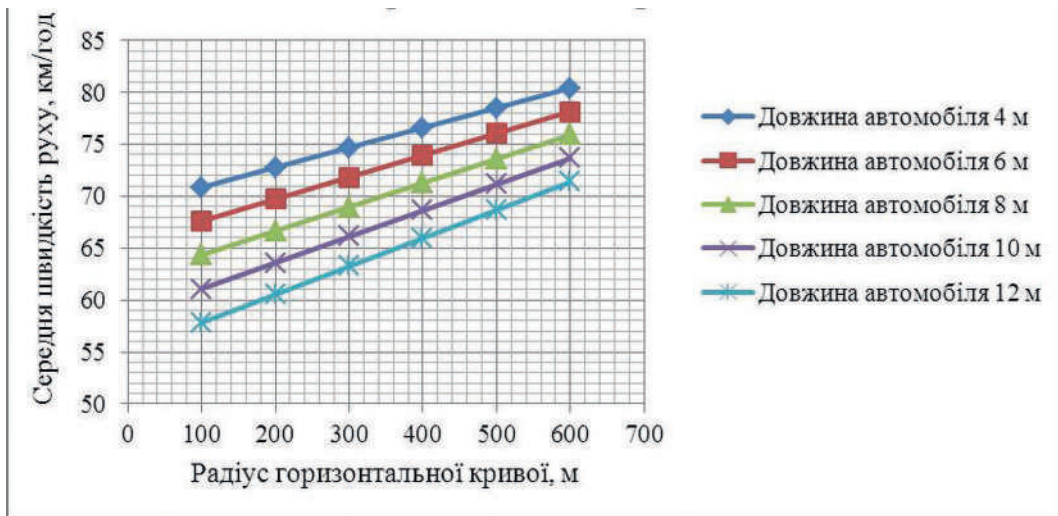
$R$  — радіус горизонтальної кривої, м.



**Рисунок 1** — Графік залежності середньої швидкості руху від радіуса горизонтальної кривої до 100 м та середньої довжини автомобіля

– загальний вигляд рівняння залежності середньої швидкості руху транспортного потоку від радіуса горизонтальної кривої більше від 100 м до 500 м:

$$V = (-0,0006l_a^3 + 0,0147l_a^2 - 0,113l_a + 0,2843)R + (0,478l_a^2 - 10,026l_a + 104,99). \quad (5)$$



**Рисунок 2** — Графік із визначення середньої швидкості руху транспортного потоку залежно від радіуса горизонтальної кривої від 100 м до 600 м та середньої довжини автомобіля

– коефіцієнт, який враховує вплив поздовжнього похилу дороги на середню швидкість руху:

$$k = -7,25 \cdot i + 1,0946, \quad (6)$$

де  $i$  — поздовжній похил автомобільної дороги.

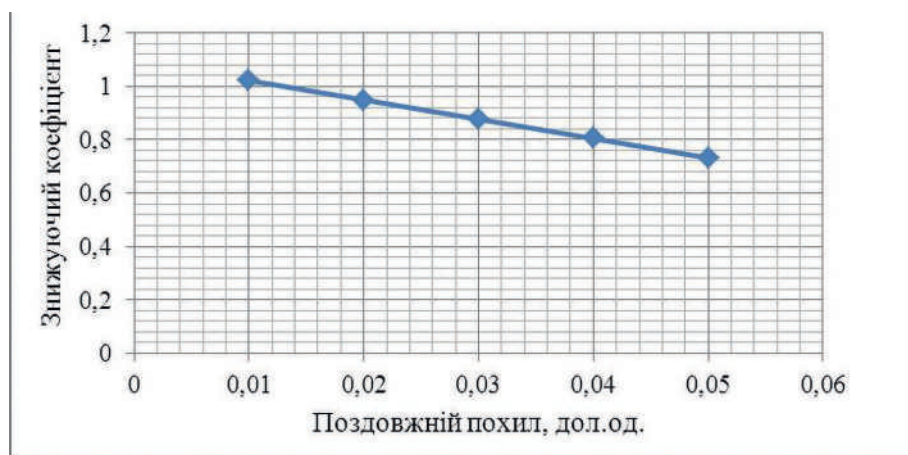


Рисунок 3 — Графік залежності знижуючих коефіцієнтів від поздовжнього похилу

Залежність середньої швидкості руху від показника рівності дорожнього покриття визначається за формулою (7):

$$V_p = 280 \cdot P^{-0,35}, \quad (7)$$

де  $P$  — показник поштовхоміру, см/км.

Також, в результаті експериментальних досліджень була встановлена функціональна залежність «інтенсивність – швидкість» для різного складу автомобілів та категорій доріг [10]:

$$N = (-0,0026l_a^2 + 0,0538l_a - 0,4678)V^2 + (0,0277l_a^2 - 0,1752l_a + 10,182)V + (18,362l_a^2 - 438,84l_a + 3069). \quad (8)$$

При аналізі умов руху визначаються ділянки, які не забезпечують безпечний руху. При зміні параметрів дороги на цих ділянках, перевіряються значення коефіцієнта швидкості руху та при необхідності призначаються заходи для покращення умов руху на даних ділянках.

Коефіцієнт швидкості руху характеризує вплив дорожніх умов на швидкість автомобіля: більше 0,9 — немає впливу; 0,9–0,7 — безпечний вплив; 0,70–0,55 — мало небезпечний вплив; 0,55–0,40 — небезпечний вплив; 0,4–0 — дуже небезпечний вплив. У проєктах реконструкції автомобільних доріг рекомендується виконати реконструкцію ділянки, для яких коефіцієнт швидкості руху менше ніж 0,6.

Для аналізу впливу дорожніх умов на швидкість руху були побудовані та дослідженні графіки середніх швидкостей до та після покращення умов руху на ділянках дороги [2, 8].

У результаті аналізу графіка швидкостей руху на **рис. 6** встановлено, що зниження швидкостей руху відбувається на ділянках горизонтальних кривих (ділянки 2, 3, 6). Отже, для подальшого покращення умов руху, необхідно виконати збільшення радіусів горизонтальних кривих на цих ділянках. Графік середніх швидкостей руху після збільшення радіусів горизонтальних кривих на ділянках 2, 3, 6 представлено на **рис. 7**.

У результаті аналізу графіка швидкостей руху на **рис. 7** встановлено, що зниження швидкостей руху відбувається на ділянках підйомів (ділянки 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10). Отже, наступним етапом покращення умов руху на цих ділянках є влаштування додаткових смуг руху. Графік середніх швидкостей руху після влаштування допоміжних смуг руху на ділянках 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10 представлено на **рис. 8**.

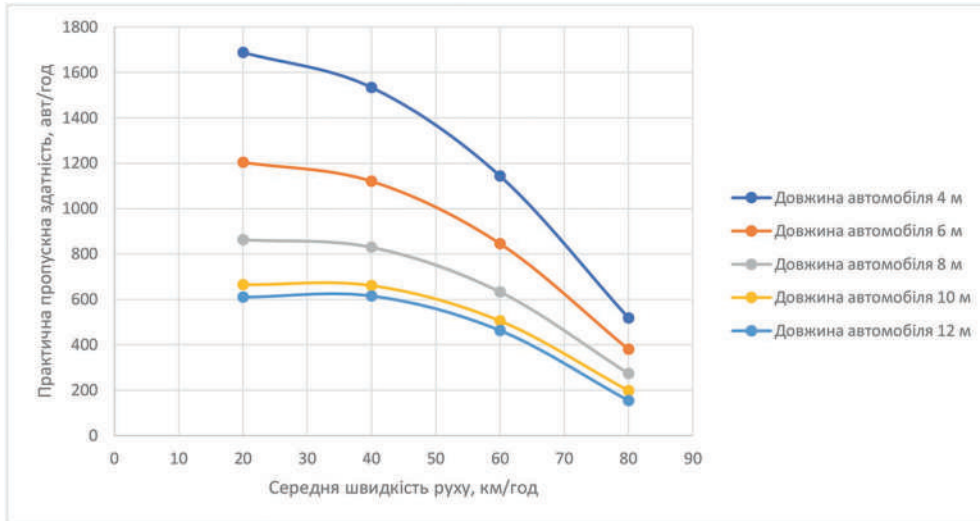


Рисунок 4 — Графік залежності практичної пропускної здатності від середньої швидкості руху та довжини автомобіля

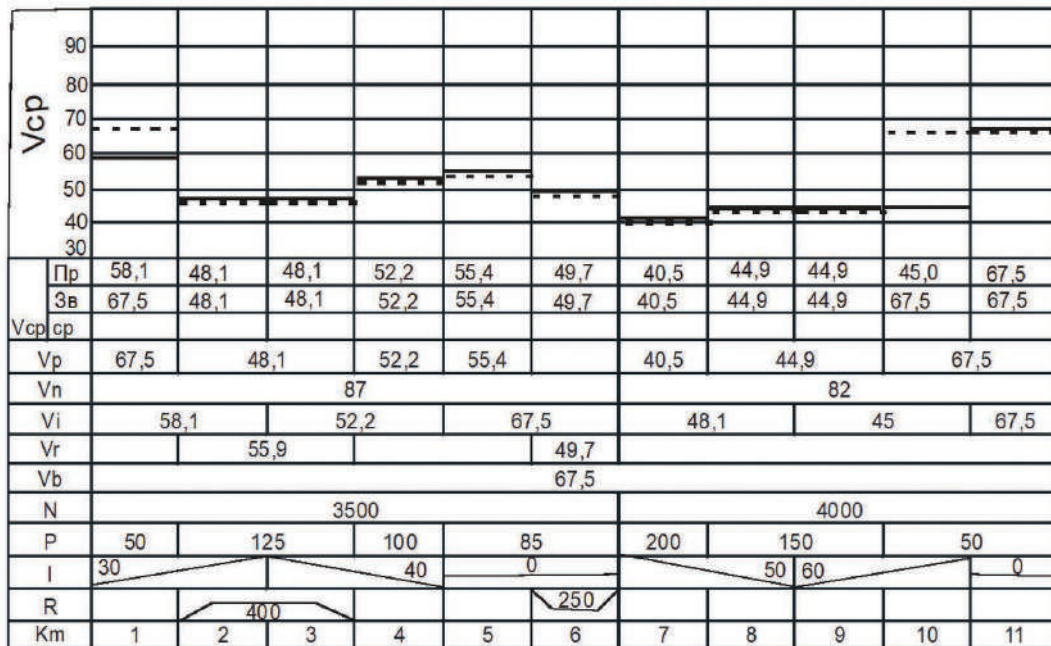


Рисунок 5 — Графік фактичних середніх швидкостей руху до поліпшення умов руху

У результаті покращення дорожніх умов та безпеки руху отримуємо вирівняний графік середніх швидкостей руху.

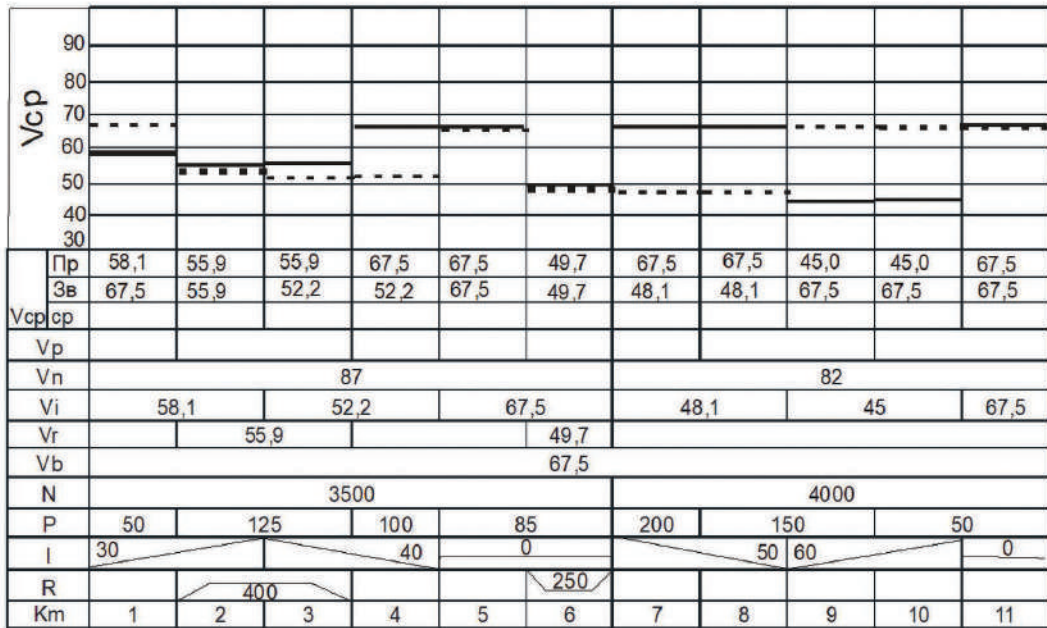


Рисунок 6 — Графік середніх швидкостей руху після проведення капітального ремонту (рівність покриття відповідає нормам)

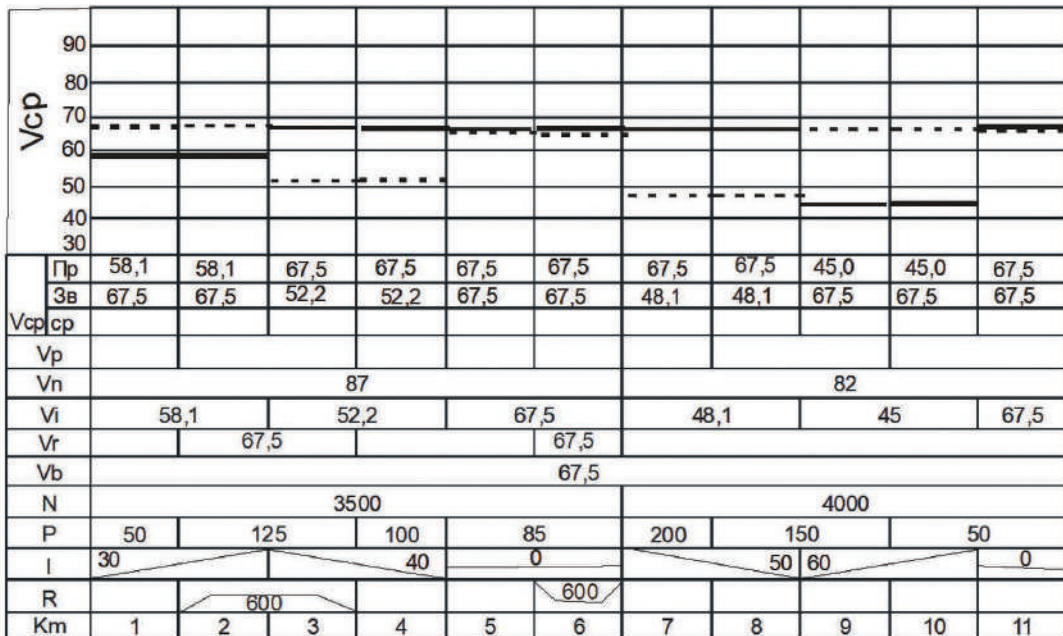
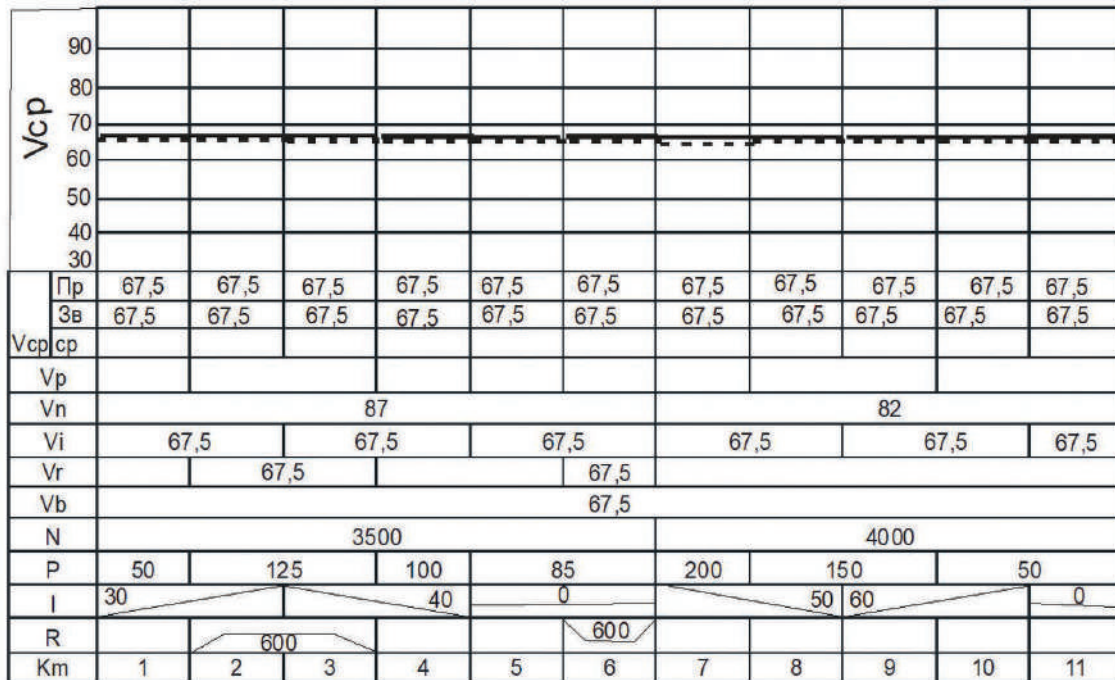


Рисунок 7 — Графік середніх швидкостей руху після збільшення радіусів горизонтальних кривих



**Рисунок 8** — Графік середніх швидкостей руху після влаштування додаткових смуг руху (на підйомах з поздовжнім похилом більше 0,03)

### Висновки

Враховуючи все зазначене вище, можна зробити висновок, що ефективність функціонування автомобільної дороги, в період з моменту введення в експлуатацію і до її реконструкції, визначається шляхом оцінки умов руху при забезпеченні максимальної інтенсивності руху на ділянках дороги між перехрещеннями та примиканнями, які визначають інтенсивність руху між ними. Максимальна інтенсивність руху характеризується практичною пропускною здатністю смуги руху та розподілом інтенсивності руху на перехрещеннях та примиканнях. На основі цих даних можливо вирішити питання щодо необхідності виконання часткової або повної реконструкції автомобільної дороги.

### Список літератури

1. Додух К.М. Практична пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2013. Вип.28. С. 164-169.
2. Додух К.М., Неізнана Н.В. Розробка заходів із покращення умов руху на автомобільних дорогах. *Автошляховик України*. Київ, 2014. № 5 (241). С.26-29.
3. Додух К.М., Пальчик А.М. Неізнана Н.В. Практична пропускна здатність автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2014. Вип. 91. С. 12-17.
4. Дрю Д.Р. Теорія транспортних потоків и управление ими: пер. с англ. Москва, 1972. С. 424.
5. Неізнаний С. В., Пальчик А. М. Аналіз методів, які використовують при обґрунтуванні реконструкції автомобільних доріг // *Збірник наукових праць «Дороги і мости»*, 2020, №21. С.70 – 76.
6. Пальчик А.М. Транспортні потоки. – Київ, 2010. 212 с.



7. Пальчик А.М., Кунда Н.Т. Визначення коефіцієнтів завантаження автомобільних доріг. *Безпека дорожнього руху України*. Київ, 2001. Вип. 3. С. 30 – 33.
8. Пальчик А.М., Кунда Н.Т. Розрахунок границь режимів руху транспортних потоків. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 1998. Вип. 55. С. 14 – 18.
9. Поліщук В.П., О.П. Дзюба. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху : навч. посіб. Київ, 2008. С. 49 – 169.
10. Рекомендації з прогнозування та покращення умов руху на основі інформаційної бази електронного паспорта автомобільних доріг, супс, АЕСУМ, ОДР № держреєстрації 0108 U 003507. К. 2009. С. 36.
11. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. Москва, 1977. С. 303.
12. Удосконалення методу розрахунку максимальної інтенсивності руху на двосмугових автомобільних дорогах : дис. канд. техн. наук. Київ, 2018. 237 с.

### References

1. Doduh K.M. Praktichna propuskna zdattist smugi ruhu avtomobil'noi dorogi. *Visnik Nacional'nogo transportnogo universitetu*. Kiev, 2013. Vip. 28. P. 164–169 [in Ukrainian].
2. Doduh K.M., Neizvestna N.V. Rozrobka zahodiv iz pokrashchennya umov ruhu na avtomobil'nih dorogah. *Avtoshlyahovik Ukraini*, 2014. № 5 (241). P. 26–29 [in Ukrainian].
3. Doduh K.M., Palchik A.M. Neizvestna N.V. Praktichna propuskna zdattist avtomobilnykh dorog. *Avtomobil'ni dorogi i dorozhne budivnictvo*. Kiev, 2014. Vip. 91. P. 12–17 [in Ukrainian].
4. Dryu D.R. Teoriya transportnih potokov i upravlenie imi: per. s angl. Moskva, 1972. 424 p. [in Russian].
5. Sergii Neizvestnyi, Anatolii Palchyk Analysis of the methods used for justification of highways reconstruction. *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. 2020. Iss. 21. P. 70-76 [in Ukrainian].
6. Palchik A.M. Transportni potoki.– Kiev, 2010 [in Ukrainian].
7. Palchik A.M., Kunda N.T. Vznachennya koeficientiv zavantazhennya avtomobil'nih dorog. *Bezpeka dorozhn'ogo ruhu Ukraini*. Kiev. 2001. Vip. 3. P. 30–33 [in Ukrainian].
8. Palchik A.M., Kunda N.T. Rozrahunok granits rezhimiv ruhu transportnih potokiv. *Avtomobil'ni dorogi i dorozhne budivnictvo*. Kiev, 1998. Vip. 55. P. 14–18 [in Ukrainian].
9. Polishchuk V.P., O.P. Dzyuba. Teoriya transportnogo potoku: metodi ta modeli organizacii dorozhn'ogo ruhu : navch. posib. Kiev, 2008. P. 49–169 [in Ukrainian].
10. Rekomendacii z prognuzuvannya ta pokrashchennya umov ruhu na osnovi informacijnoi bazi elektronnoho pasporta avtomobilnih dorog, susp, AESUM, ODR № derzhreestracii 0108 U 003507. K. 2009. 36 p. [in Ukrainian].
11. Silyanov V.V. Teoriya transportnih potokov v proektirovanii dorog i organizacii dvizheniya. Moskva, 1977. 303 p. [in Russian].
12. Udoshonalennya metodu rozrahunku maksimalnoi intensivnosti ruhu na dvosmugovih avtomobil'nih dorogah : dis. kand. tekhn. nauk : 05.22.11 . Kiiv, 2018. 237 p. [in Ukrainian].

Sergiy Neizvestniy<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-8888-313X>

Anatoliy Palchyk<sup>2</sup>, Ph.D., Prof., <https://orcid.org/0000-0002-7658-6066>

Natalia Neizvestna<sup>2</sup>, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0003-2406-3906>

Kateryna Dodukh<sup>2</sup>, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0003-2544-5359>

<sup>1</sup> M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> National Transport University, Kyiv, Ukraine

## DEVELOPMENT OF MEASURES TO IMPROVE ROAD CONDITIONS ON ROAD SECTIONS BASED ON THE ANALYSIS OF TRAFFIC CONDITIONS

### *Abstract*

Introduction. The analysis of road capacity is carried out. The dependence of the average speed on the geometric parameters of the highway and traffic conditions has been studied.

Problem statement. One of the reasons for the appointment of the road reconstruction or part of it is the deterioration of traffic safety, resulting in an increase in the number of victims and material losses during traffic accidents. Road capacity is an important indicator during highway reconstruction. The analysis of the road section capacity makes it possible to assess the work of the road during its entire life cycle from the moment of its commissioning to the moment of reconstruction. Existing methods for determining the practical traffic lane capacity, the maximum traffic volume on the highway section give ambiguous results that need to be improved.

Purpose. The purpose of the work is to study the average speed, which is one of the factors that determine the maximum traffic volume on the road.

Materials and methods. Analysis of the results of experimental studies of average speeds of free movement of different type of vehicles on roads of different categories.

Results. The general form of equations of dependence of average traffic speed on radii of horizontal curves and speed on a longitudinal slope is established; the impact of road conditions on the traffic speed according to the study of graphs of average speeds before and after the improvement of traffic conditions on road sections was analyzed.

Conclusions. Based on the assessment of traffic conditions with the provision of maximum traffic volume on road sections between intersections and junctions, which determine the traffic volume between them, it is possible to address the need for partial or complete reconstruction of the highway.

**Keywords:** road, traffic volume, intersection, junctions, road capacity, reconstruction, traffic speed.

УДК 625.7

Петрашенко О. П., <https://orcid.org/0000-0003-1641-5115>Єфименко Р. В., <https://orcid.org/0000-0002-9414-611X>Міненко Є. В., <https://orcid.org/0000-0001-8547-9089>

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна»  
(ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

---

## АНАЛІЗ СЕЗОННИХ ЗМІН АВАРІЙНОСТІ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ ДЕРЖАВНОГО ЗНАЧЕННЯ ТА ЇХ ВПЛИВ НА СТАТИСТИКУ ДТП

### *Анотація*

**Вступ.** В сучасному світі, де кожного дня стає дедалі більше і більше транспортних засобів, все гостріше постає питання безпеки дорожнього руху. Найбільш перспективним методом управління безпекою дорожнього руху, на наш погляд, є аналіз статистичних даних про дорожньо-транспортні пригоди (далі ДТП), який дає можливість визначити рівень аварійності, причини виникнення ДТП, оцінити ефективність впроваджених заходів з підвищення безпеки дорожнього руху тощо.

**Проблематика.** Оскільки головним завданням в забезпеченні безпеки руху є зниження аварійності і зменшення тяжкості наслідків від ДТП, а особливо зменшення ДТП зі смертельними наслідками до мінімуму, аналіз статистичних даних про ДТП відіграє основну роль і є невід'ємною частиною всебічного комплексного підходу у вирішенні питання управління безпекою дорожнього руху.

**Мета.** Метою роботи є визначення особливостей сезонного розподілу аварійності та визначення факторів, які впливають на виникнення дорожньо-транспортних пригод протягом року.

**Матеріали та методи.** У статті використано метод порівняння і ототожнення, який показує вплив сезонних змін на виникнення дорожньо-транспортних пригод, та матеріали галузевої Базис даних обліку та аналізу ДТП (Road Safety Management (RSM), створеної в ДП «ДерждорНДІ»).

**Результат.** Проведене дослідження формування характеристик сезонних змін аварійності на мережі державних доріг України дозволить виявити особливості і закономірності річної динаміки виникнення дорожньо-транспортних пригод з визначенням місячних максимумів та встановити особливості сезонної стійкості показників аварійності.

**Висновки.** На основі проведеного аналізу встановлено, що показники сезонної зміни аварійності в Україні досить стійкі, оскільки зазнають лише незначних коливань протягом року. Якісний аналіз аварійності за різними показниками дає змогу визначити основні причини, що впливають на виникнення ДТП та тяжкості їх наслідків. Врахування сезонних коливань аварійності дозволить раціонально спланувати діяльність транспортних організацій, направлену на попередження виникнення ДТП на автомобільних дорогах державного значення.

**Ключові слова:** аварійність, аналіз сезонних змін аварійності, безпека дорожнього руху, статистика дорожньо-транспортних пригод.

### **Вступ**

Виникнення дорожньо-транспортних пригод — це досить гостра проблема як в Україні, так і в усьому світі. Так за 2020 рік за даними Національної поліції на дорогах України сталося 168 107 ДТП, у тому числі із загиблими та/або травмованими — 26 140, в яких 3 541 людина загинула

та 31 974 отримали травми різного ступеню тяжкості. З них на автомобільних дорогах державного значення трапилось 16 815 ДТП, у тому числі 4 582 ДТП із загиблими та/або травмованими, в яких 1 279 людей загинуло та було травмовано 6 532 людини.

Україна прийняла програму Генеральної асамблеї ООН «Десятиліття дій щодо забезпеченню безпеки дорожнього руху», яка має на меті знизити рівень аварійності та кількість загиблих в дорожньо-транспортних пригодах вдвічі за період 2011–2020 роки [1, 2].

Швидке зростання автомобільного парку потребує безперервного спостереження за динамікою аварійності та впровадження економічно обґрунтованих заходів з підвищення безпеки дорожнього руху. Важливу роль в усвідомленні проблеми безпеки дорожнього руху в країні відіграє доступність інформації про стан аварійності, яка допомагає встановити найважливіші причини її виникнення. Безперечно, що зменшення рівня аварійності та тяжкості наслідків від ДТП можливе лише за умови ретельного вивчення домінуючих причин виникнення аварій та ефективної інтерпретації результатів такого аналізу в цільові показники, які б могли поліпшити безпеку дорожнього руху.

Повністю попередити виникнення дорожньо-транспортних пригод неможливо, оскільки вони трапляються не тільки внаслідок несприятливих дорожніх умов. На їх виникнення впливає дуже багато факторів, які відносяться як до умов руху на автомобільній дорозі, так і до впливу самого транспортного потоку, окремого автомобіля, людського фактору, погодних умов тощо. Виявлення цих факторів неможливо уявити без використання статистичних даних про ДТП [3].

### Основна частина

Аналізуючи аварійності, можна відмітити просторові та часові характеристики, притаманні дорожньо-транспортним пригодам. Просторовий розподіл аварійності по довжині дороги відображає відповідність експлуатаційного стану автомобільної дороги вимогам транспортного потоку, дає оцінку рівня аварійності як на окремих ділянках так і на дорозі в цілому. Часовий розподіл ДТП дає можливість виявити особливості їхньої динаміки в періоди різної тривалості (рік, місяць, доба тощо), циклічності, визначити найбільш небезпечні часові інтервали тощо. Таким чином часовий аналіз оперує річними, сезонними та добовим показниками [4].

У даній роботі ми зосередимось на аналізі сезонних змін аварійності на дорогах загального користування державного значення України. При внутрішньорічному аналізі ДТП на мережі державних доріг передбачається визначення річної динаміки аварійності для загального числа ДТП та ДТП із загиблими та/або травмованими, особливостей сезонного розподілу, а також розкриття можливих факторів, які впливають на виникнення дорожньо-транспортних пригод протягом року.

Для проведення якісного аналізу аварійності необхідний значний обсяг інформації. Так в якості джерела вихідних даних для проведення аналізу були використані відомості про ДТП на автомобільних дорогах загального користування державного значення України за 2012–2020 роки, отримані із галузевої бази даних обліку і аналізу ДТП ДП «ДерждорНДІ», яка має відомості про час скоєння ДТП, місце, вид, порушення ПДР тощо [5].

У **табл. 1** наведені вихідні дані, які використані в ході дослідження. Об'єм вихідних даних на державних дорогах України характеризується наступними цифрами: за вказаний період (2012–2020 рр) зафіксовано 156 006 всього ДТП та 49 382 ДТП із загиблими та/або травмованими, в яких 14 673 людини загинуло та 69 980 отримали травми різного ступеню тяжкості.

Для кращого сприйняття та аналізу вище наведених даних, на **рис. 1** наведено розподіл ДТП за роками на державних дорогах України за 2012–2020 роки.

Таблиця 1

Кількість дорожньо-транспортних пригод на державних дорогах України за 2012–2020 рр.

Показники аварійності	Місяць відповідного року											
	Грудень	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад
2012												
Всього	2 581	1 765	1 592	1 348	1 647	1 524	1 718	2 191	2 396	1 946	1 961	1 709
З загиблими та/або травмованими	620	523	362	407	548	525	562	733	776	730	694	610
Показники аварійності	Місяць відповідного року											
	Грудень	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад
2013												
Всього	2 245	2 081	1 300	1 519	1 268	1 483	1 747	1 980	2 236	1 786	1 862	1 823
З загиблими та/або травмованими	742	485	294	373	385	499	613	708	747	616	676	680
2014												
Всього	1 642	1 657	1 234	1 306	1 307	1 229	1 294	1 481	1 611	1 359	1 556	1 476
З загиблими та/або травмованими	536	446	360	475	448	411	478	544	602	528	574	535
2015												
Всього	1 574	1 015	788	773	979	969	1 082	1 397	1 573	1 470	1 554	1 378
З загиблими та/або травмованими	659	298	238	293	353	393	424	511	590	532	578	574
2016												
Всього	1 715	1 504	1 020	949	1 129	1 182	1 193	1 334	1 152	1 279	1 378	1 558
З загиблими та/або травмованими	501	479	339	331	365	405	414	509	398	479	494	495
2017												
Всього	1 554	1 359	1 219	1 084	1 274	1 244	1 215	1 584	1 526	1 353	1 453	1 426
З загиблими та/або травмованими	431	379	309	317	415	415	461	544	503	445	442	456
2018												
Всього	1 622	1 176	1 143	1 331	1 173	1 200	1 278	1 588	1 682	1 378	1 426	1 314
З загиблими та/або травмованими	450	334	313	288	335	364	408	425	495	459	456	375

2019												
Всього	1 544	1 383	941	988	1 155	1160	1 323	1 469	1 551	1 422	1 436	1 412
З загиблими та/або травмованими	438	322	208	284	332	331	386	443	446	442	444	408
2020												
Всього	1 779	1 136	1 129	1 009	808	1 242	1 466	1 653	1 824	1 595	1 686	1 488
З загиблими та/або травмованими	478	340	307	278	227	355	389	397	489	430	469	423

Примітка. Дані представлені без врахування ДТП в АР Крим та частково Донецькій та Луганській областях.

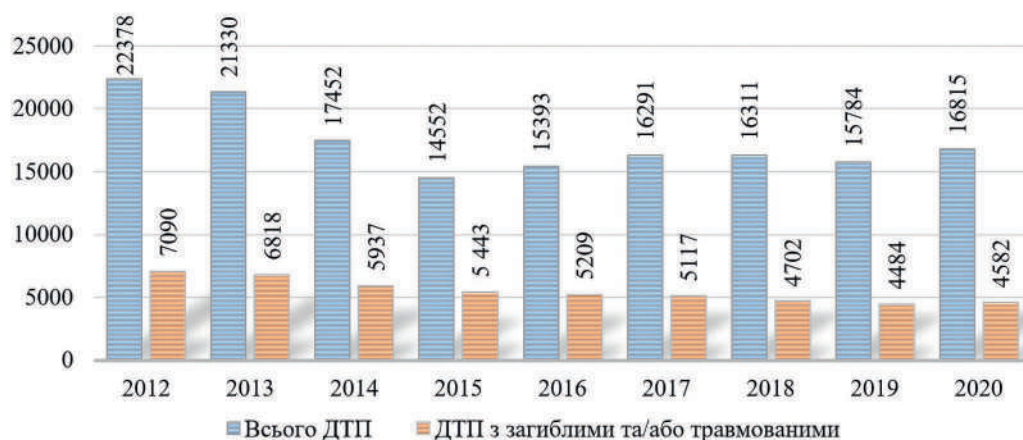


Рисунок 1 — Динаміка аварійності на державних дорогах України за 2012–2020 рр.

Як можемо спостерігати, у період з 2012 по 2015 рік на автомобільних дорогах загального користування державного значення спостерігається зниження загальної кількості ДТП досягаючи свого мінімуму у 2015 році — 14 552 ДТП. Починаючи з 2016 року рівень аварійності поступово зростає, коливаючись в межах від 15 393 до 16 815.

Що стосується ДТП із загиблими та/або травмованими, починаючи з 2012 по 2019 рік рівень аварійності поступово знижується, досягаючи мінімуму у 2019 році — 4 484 ДТП. Проте з 2020 року кількість ДТП зростає до значення – 4 582 ДТП.

Розподіл ДТП за місяцями на мережі державних доріг (рис. 2) дає змогу прослідкувати внутрішньорічну динаміку аварійності. Слід відмітити, що показники внутрішньорічної аварійності в різні роки мають свою індивідуальні показники, проте з графіка видно, що при цьому всьому між ними спостерігаються риси подібності. На фоні річних коливань аварійності з врахуванням окремих місяців можна виділити тенденції сезонних коливань, характеристики яких притаманні всьому періоду аналіз.

У представленому нижче графіку (рис. 3) включені сумарні показники аварійності за 2012–2020 рр., які дозволяють оцінити особливості сезонної динаміки аварійності, а також багаторічні тенденції цієї змінності. Так в період з 2012 по 2020 рік на державних дорогах України зафіксовано 156 006 ДТП, у тому числі із загиблими та/або травмованими 49 382 ДТП, в яких 14 613 людей загинуло та 69 980 отримали травми різного ступеню тяжкості.

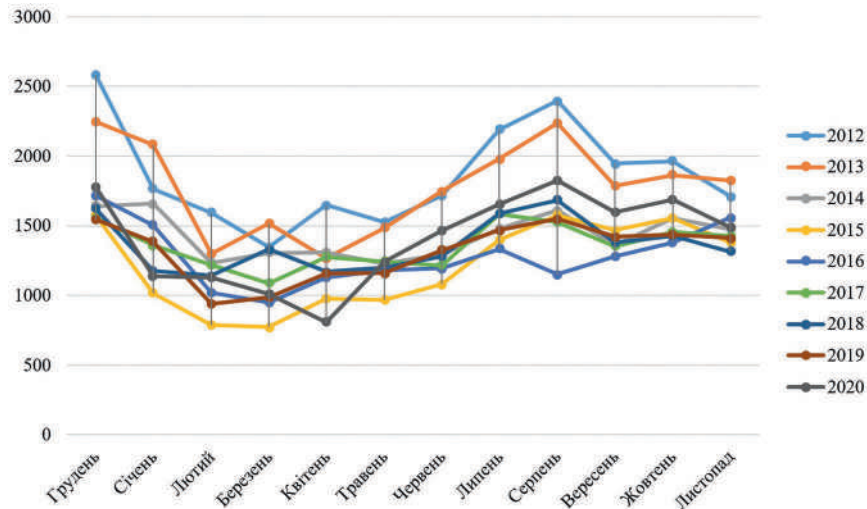


Рисунок 2 — Розподіл загальної кількості ДТП за роками на державних дорогах України

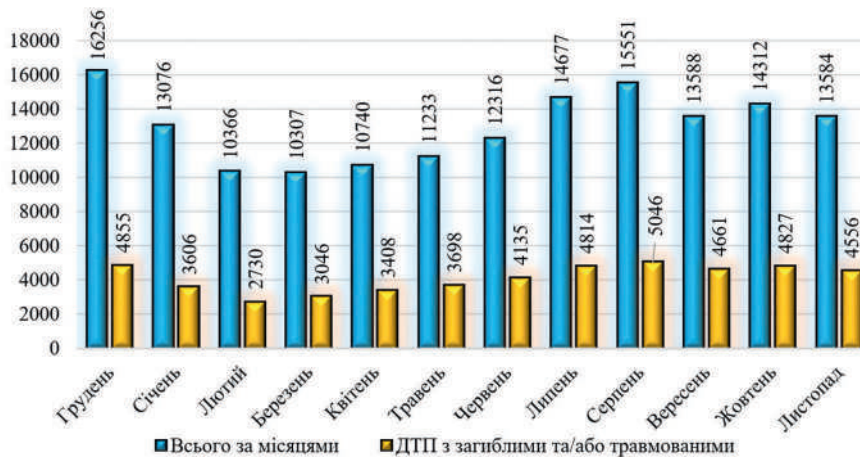


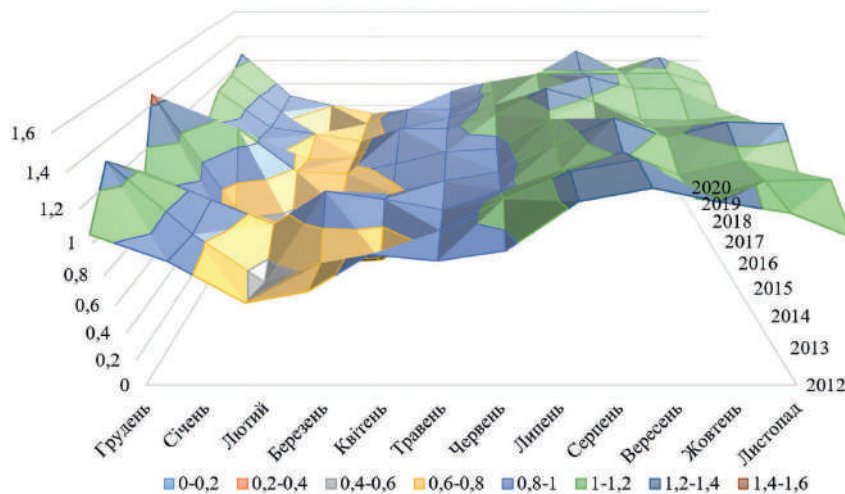
Рисунок 3 — Розподіл сумарних показників аварійності на державних дорогах України за 2012–2020 рр.

Аналізуючи даний графік можна відмітити, що чітко виражений річний максимум загальної кількості дорожно-транспортних пригод (16 256) припадає на грудень. Зауважимо, що максимальне значення ДТП із загиблими та/або травмованими (5 046) припадає на серпень. У той самий час, мінімальні показники аварійності для загальної кількості ДТП (10 307) та для ДТП із загиблими та/або травмованими (2 730) припадають відповідно на березень та лютий.

Для кращого сприйняття і розуміння вище представлених даних було розраховано коефіцієнт місячної нерівномірності (сезонності),  $K_{\text{ДТП}_{\text{сез}}}$  який являє собою відношення фактичної кількості ДТП в конкретний місяць до його середньомісячного значення [6]:

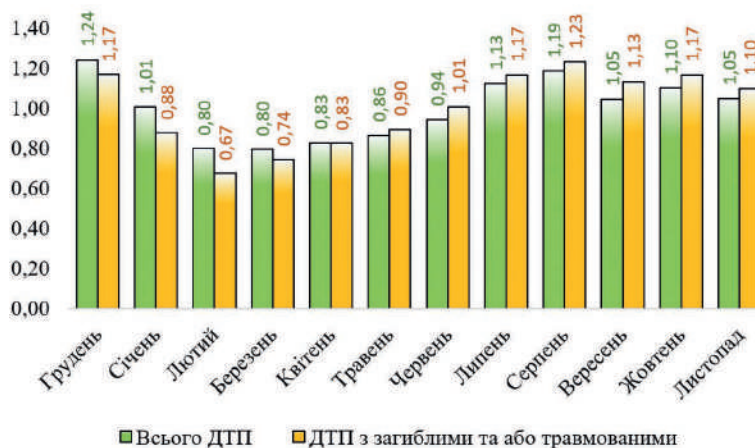
$$K_{\text{ДТП}_{\text{сез}}} = \frac{N_{\text{ДТП}_{\text{міс}}}}{N_{\text{ДТП}_{\text{сеп}}}}. \quad (1)$$

На **рис. 4** представлено графік зміни величини на державних дорогах України протягом 9 років.



**Рисунок 4** — Коефіцієнт місячної нерівномірності (сезонності) ДТП із загиблими та/або травмованими за 2012–2020 рр.

На **рис. 5** наведено сумарні показники коефіцієнта сезонності ДТП за 2012–2020 рр. З графіка видно, що показники коефіцієнта сезонності коливаються в діапазоні 0,80–1,24 для загальної кількості ДТП та 0,67–1,23 для ДТП із загиблими та/або травмованими. Це вказує на те, що, відносно річного середньомісячного показника аварійності (рівний 1,0) протягом року динаміка аварійності коливається в межах (23–33) % для загальної кількості ДТП та (20–24) % для ДТП із загиблими та/або травмованими. Слід відмітити, що на відміну від загального розподілу за кількістю ДТП, розподіл за коефіцієнтом місячної нерівномірності дає змогу побачити, що в період з травня по листопад середні показники сезонності для ДТП із загиблими та/або травмованими перевищують показники для загальної кількості ДТП.



**Рисунок 5** — Сумарні показники коефіцієнта місячної нерівномірності ДТП із загиблими та/або травмованими на державних дорогах України за 2012–2020 рр.

Загалом можна сказати, що зниження кількості ДТП спостерігається в зимово-весняний період. Починаючи з квітня аварійність поступово зростає, досягаючи свого локального максимуму



у липні, серпні та грудні. Ця тенденція виглядає достатньо стійкою, оскільки з року в рік значення коефіцієнта сезонності змінюється незначно.

Високий рівень аварійності в літній період спровокований високою транспортною активністю, оскільки у значної частини населення починається сезон відпусток, активно тривають аграрні роботи тощо. З настанням осінньо-зимового періоду продовжується зростання аварійності, досягаючи річного максимуму у грудні. Це можна пояснити погіршенням метеорологічних умов, до яких водіям доводиться пристосовуватись. У грудні кількість ДТП зростає переважно у зв'язку з великою ймовірністю поганих погодних явищ у цей час (снігопади, ожеледиця тощо) та найнижчою тривалістю світлового дня. Помітний спад кількості аварій в перший місяць року зумовлений протяжними святами, у ході яких значна частина населення не користується транспортними засобами та підвищеною уважністю водіїв, спричиненою поганими метеорологічними умовами.

### Висновки

Таким чином виконаний часовий аналіз ДТП на державних дорогах України дозволив виявити особливості і закономірності річної динаміки аварійності з визначеними місячними максимумами, оцінивши вплив факторів на виникнення ДТП (характеристики активності людей, метеорологічних умов тощо).

На основі проведеного аналізу можна сказати, що показники сезонної зміни аварійності в Україні досить стійкі, оскільки зазнають лише незначних коливань протягом року. При цьому погодні умови і зміна сезонної активності людей виступають основним фактором, що впливає на річне коливання аварійності.

Врахування сезонного зростання і спаду аварійності дозволить раціонально планувати діяльність транспортних організацій, направлену на попередження виникнення дорожньо-транспортних пригод на дорогах країни.

### Список літератури

1. Повышение безопасности дорожного движения во всем мире: Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей (ООН 58/289 від 14.04.2004). Организация Объединенных Наций. URL: <https://undocs.org/ru/A/RES/58/289> (дата звернення: 16.06.2021).
2. Стратегія підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 14.06.2017 № 481-р // База даних Законодавство України / Кабінет Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/481-2017-%D1%80> (дата звернення 16.06.2021).
3. Петрашенко О.П., Міненко Є.В. Роль наявності статистичних даних про дорожньо-транспортні пригоди у забезпеченні безпеки дорожнього руху. *Збірник тез міжнародної науково-технічної конференції «Гідротехнічне і транспортне будівництво»*, Одеса, 2019; С.87-89.
4. Погорелов А.В., Стебловский А.С. Сезонная изменчивость дорожно-транспортных происшествий в городе Краснодаре. *Научный журнал КубГАУ*. Краснодар, 2013. Вип. 93(09). С. 1511-1522.
5. Дані галузевої Бази даних обліку і аналізу ДТП ДП «ДерждорНД».
6. Петров А.И. Сезонная устойчивость характеристик автотранспортной аварийности на примере Тюмени. *Транспорт РФ*. Санкт-Петербург, 2015. Вип. 5 (60). С. 64-68.

### References

1. Improving global road safety: Resolution adopted by the General Assembly on 14 April 2004. (58/289). United Nations. URL: <https://undocs.org/en/A/RES/58/289> (Last accessed: 23.02.2019) [in English].

2. Strategy for improving the level of traffic safety in Ukraine for the period till 2020: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 481-p dated 14.06.2017 // Database Legislation of Ukraine / Cabinet of Ministers of Ukraine. URL /: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/481-2017-%D1%80> (date of appeal 16.06.2021).
  3. O.P. Petrashenko Ye.V.Minenko . The role of traffic accidents statistical data availability in ensuring the traffic safety. *Collection of abstracts of international scientific and technical conference "Hydraulic and transport construction"*, Odesa, 2019. P. 87-89.
  4. A.V. Pohorelov, A.S. Steblovskiy. Seasonal variability of road accidents in Krasnodar. *Scientific journal of Kuban State Road University Krasnodar*, 2013. Issue 93 (09). P. 1511-1522.
  5. Data of industrial database of road accidents accounting and analysis "DerzhdorNDI" SE.
  6. A.I Petrov. Seasonal stability of accident level characteristics on the example of Tiumen. *Transport of Russian Federation. Sankt-Petersburgh*, 2015. Issue 5 (60). P. 64-68.
- 

**Oleksii Petrashenko**, <https://orcid.org/0000-0003-1641-5115>

**Roman Yefymenko**, <https://orcid.org/0000-0002-9414-611X>

**Yevhen Minenko**, <https://orcid.org/0000-0001-8547-9089>

*M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine*

### ANALYSIS OF SEASONAL CHANGES OF ACCIDENT LEVEL ON THE ROADS OF STATE IMPORTANCE AND THEIR IMPACT ON ROAD ACCIDENTS STATISTICS

#### ***Abstract***

**Introduction.** In the modern world, where more and more vehicles appear every day, the issue of traffic safety is becoming more acute. The most prospective method of traffic safety management, on our opinion, is the analysis of statistical data on road accidents (hereinafter accidents), which allows to determine the accident level, causes of accidents, evaluate the effectiveness of implemented measures to improve traffic safety and more.

**Problem Statement.** As the main task of traffic safety ensuring is to reduce accident level and severity of the accidents consequences, and especially to reduce accidents with fatalities to a minimum, the analysis of accident statistics data plays a key role and is an integral part of a comprehensive approach to solve the issue of the traffic safety management.

**Purpose.** The purpose of the work is to determine the features of the seasonal distribution accidents and identification of factors that affect the occurrence of road accidents during the year

**Materials and method.** The article uses a method of comparison and identification, which shows the impact of seasonal changes on the occurrence of road accidents, and materials of the Road Safety Management (RSM) branch database which was created in the State Enterprise "DerzhDorNDI").

**Results.** The study of the formation of characteristics of seasonal changes in accident level on the network of state roads of Ukraine allows identifying the features and patterns of annual dynamics of road accidents with the definition of monthly maximum and determining the features of seasonal stability of accident level indexes.

**Conclusions.** Based on the analysis, it was found that the indicators of seasonal changes in accidents in Ukraine are quite stable, as they experience only minor fluctuations during the year. Qualitative analysis of accidents by various indicators allows determining the main causes that impact on the occurrence of accidents and the severity of their consequences. Taking into account the seasonal variability of the accident level allows rationally planning the activities of transport organizations directed on preventing road accidents on the roads of state importance.

**Keywords:** accident level, analysis of seasonal changes of accident level, traffic safety, statistics of road accidents.

УДК 625.7/.8

Харитоновна Н. М., <https://orcid.org/0000-0001-5732-3407>

Лозова Т. М., <https://orcid.org/0000-0002-6615-5932>

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

---

## СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ТВАРИН НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ. ДОСВІД АМЕРИКИ ТА КРАЇН ЄВРОПИ

### *Анотація*

**Вступ.** Проаналізовано досвід країн Західної Європи та Америки, опрацьовані цілі та методи впровадження систем виявлення диких тварин на автомобільних дорогах.

**Проблематика.** Зменшення природного середовища існування диких тварин спричиняє зростання кількості дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Системи виявлення тварин спрямовані на зменшення частоти зіткнень диких тварин та транспортних засобів.

**Мета.** Метою роботи є аналіз літературних джерел щодо ефективності та оцінки впровадження систем виявлення диких тварин. Опрацювання джерел, в яких описано історію запровадження та досвід зарубіжних країн.

**Матеріали і методи.** Аналіз зарубіжних джерел щодо впровадження систем виявлення диких тварин.

**Результати.** Проведено аналіз зарубіжних інформаційних джерел щодо впровадження систем виявлення диких тварин.

**Висновки.** Описано досвід країн Західної Європи та Північної Америки, проаналізовано ефективність впровадження систем виявлення диких тварин.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, безпека дорожнього руху, біоперехід, система виявлення, тварина, транспортний засіб.

### **Вступ**

Зіткнення диких тварин з транспортними засобами є істотною проблемою, у наш час, яка має вплив як на безпеку дорожнього руху, так і на дику природу. [1]. До найпопулярніших заходів захисту диких тварин, належать влаштування біопереходів та огорожень. Проводяться подальші дослідження з метою зменшення впливу автомобільної дороги на середовище проживання диких тварин.

Наразі в Україні відсутні збудовані біопереходи.

Також до ефективних засобів захисту дикої природи відносяться: попереджувальні знаки, системи виявлення тварин, відбивачі, ультразвукові попереджувальні сигнали, програми інформування громадськості [2].

Системи виявлення тварин є прикладом технології, спрямованої на зменшення зіткнень тварин і транспортних засобів. Ці системи використовують датчики для виявлення великих ссавців, вздовж дороги. Після виявлення великого ссавця активізуються та загораються попереджувальні знаки, що закликають водіїв сповільнитись і бути більш уважними.

В Україні та Східній Європі ці системи не досліджувались та не впроваджувались.

## Основна частина

Системи виявлення тварин — це відносно нова технологія, яку використовують транспортні агенції для вирішення проблем безпеки руху, пов'язаних з аваріями, що спричинені зіткненнями транспортних засобів та диких тварин. Ці системи дозволяють уникнути проблеми фрагментації середовища проживання тварин, які виникають при методах огороження дикої природи від автомобільних доріг. При правильній установці та калібруванні прихованих датчиків, вони виявляються більш надійними за різних погодних умов та умов дорожнього руху, а також мають мінімальний вплив на середовище існування дикої природи та шляхи міграції [3].

Системи виявлення тварин поділяються на 2 основних типи (рис. 1):

- системи охоплення площі, які виявляють тварин у будь-якому місці всередині своєї зони покриття;
- системи фактичної присутності, які виявляють тварин при вході та виході з проїзної частини.



Рисунок 1 — Типи систем виявлення тварин на автомобільних дорогах

Системи виявлення тварин зазвичай встановлюються на ділянках з високою концентрацією дорожньо-транспортних пригод (ДТП) за участі диких тварин, однак вони також можуть бути встановлені у місцях, перетину поточної або запланованої ділянка середовища проживання великих тварин з дорогою. Для визначення ефективності цих систем, протягом декількох років виконується моніторинг кількості скоєних ДТП за участі диких тварин, перед та після установки.

Вони складаються з двох частин: компонента системи виявлення тварин (інфрачервоним, термічним або датчиком руху), який налаштований на виявлення тварин та системи попередження, що активує попереджувальні знаки для водіїв. Оскільки ці знаки не статичні, вважається, що вони привертають більше уваги водіїв, ніж традиційні знаки. Ці системи орієнтовані на великих тварин (лось, олень, дикий кабан), які можуть спричинити загибель людей, травмування та пошкодження майна.

Системи виявлення тварин можуть бути встановлені як окремий метод пом'якшення наслідків негативного впливу, або можуть бути об'єднані з іншими заходами, а саме, огороження ділянок автомобільної дороги та влаштування біопереходів (підземних тунелей, естакад). З суцільним огороженням для дикої природи, ці системи можуть бути встановлені на закінченні огорожень або біля прогалин у парках.

Мета системи попередження водія — зробити водіїв більш обізнаними про те, що на дорозі присутні тварини. Проінформованість змусить водія уповільнити швидкість, що, у свою чергу, дасть водієві більше часу, щоб відреагувати на присутність тварини, і потенційно знизити ймовірність її зіткнення з транспортним засобом.

Починаючи з 1990-х років, системи виявлення тварин були встановлені у 34 місцях по Європі та Північній Америці [4].

У літературних джерелах повідомляється про перші дослідження у Швейцарії, датовані 1998 роком, системи були встановлені у семи місцях по країні, кожна з яких складалась із серії пасивних інфрачервоних датчиків для виявлення копитних тварин, таких як косуля та благородний олень [5]. У результаті цього дослідження було визначено, що кількість зіткнень тварин і транспортних засобів вдалося зменшити на 82 %.

У Фінляндії у 1996, було встановлено систему, що при виявленні рухів великих тварин радіолокаційними мікрохвильовими датчиками на відстані 50 м, запускала світлодіодні інформаційні табло з символом лося та попереджала водії про присутність великих тварин на дорозі або поруч з нею, залишаючись освітленими протягом двох-трьох хвилин після запуску тваринами. Виявлення великої тварини також активувало відеокамеру та реєстратор. [6].

Перша система встановлена в штаті Вашингтон, США (Hwy 395) датується липнем 2000 року, яка складалась з двох лазерів, по одному із кожної сторони, двох попереджуючих знаків про оленів, двох менших прямокутних знаків з написом та двох червоних пробліскових маячків на сонячних батареях. Вона пропрацювала лише до 2002 року через хибні спрацювання та недоліки лазерного обладнання.

Також такі системи були встановлені вздовж доріг національних парків Кутеней, (Канада) та Сллоустоон (США), у Нідерландах, Швеції, Норвегії та Німеччині [7].

Кілька досліджень вказують на те, що зіткнення зменшувались від 80 % до 90 %, коли на дорозі встановлювали системи попередження [8, 9]. Успіх цих систем попередження пояснювався зниженням швидкості та збільшенням гальмівного шляху [10].

Згідно досліджень, що були проведені у штаті Вайомінг під час міграції американських червонохвостих оленів, водії реагували на сигнальні вогні у нічний час та в середньому знижували швидкість на 6-8 км/год, а при долученні «пасток» для оленів біля узбіччя на 20 км/год. Але незважаючи на позитивні результати автор розмірковує чи пристосуються місцеві водії та чи будуть з часом знижувати швидкість на цих ділянках.

Більшість технологій виявлення тварин вразливі до «помилкових негативних результатів» та «помилкових спрацювань». Помилкові негативні результати виникають, якщо тварина наближається, але системі не вдається її виявити. Помилкові спрацювання трапляються, якщо система повідомляє про присутність тварини, але жодної тварини немає. Зведення їх до мінімуму дуже важливо, оскільки водії повинні реагувати на попереджувальні сигнали. Як тільки система виявлення тварин надійно виявляє цільові види та активує попереджувальні сигнали та знаки, реакція водія визначає, наскільки ефективно система, в кінцевому підсумку, уникає або зменшує зіткнення з тваринами та транспортними засобами.

Переваги систем виявлення тварин:

- можуть надати диким тваринам можливість безпечного переходу в будь-якому місці вздовж проїзної частини, але кількість місць для диких тварин зазвичай обмежена, і вони рідко бувають ширше  $\approx 50$  м;

- менше обмежують пересування диких тварин, ніж огорожі або біопереходи. Вони дозволяють тваринам продовжувати використовувати існуючі шляхи до дороги або змінювати їх з плином часу;

- можуть бути встановлені без капітального будівництва доріг або регулюванням дорожнього руху протягом тривалого часу.

Недоліки систем виявлення тварин:

- на відміну від біопереходів, не мають потенціал для забезпечення покриття (рослинність,

дерева, пеньки) та натурального субстрату (вода, пісок), що забезпечує краще поєднання середовища проживання;

- хибні спрацьовування через птахів та погодні умови (туман, дощ, сніг, вітер);
- витрати на обслуговування та впровадження систем.



**Рисунок 2** — Приклади корпусу управління та попереджувальних знаків систем виявлення диких тварин

### Висновки

За останні роки прослідковується збільшення кількості дорожньо-транспортних пригод, пов'язаних із наїздами транспортних засобів на тварин на автомобільних дорогах загального значення. Особлива небезпека приховується у ДТП за участю такої тварини як лось. Унаслідок раптових перетинів дороги тваринами, водій та пасажир транспорту отримують важкі травми, а тварини гинуть на місці.

Традиційними заходами щодо зменшення числа загиблих тварин на дорогах, особливо великих ссавців, наразі є огороження в поєднанні з біопереходами [11].

Системи виявлення диких тварин можуть бути одним з ефективних інструментів пом'якшення наслідків впливу автомобільних доріг на дику природу та зменшення кількості зіткнень тварин з автотранспортними засобами.

### Список літератури

1. Ярошук О. С., Харитоновна Н. М., Лозова Т. М., Дослідження впливу автомобільної дороги на безпеку дикої природи та шляхи її вирішення, *Дороги і мости*, 2020 Вип. 21, с. 77-85. <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.077>

2. Iuell, B., Bekker, G. J., Cuperus, R., Dufek, J., Fry, G., Hicks, C., et al. (2003). *Wildlife and traffic: A European handbook for identifying conflicts and designing solutions*. Utrecht: KNNV *Natural History Publishers*.
3. Druta, C., and Alden, A.S. Evaluation of a Buried Cable Roadside Animal Detection System. VTRC 15-R25. Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, 2015.
4. Huijser, M. P., P. T. McGowen, W. Camel, A. Hardy, P. Wright, A. P. Clevenger, L. Salsman, and T. Wilson. Animal Vehicle Crash Mitigation Using Advanced Technology. Phase I: Review, Design and Implementation. SPR 3(076). FHWA-OR-TPF-07-01, Western Transportation Institute – Montana State University, Bozeman, USA, 2006.
5. Kistler, R. 1998. Wissenschaftliche Begleitung der Wildwarnanlagen Calstrom WWA-12-S. Juli 1995 – November 1997. Schlussbericht. Infodienst Wildbiologie & Oekologie, Zürich, Switzerland.
6. Taskula, K. 1997. The moose ahead. *Traffic Technology International*: 170-173.
7. Huijser, Marcel P. McGowen, Patrick T., Overview of animal detection and animal warning systems in North America and Europe, 2003.
8. Dodd, N.L., and Gagnon, J.W. Preacher Canyon Wildlife Fence and Crosswalk Enhancement Project, State Route 260, Arizona. First year progress report, Project JPA 04-088. Arizona Game and Fish Department, Research Branch, Phoenix, AZ, 2008.
9. Meyer, A.N. Assessing the Effectiveness of Deer Warning Signs. Report No. KTRAN: KU-03-6. The University of Kansas, Lawrence, 2006.
10. Khalili, M., and Heaslip, K. Improvement of the Performance of Animal Crossing Warning Signs. *Journal of Safety Research*, Vol. 62, No. 1, 2017, pp. 1–12.
11. Лозова, Т. М. Ярошук О.С. Світовий досвід вибору пріоритетних ділянок влаштування біопереходів та огорожень для захисту диких тварин. - *Автошляховик України науково-виробничий журнал*. Київ, 2020 р. № 4, С.64-68. DOI: 10.33868/0365-8392-2020-4-264-64-68
12. Huijser M.P., P. McGowen, J. Fuller, A. Hardy, A. Kociolek, A.P. Clevenger, D. Smith and R. Ament. Wildlife-vehicle collision reduction study. Report to Congress. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Washington, 2008.

### References

1. Yaroshchuk O.S., Kharytonova N.M., Lozova T.M., Study of the impact of highway on the wildlife safety and ways to solve it, *Roads and bridges*, 2020 Issue 21, p. 77-85. <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.077>
2. Iuell, B., Bekker, G. J., Cuperus, R., Dufek, J., Fry, G., Hicks, C., et al. (2003). *Wildlife and traffic: A European handbook for identifying conflicts and designing solutions*. Utrecht: KNNV *Natural History Publishers*.
3. Druta, C., and Alden, A.S. Evaluation of a Buried Cable Roadside Animal Detection System. VTRC 15-R25. Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, 2015.
4. Huijser, M. P., P. T. McGowen, W. Camel, A. Hardy, P. Wright, A. P. Clevenger, L. Salsman, and T. Wilson. Animal Vehicle Crash Mitigation Using Advanced Technology. Phase I: Review, Design and Implementation. SPR 3(076). FHWA-OR-TPF-07-01, Western Transportation Institute – Montana State University, Bozeman, USA, 2006.
5. Kistler, R. 1998. Wissenschaftliche Begleitung der Wildwarnanlagen Calstrom WWA-12-S. Juli 1995 – November 1997. Schlussbericht. Infodienst Wildbiologie & Oekologie, Zürich, Switzerland.
6. Taskula, K. 1997. The moose ahead. *Traffic Technology International*: 170-173.
7. Huijser, Marcel P. McGowen, Patrick T., Overview of animal detection and animal warning systems in North America and Europe, 2003.

8. Dodd, N.L., and Gagnon, J.W. Preacher Canyon Wildlife Fence and Crosswalk Enhancement Project, State Route 260, Arizona. First year progress report, Project JPA 04-088. Arizona Game and Fish Department, Research Branch, Phoenix, AZ, 2008.

9. Meyer, A.N. Assessing the Effectiveness of Deer Warning Signs. Report No. KTRAN: KU-03-6. The University of Kansas, Lawrence, 2006.

10. Khalili, M., and Heaslip, K. Improvement of the Performance of Animal Crossing Warning Signs. Journal of Safety Research, Vol. 62, No. 1, 2017, pp. 1–12.

11. Lozova, T.M. Yaroshchuk O.S. World experience for selecting the priority areas for wildlife crossing and fences arrangement for wild animal protection. - Research and Production Journal of Ukraine "Avtoshliakhovyk". - Kyiv: State Enterprise "State Motor Transport Research and Design Institute", - 2020 № 4, P.64-68. DOI: 10.33868 / 0365-8392-2020-4-264-64-68.

12. Huijser M.P., P. McGowen, J. Fuller, A. Hardy, A. Kociolek, A.P. Clevenger, D. Smith and R. Ament. Wildlife-vehicle collision reduction study. Report to Congress. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Washington, 2008.

---

**Nataliia Kharytonova**, <https://orcid.org/0000-0001-5732-3407>

**Tetiana Lozova**, <https://orcid.org/0000-0002-6615-5932>

*M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine*

### SYSTEMS OF ANIMAL DETECTION ON HIGHWAYS. EXPERIENCE OF USA AND EUROPEAN COUNTRIES

#### ***Abstract***

**Introduction.** The experience of the countries of Western Europe and USA was analyzed, the purposes and methods of implementation of wild animals detection systems on highways are developed.

**Problem statement.** The reduction of the natural habitat of wild animals leads to an increase in the number of road accidents. Animal detection systems are aimed at reducing the frequency of collisions between wild animals and vehicles.

**Purpose.** The purpose of the study is to analyze the literature on the effectiveness and evaluation of the implementation of wild animal detection systems; to elaborate sources that describe the history of implementation and experience of foreign countries.

**Materials and methods.** Analysis of foreign sources on the implementation of wild animal detection systems.

**Results.** The analysis of foreign information sources on the implementation of wild animal detection systems was carried out.

**Conclusions.** The experience of the countries of Western Europe and North America is described, the efficiency of implementation of wild animal detection systems is analyzed.

**Keywords:** road, road safety, wildlife crossing, highway, animal, vehicle.



УДК 625.855

**Каськів В. І.**, канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

**Копинець І. В.**, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-0908-4795>

**Соколов О. В.**, <https://orcid.org/0000-0002-4694-9647>

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна»  
(ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

## ВИКОРИСТАННЯ ПОБІЧНИХ ПРОДУКТІВ ПРОМИСЛОВОСТІ В ЯКОСТІ МІНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКУ В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

### *Анотація*

**Вступ.** Мінеральний порошок є важливою структурною складовою асфальтобетону. Під мінеральним порошком розуміють матеріал, який виходить після подрібнення гірських порід або порошкоподібних залишків промисловості. Його виготовляють способом помелу таких твердих порід: доломітизованих вапняків, доломіту, вапняків. В якості сировини також використовують не карбонатну сировину і відходи промисловості.

**Проблематика.** Дорожня галузь щорічно потребує великих обсягів асфальтобетонних сумішей для влаштування і ремонту покриття. У зв'язку з цим, зростає потреба в дефіцитних карбонатних мінеральних порошках. Тому доцільно розглянути дослідження, спрямовані на вивчення ряду побічних продуктів промисловості з метою використання їх в якості мінерального порошку асфальтобетонів.

**Мета.** Виконати аналіз існуючого досвіду використання відходів промисловості як мінеральний порошок у виробництві асфальтобетонної суміші для подальшого впровадження та підвищення екологічної безпеки, та експлуатаційних характеристик дорожніх одягів за рахунок нових дорожньо-будівельних матеріалів.

**Матеріали і методи.** Аналіз інформаційних джерел і досвіду щодо використання відходів промисловості як мінеральний порошок та дослідження вимог до матеріалів та їх складу.

**Результати.** Проведено аналітичний огляд досвіду використання відходів промисловості як мінеральний порошок. Вивчено та проаналізовано різні матеріали, встановлені вимоги до матеріалів, їх гранулометричного складу, вмісту в асфальтобетонній суміші.

**Висновки.** Аналіз світового досвіду щодо використання відходів промисловості як сировини для виготовлення мінерального порошку встановив, що у більшості країн світу їх використовують повністю і зокрема у дорожньому будівництві. Було встановлено, що використання різних відходів промисловості під час будівництва автомобільних доріг є життєздатним варіантом, який потребує подальшого вивчення.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, асфальтобетон, асфальтобетонна суміш, густина, дорожнє будівництво, екологія, зола-винесення, мінеральний порошок, міцність на стиск.

### **Вступ**

Мінеральний порошок є невід'ємною частиною асфальтобетону. На його частку припадає більше 90 % сумарної питомої поверхні мінеральних зерен, що входять до складу асфальтобетону. Основним призначенням мінерального порошку є переведення бітуму з об'ємного в тонко-

плівковий стан, що забезпечує підвищення його в'язкості, міцності та теплостійкості порівняно з об'ємним бітумом. У поєднанні з бітумом мінеральний порошок утворює структуровану дисперсну систему, яка виконує роль в'язучого матеріалу в асфальтобетоні. Інше призначення мінерального порошку — заповнення дрібних пор між більш крупними зернами. Таким чином, присутність необхідної кількості мінерального порошку сприяє підвищенню щільності мінерального складу асфальтобетонної суміші, а отже, і підвищенню щільності асфальтобетону. У разі недостатньої кількості мінерального порошку виникає необхідність у збільшенні вмісту бітуму для заповнення порот між мінеральними матеріалами, що призводить до отримання менш якісного матеріалу.

Завдяки адсорбуючій поверхні мінеральний порошок поглинає значну частину бітуму, тим самим надаючи асфальтобетону необхідні характеристики: механічну міцність, стійкість до повторюваних деформацій, атмосферостійкість. Завдяки цьому якість та довговічність дорожнього покриття істотно підвищується.

Таким чином, мінеральний порошок на пряму впливає на структуру асфальтобетону. Під структурою асфальтобетону розуміють просторове взаємне розташування його складових і їх фізико-хімічні взаємодії на поверхні розділу фаз «бітумне в'язуче – мінеральний матеріал». Розмір, форма, характер поверхні і відносне розташування мінеральних зерен визначає макроструктуру асфальтобетону, а під структурою бітуму в складі асфальтобетонної суміші розуміють особливості його розподілу в асфальтобетоні (співвідношення вмісту вільного і адсорбованого бітуму) і сам характер будови плівок бітуму на поверхні мінеральних зерен [1].

Мінеральний порошок залежно від властивостей і вихідних матеріалів поділяють на марки: МП I — порошки активовані та не активовані з осадових основних карбонатних гірських порід (вапняки, доломіти, доломітизовані вапняки та їх різновиди) і порошки з бітумінозних порід; МП II — порошки із суміші некарбонатних основних порід (перидотити, габро, діабазити, базальти, трепели та різновиди цих порід) з осадовими основними карбонатними (вапняки, доломіти, доломітизовані вапняки та їх різновиди) при вмісті карбонатних порід в суміші не менше ніж 50 %; з осадових чи метаморфічних гірських порід, складені з основних порід з включенням карбонатних мінералів (вапняки-ракушняки, менілітові сланці, травертини та різновиди цих порід); основних металургійних шлаків неактивних видів та з готового будівельного матеріалу (портландцементу).

### Основна частина

Постійне збільшення обсягів робіт з будівництва та ремонтів автомобільних доріг вимагає використання великої кількості асфальтобетонних сумішей та, відповідно, матеріалів для їх виробництва. У зв'язку з цим зростає й потреба в дефіцитних карбонатних мінеральних порошках. Тому існує доцільність в розгляді ряду побічних продуктів промисловості з метою використання їх в якості мінерального порошку під час виробництва асфальтобетонних сумішей.

За теперішнього рівня споживання дорожньо-будівельних матеріалів має першочергове значення використання під час будівництва та ремонтів автомобільних доріг матеріалів із відходів промисловості. Комплексне використання відходів промисловості важливо ще й тому, що воно пов'язане з вирішенням проблеми створення безвідходних та екологічно чистих промислових технологій [2].

У всьому світі різні відходи промисловості знайшли широке застосування в якості дорожньо-будівельних матеріалів: дрібного і крупного заповнювачів, мінерального порошку, в'язучих і модифікуючих добавок [28].

Упродовж багатьох років різні вчені, як сировину для виробництва мінерального порошку, розглядали золу-винесення теплових електростанцій, пил-винесення цементних заводів,

доломітовий пил, металургійні шлаки (доменні, електросталеплавильні, феросплавні тощо), ракушняки, сірковмісні відходи [3–5].

Так, застосування кам'яновугільної золи з гідровідвалу теплових електростанцій в якості мінерального порошку вперше було запропоновано Курнаєвим М. А. [6]. Пізніше вивченням зол з гідровідвалу для цих цілей займалися Ястребова Л. А., Короткевич М.М., Ханіна У. Г. [7] та інші вчені. Золи з гідровідвалу теплових електростанцій є тонкодисперсним в основному однорідного темного кольору порошком, іноді з домішками зерен діаметром більше ніж 1,25 мм. Золи з гідровідвалу в середньому характеризуються представленим в **табл. 1** зерновим складом, представленим у **табл. 2** хімічним складом, мають насипну густину (550–770) кг/м<sup>3</sup> та вміщують незгорілого палива від 4,9 % до 38,2 % [4].

*Таблиця 1*

*Зерновий склад золи з гідровідвалу*

Розмір отвору, мм	1,25	0,315	0,071
Прохід через сито, %	90–100	90–80	80–70

*Таблиця 2*

*Хімічний склад золи-винесення*

Елемент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>
Маса, %	42,5–48,2	8,3–32	1,6–4,1	0,2–3,5	0,8–19,8	0,2–2,3

Незважаючи на численні дослідження мінерального порошку із золою з гідровідвалу цей матеріал не знаходить широкого застосування через низку негативних показників якості, обумовлених хіміко-мінералогічним складом часток золи і її будовою. Золи складаються із частково аморфізованих та дегідратованих глинистих мінералів і кварцу, пустотілих кулястих частинок глинистих мінералів, часток закоксованого або напівзакоксованого вугілля.

Зольні частинки золи з гідровідвалу мають високу внутрішню поверхню, що призводить до підвищеної витрати бітумного в'язучого. Зокрема, заміна вапнякового мінерального порошку на золу з гідровідвалу призводить до збільшення витрати бітуму в асфальтобетонній суміші більше ніж на 2,5 % [5, 8].

Відповідно до літературних джерел для поліпшення фізико-механічних властивостей асфальтобетонів з використанням золи з гідровідвалу в якості мінерального порошку пропонуються наступні заходи: піддавати додатковому помелу золу з гідровідвалу (механоактивації); вводити до складу асфальтобетону не більше (5–7) % від маси мінеральної частини; здійснювати гідрофобізацію; готувати суміші на рідких бітумних в'язучих [5, 9]. У результаті помелу золи ТЕЦ в кульовому млині бітумоємність мінерального порошку знижується з 75,5 г до 65,5 г, а пористість зменшується до 17,5 % [5].

Також в якості мінерального порошку розглядали пил-винесення обертових печей цементних заводів [4, 10–13], який уловлюється електрофільтрами. Він містить частинки розміром менше ніж  $5 \cdot 10^{-5}$  м і не вимагає додаткового подрібнення. Типовий хімічний склад пилу-винесення обертових печей представлено в **табл. 3**.

*Таблиця 3*

*Хімічний склад пилу-винесення обертових печей цементних заводів*

Елемент	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SiO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Маса, %	41–45	1,5–17,0	3,5–4,0	3,5–4,0	0,7–1,7	1,4–2,9	0,4–0,6	1,4–3,5

Цементний пил володіє в'язучими властивостями. Границя міцності при вигині становить (5–6) МПа, а границя міцності при стисненні цементного каменю становить (8–12) МПа. Насипна густина цементного пилу становить близько 680 кг/м<sup>3</sup>, дійсна густина — близько 2 620 кг/м<sup>3</sup>.

Бахрахом Г. С. було виконано більш детальне вивчення цементного пилу як мінерального порошку за якими було рекомендовано використання цементного пилу багатьох заводів у якості мінерального порошку [14].

У той же час пил-винесення обертових печей пришвидшує процеси старіння асфальтобетону, що дає можливість зробити висновок про недоцільність використання його в якості мінерального порошку. При цьому, у роботі [8] відзначається, що дрібнозернистий асфальтобетон типу Б, що містить в якості мінерального порошку пил-винесення цементних печей характеризується середньою щільністю 2 350 кг/м<sup>3</sup>, водонасиченням — 1 %, набряканням 0,3 %, границею міцності при стисненні за температури 50 °С 1,4 МПа, а за температури 20 °С — 4,5 МПа, коефіцієнтом водостійкості при тривалому водонасиченні від 0,9 до 1,0.

Також широкий позитивний досвід застосування в асфальтобетонах як мінерального порошку мав доломітовий пил [4, 5, 8]. Доломітовий пил — побічний продукт, що утворюється в процесі випалювання та розсівання доломіту, використовуюваного в металургійному виробництві в якості флюсу. Доломітовий пил в основному характеризується зерновим та хімічним складом, що представлені в **табл. 4** та **табл. 5**.

*Таблиця 4*

*Зерновий склад доломітового пилу*

Розмір отвору, мм	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	Піддон
Залишок на ситі, %	10–11	14–16	10–13,2	2,2–10,9	6,2–12,3	40,3–91,6

*Таблиця 5*

*Хімічний склад доломітового пилу*

Елемент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
Маса, %	1,96–3,8	1,73–1,9	0,33–1,82	37,3–50,15	3,92–23,0	0,11–1,47

Дійсна густина доломітового пилу становить (2 710–2 840) кг/м<sup>3</sup>, середня густина — (1 610–1 890) кг/м<sup>3</sup>, пористість після ущільнення під навантаженням 40 МПа — (30,2–41,4) %, коефіцієнт гідрофобності становить (0,86–0,96). Фізико-механічні властивості дрібнозернистого асфальтобетону, який містить у своєму складі 25 % доломітового пилу наступні: середня густина 2 190 кг/м<sup>3</sup>; водонасичення — 2,33 %; набрякання 0,32 %; границя міцності при стисненні за температури 50 °С — 1,5 МПа; за температури 20 °С — 4,15 МПа [13].

Однак без додаткового оброблення і поліпшення властивостей доломітового пилу в якості мінерального порошку не можна отримати асфальтобетон необхідної якості. Під час експлуатації такий асфальтобетон викришується. Причиною цього є значний вміст в доломітовому пилі перепалених вільних оксидів кальцію і магнію, які при гідратації збільшуються в об'ємі у (1,5–2) рази і викликають великі напруження розтягнення в покритті автомобільної дороги, що ведуть до незворотних деформацій покриття [13]. Для поліпшення властивостей доломітового пилу автор вважає за доцільне відмовитися від використання в асфальтобетоні необробленого доломітового пилу і рекомендує активувати його використовуючи бітум і полімеризатор або інші типи поверхнево-активних речовин.

Почапський Н. Ф. пропонує змішувати доломітовий пил із золою-винесення, інертним пилом, шламом [5]. Також з метою поліпшення якості доломітового пилу існують пропозиції з його активації каніфоллю [13].

У роботі Базжина Л. І. [8] вказано, що частинки доломітового пилу являють собою зростки кристалів кальциту і доломіту з частковим руйнуванням зв'язків по площинах у вигляді тріщин, в які можуть проникати компоненти бітумного в'язучого. Висока активність пилу до складових бітуму обумовлюється мінералогічним складом доломітового пилу, а за структурою часток він відноситься до пористих мінеральних порошоків. Асфальтобетон, що містить в якості мінерального порошку доломітовий пил, старіє інтенсивніше, ніж асфальтобетон з вапняковим мінеральним порошком. Тому, для поліпшення якості доломітового пилу, необхідно довго витримувати його на відкритому повітрі для гасіння активних вільних оксидів CaO і MgO, або піддавати помолу з активацією поверхні поверхнево-активними речовинами, найдоцільніше олігомерами — полімермісткими відходами виробництва епоксидних смол [15].

Ще одним відходом промисловості як сировиною для виробництва мінерального порошку можна вважати відвальний шлак металургійного виробництва [16, 17]. Так, відсів подрібнення відвального шлаку містить (12–14) % часток розміром менше ніж  $70 \cdot 10^{-6}$  м [17]. Орієнтовний хімічний шлак таких шлаків наведено в **табл. 6**.

Таблиця 6

Хімічний склад шлаків

Елемент	SiO <sub>2</sub>	Fe	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Маса, %	18-20	9,3-9,7	4,1-4,4	4,2-4,4	8,2-9,1	36,4-38,8	6,8-7,9	0,7-1,1

Однак дрібнодисперсні частки відсіву шлаку характеризуються внутрішньо-розвиненою поверхнею, що призводить до невиправданої витрати в'язучого в складі асфальтобетонної суміші [17]. Разом з тим, слід зазначити їх високу структуруючу здатність.

Дані, наведені в роботі [18] свідчать про позитивний вплив помелу на шлаки Запорізького заводу феросплавів. Шлаковий мінеральний порошок характеризувався такими властивостями: 75 % часток розміром менше ніж  $71 \cdot 10^{-6}$  м; питома поверхня 184 м/кг; дійсна густина 2 940 кг/м<sup>3</sup>; бітумоємність 81 г; набухання суміші мінерального порошку з бітумом 2,7 %; водонасичення 15,6 %; коефіцієнт водостійкості 0,5. Після подрібнення даного шлакового мінерального порошку до питомої поверхні 300 м/кг (більше ніж 98 % часток розміром менше ніж  $71 \cdot 10^{-6}$  м) коефіцієнт водостійкості асфальтобетону склав 0,81, водонасичення 11,4 %, а бітумоємність підвищилася до 139 г. Активація шлаку двома відсотками паливного мазуту привела до зниження бітумоємності мінерального порошку до 71 г, а пористості в ущільненому стані до 31 %. Коефіцієнт водостійкості склав 0,86, а водонасичення становило 10,8 %.

Як сировину для виробництва мінерального порошку розглядали кремнеземисті відходи промисловості і місцевої сировини: відпрацьовані формувальні суміші, природні дрібні кварцові піски, кислі шлаки. Відпрацьовані формувальні суміші — це кварцові піски, які пройшли високотемпературну обробку в процесі лиття і зберегли на своїй поверхні залишки органічних або неорганічних в'язучих речовин. Професор Я. М. Ковальов і А. В. Бусел внесли великий вклад у вивчення відпрацьованих формувальних сумішей і практичне впровадження їх у виробництво [19–20]. Відпрацьовані формувальні суміші відносяться до дрібнозернистих кварцових пісків з модулем крупності зерен від 1,1 до 2,2; дійсною щільністю (2 500–2 800) кг/м<sup>3</sup>; насипною щільністю (1 300–1 400) кг/м<sup>3</sup> і міжзерною пустотністю (45–50) %. Вони характеризуються кращою змочуваністю бітумом, ніж вапнякові мінеральні порошки. Кут змочування на поверхні розділу фаз «відпрацьовані формувальні суміші-бітум» — 71°, а в системі «вапняк-бітум» — 61° при рівній в'язкості бітумного в'язучого.

Ще одним джерелом сировини для виробництва мінерального порошку розглядали органічні порошокоподібні відходи промисловості, а саме: кубові залишки дистиляції фталевого

ангідриду, менілітові сланці, деревний гідролізний лігнін, гумова крихта, бітумінозні породи. До того ж вони характеризуються великими обсягами виходу.

Мінеральні порошки, отримані з органічних відходів виробництв, мають широку сировинну базу. Вони характеризуються високою структуруюючою здатністю.

Кубові залишки дистиляції фталевого ангідриду мають у (4–7) разів більшу структуруючу здатність ніж традиційні мінеральні порошки. Границя міцності при стисненні за температури 50 °С для дьогтебетону, що містить в своєму складі (7,5–12) % мінерального порошку з кубових залишків дистиляції фталевого ангідриду знаходиться в межах (4,8–7,0) МПа, у той час як дьогтебетони, вироблені на вапняковому мінеральному порошку і кам'яновугільному дьогті рівній в'язкості (марка Д-6), мали значення границі міцності при стисненні за температури 50 °С 1,0 МПа [21].

Також в якості мінерального порошку, для асфальтобетонних сумішей, можуть бути використані продукти водоочищення — осаду стічних вод (ОСВ). Перші спроби використання осаду стічних вод в якості мінерального порошку були зроблені в Білорусі в кінці ХХ століття для виробництва асфальтобетонних сумішей, зокрема холодних сумішей [22–23]. При виробництві холодних асфальтобетонних сумішей осад використовували в натуральному вигляді. Дійсна густина осаду становила 2,29 г/см<sup>3</sup>, насипна густина — 0,75 г/см<sup>3</sup>. Фізико-механічні властивості асфальтобетону були наступними: границя міцності при стисненні за температури 20 °С становила (1,3–1,6) МПа, коефіцієнт водостійкості при тривалому водонасиченні — (0,69–0,75).

Найбільш повно питання утилізації осадів стічних вод у виробництві асфальтобетонних сумішей висвітлено у роботі Бреуса Р.В. [24]. Ним показано можливість використання цього органно-мінерального відходу в якості компонента (аналога мінерального порошку) в гарячому асфальтобетоні.

Дійсна густина осаду становила (1,90–2,43) г/см<sup>3</sup>, насипна густина — (0,74–0,75) г/см<sup>3</sup>. Фізико-механічні властивості асфальтобетону, який містить у своєму складі осад, були наступними: водонасичення — (0,55–1,20) %; набрякання — (0,06–0,18) %; границя міцності при стисненні за температури 50 °С — (1,65–3,3) МПа; за температури 20 °С — (6,1–8,0) МПа.

Kumar & Kumar Chhotu у якості наповнювача використовували кам'яний пил із заміною мінерального порошку (0 %, 50 % та 100 %). Стабільність результатів збільшується, але значення мали тенденцію до зниження, що вказує на покращення в стійкості до постійної деформації зразків з додавання золи в суміш [25].

Mistry & Kumar Roy у своїх дослідженнях показали можливість часткової заміни мінерального порошку золою-винесення. Також ними було встановлено, що використання золи-винесення дозволяє на 7,5 % зменшити оптимальний вміст бітуму в щільних щебених сумішах, оброблених бітумом («бітумний макадам») [26].

У 2015 році Маданбеков Н. Ж. та Осмонова Б. Ж. провели дослідження з використання золи-винесення для заміни мінерального порошку в асфальтобетонній суміші [27]. За результатами проектування суміші відповідно до AASHTO T 245 було встановлено, що міцність асфальтобетону із золою-винесення не відрізняються від асфальтобетону з традиційним мінеральним порошком. Експериментальні дослідження показали доцільність використання цього матеріалу в складі асфальтобетону, що дозволяє створити реальні умови для економії таких дефіцитних матеріалів, як мінеральний порошок.

При аналізі результатів були зроблені висновки проте, що показники міцності асфальтобетону із золою-винесення не відрізняються від асфальтобетону з традиційним мінеральним порошком. Експериментальні дослідження показали доцільність використання золи-винесення теплових електростанцій в складі асфальтобетону, що дозволяє створити реальні умови для економії таких дефіцитних матеріалів, як вапняковий мінеральний порошок.

## Висновки

Використання різних відходів під час будівництва автомобільних доріг є життєздатним варіантом, який потребує подальшого вивчення. Рівень технічної готовності серед досліджуваних матеріалів сильно відрізняється.

В якості мінерального порошку може бути використано багато побічних порошкоподібних продуктів промисловості: доломітовий пил, пил виносу цементних печей, сірковмісні відходи, кубові залишки дистиляції фталевого ангідриду, відстійні смоли піролізу, гідролізний лігнін тощо. Проте, ці порошкоподібні продукти поступаються за якістю вапняковому мінеральному порошку. Більшість з них підвищує витрату бітумного в'язучого, має недостатнє зчеплення з в'язучим, малу питому поверхню або навпаки високорозвинену внутрішню поверхню і, тим самим, знижує довговічність покриттів нежорстких дорожніх одягів. Літературні дані щодо комплексних досліджень та наукового обґрунтування використання золи-винесення теплових електростанцій в складі асфальтобетонної суміші є недостатніми, що обумовлює необхідність комплексного проведення таких досліджень.

## Список літератури

1. Зубков А.Ф. Технологія будівництва асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг: Монографія Київ, 2009. 175 с.
2. Гончарова М.А. Композиційні матеріали для дорожнього будівництва з використанням техногенної сировини: Монографія. Тамбов, 2014. 161 с.
3. Короткевіч Н.І. Фізико-хімічні основи застосування мінеральних порошкоподібних матеріалів для дорожнього асфальтобетону та методи їх випробування. Київ, 1940. 68 с.
4. Сотнікова В.Н. Узагальнення досвіду виробництва і застосування активованих мінеральних порошоків і асфальтобетонів. Будівництво асфальтобетонних покриттів із застосуванням активованих мінеральних матеріалів. Москва, 1978. С. 24-31.
5. Почапській М.Ф., Зінов У.Т., Немировський Р.А. Будівельні матеріали з відходів промисловості Донбасу. Донецьк, 1968. 80 с.
6. Курнаев М.А. Зола кам'яного вугілля як заповнювач. Транспорт і дороги міста. Донецьк, 1983. №5. С. 47-49.
7. Ястребова Л.Н. Дослідження властивостей мінеральних порошоків і їх вплив на властивості асфальтового бетону. Дослідження органічних матеріалів і фізико-механічних властивостей асфальтових сумішей. Київ, 1949. С. 82-105.
8. Базжін Л.І. Дослідження вплив мінералогічного складу і структури мінеральних порошоків на старіння асфальтового бетону: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.05. Харків: ХАДІ, 1974. 24 с.
9. Palys M. Popiol lotny z wegla-kamiennego jako wypelucz do mas bitumiomyeh. Drogownictwo. 1980. №2. P. 53-55.
10. Асматулаев Б.А. Використання цементного пилу - відходу цементних заводів в дорожньому будівництві. Автомобільні дороги. Москва, 1989. Вип. 2. С. 29-31.
11. Руденській А.В. Перспективи розширення ресурсів порошкоподібних продуктів для приготування асфальтобетонних сумішей. Шляхи економії матеріальних і енергетичних ресурсів при ремонті та реконструкції автомобільних доріг. Москва, 1989. С. 21-28.
12. Кореневській В.Г. Пил-винесення в бітумномінеральних сумішах. Автомобільні дороги. 1971. № 11. С 16 -18.
13. Кузмічєв В.Г. Гідрофобний мінеральний порошок з доломітового пилу. Автоторожник України. Київ. 1965. Вип.1. С. 32-35.
14. Бахрах Г.С. Дослідження пилу-виносу обертових печей цементних заводів як

мінерального порошку для асфальтобетону: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23. Москва, 1968. 20 с.

15. Братчун В. І. Підвищення довговічності бетонів на органічних в'язучих регулюванням властивостей мікроструктури. Вісник Харківського автомобільно-дорожнього технічного університету. Харків, 2000, № 12-13. С. 141-144.

16. Волков М.І. Доменні шлаки в дорожньому будівництві. Донецьк, 1962. 70 с.

17. Тулаев А.Я. Дорожній одяг з використанням шлаків. Москва, 1986. 221 с.

18. Космін А.В. Мінеральні порошки для асфальтобетону з шлаку металургійного марганцю. Автомобільні дороги. Київ, 1986. Вип. 5. С. 157-158.

19. Ковалев Я.М. Застосування мінеральних порошків з кислих гірських порід в асфальтобетоні. Автомобільний транспорт і дороги. Київ, 1982. Вип. 9. С. 110-113.

20. Босхолов К.А. Асфальтобетон із застосуванням активованих кремній мінеральних порошків: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Улан-Уде: Східно-Сибірський державний технологічний університет, 2007. 23 с.

21. А.с. 960139 СРСР, МКІ4 С04В 13/30. Дьогтебетонна суміш / Братчун В.І., Почапський Н.Ф., Золотарьов В.А. та ін. - №3224821 / 29-33; № 35. 3 с.

22. Ставіцькій В.Д. Асфальтобетони, поліпшені осадам міських стічних вод. Міське господарство. Харків, 2006. №10. С. 12-15.

23. Новак В.А. Застосування міських осадів стічних вод при випуску асфальтобетонних сумішей. Будівництво і нерухомість. Київ, 2009. № 2. С. 8-11.

24. Бреус Р.В. Зниження об'ємів Накопичення відходів водоочищення - осадів стічних вод, Шляхом їх утилізації в асфальтобетон: автореф. дис. на зд. наук. ст. канд. техн. наук: 21.06.01 Харків: УНДІЕП, 2007. 21 с.

25. Kumar Ajoy & Kumar Chhotu Anil. Experimental Investigation of Bituminous Mixes Using Fly Ash as Filler Material. Journal of Civil Engineering and Environmental Technology. 2016. N 1. P. 4-6.

26. Misty Raja & Kumar Roy tapas. Effect of Using Fly Ash as Alternative Filler in Hot Mix Asphalt. Perspectives in science. 2016. P. 307-309. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.04.061> (дата звернення: 20.04.2020).

27. Маданбеков Н.Ж., Осмонова Б.Ж. Минеральные порошки из вторичных продуктов ТЭЦ г. Бишкек в составе асфальтобетонных покрытий. Известия национальной академии наук Кыргызской Республики. 2012. № 4. С. 64-66. [https://unecse.org/fileadmin/DAM/ie/capact/ppp/pdfs/dzhundubaev\\_kyrgyz.pdf](https://unecse.org/fileadmin/DAM/ie/capact/ppp/pdfs/dzhundubaev_kyrgyz.pdf).

28. Соколов О. В., Желотобрюх А. Д., Копинець І. В., Каськів В. І. Використання відходів промисловості в дорожньому будівництві. Дороги і мости. Київ, 2020. Вип. 21. С. 110-119.

### References

1. A.F. Zubkov. Technology of construction of asphalt concrete pavements of roads: Monograph. Kyiv, 2009. P. 175.

2. M.A. Honcharova. Composite materials for road construction using man-made raw materials: Monograph. Tambov, 2014. P. 161.

3. N.I. Korotkevych. Physical and chemical bases of mineral powder materials use for paving asphalt concrete and methods of their testing. Kyiv, 1940. P. 68.

4. V.N. Sotnikova. Generalization of experience in production and use of activated mineral powders and asphalt concrete. Construction of asphalt concrete pavements with use of activated mineral materials. Moscow, 1978 P. 24-31

5. M.F. Pochapskyi, U.T. Zinov, R.A. Nemirovskyi. Construction materials from industrial wastes of Donbas. Donetsk, 1968. P. 80p.

6. M.A. Kurnaev. Coal ash as a filler. Transport and urban roads. Donetsk, 1983. No. 5. P. 47- 49.



7. L.N. Yastrebova. Investigation of the properties of mineral powders and their influence on the properties of asphalt concrete. Research of organic materials, physical and mechanical properties of asphalt mixtures. Kyiv, 1949. P. 82-105.
8. L.I. Bazzhin. Investigation of the influence of mineralogical composition and structure of mineral powders on the aging of asphalt concrete: PhD author's ref. dis. : 05.23.05. Kharkiv: KHADI, 1974. P. 24.
9. M. Palys. Popiol lotny z wegla-kamiennego jako wypelucz do mas bitumiomyeh. Drogownictwo, 1980. № 2. P. 53-55.
10. B.A. Asmatulaev. Use of cement dust - waste of cement plants in road construction. Roads. Moscow, 1989. Issue 2. P. 29-31.
11. A.V. Rudenskiy. Prospects of expanding the resources of powdered products for the preparation of asphalt concrete mixtures. Ways to save material and energy resources in the repairing and reconstruction of roads. Moscow, 1989. P. 21-28.
12. V.H. Korenevskiy. Dust removal in bituminous mineral mixtures. Roads, 1971. No. 11. P. 16 -18.
13. V. H. Kuzmichev. Hydrophobic mineral powder from dolomite dust. Avtodorozhnyk Ukrainy. Kyiv, 1965. Issue 1. P. 32-35.
14. G.S. Bahrakh. Investigation of dust removal of rotary furnaces of cement plants as a mineral powder for asphalt concrete: PhD autoref. dis. : 05.23. Moscow, 1968. P. 20.
15. V.I. Bratchun. Increasing the durability of concrete on organic binders by regulating of microstructure properties. Bulletin of Kharkiv Automobile and Road Technical University. Kharkiv, 2000. No. 12-13. P. 141-144.
16. M.I. Volkov. Blast furnace slag in road construction. Donetsk, 1962. P. 70.
17. A.Y. Tulaev. Pavement with the use of slag. Moscow, 1986. P. 221
18. A.V. Kosmin. Mineral powders for asphalt concrete from metallurgical manganese slag. Roads. 1986. Issue 5. P. 157-158.
19. Y.M. Kovalev. Use of mineral powders from acid rocks in asphalt concrete. Road transport and roads. Kyiv, 1982. Issue 9. P. 110-113.
20. K.A. Boskholov. Asphalt concrete with use of activated silicon mineral powders: PhD author's ref. dis.: 05.23.05 Ulan-Ude: East Siberian State Technological University, 2007. P. 23.
21. A.c. 960139 USSR, MKI4 C04B 13/30. Tar concrete mix / V.I. Bratchun, N.F. Pochapskiy, V.A. Zolotarev. – No.3224821 / 29-33; No.35. P. 3.
22. V.D. Stavyskiy. Asphalt concrete, improved by urban sewage sludge. Municipal economy. Kharkiv, 2006. No 10. P. 12-15.
23. V.A. Novak. Use of urban sewage sludge in the production of asphalt mixtures. Construction and real estate. Kyiv, 2009. No. 2. P. 8-11.
24. R.V. Breus. Reduction of volumes of accumulation of water treatment wastes - sewage sludges by their utilization in asphalt concrete: author's ref. dis. on PhD science degree: 21.06.01 Kharkiv: UNDIEP, 2007. 21 p.
25. Kumar Ajoy & Kumar Chhotu Anil. Experimental Investigation of Bituminous Mixes Using Fly Ash as Filler Material. Journal of Civil Engineering and Environmental Technology. 2016. N 1. P. 4-6.
26. Misty Raja & Kumar Roy tapas. Effect of Using Fly Ash as Alternative Filler in Hot Mix Asphalt. Perspectives in science. 2016. P. 307-309. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.04.061> (date of application: 20.04.2020).
27. M.Zh. Madanbekov, B.Zh. Osmonova. Mineral powders from by-products of HPP of Bishkek as a part of asphalt concrete pavements. Bulletin of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz

Republic. 2012. № 4. P. 64–66. URL: [https://unece.org/fileadmin/DAM/ie/capact/ppp/pdfs/dzhundubaev\\_kyrgyz.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/ie/capact/ppp/pdfs/dzhundubaev_kyrgyz.pdf).

28. O.V. Sokolov, A.D. Zheltobriukh, I.V. Kopynets. Use of industrial waste in road construction. Roads and bridges. Kyiv, 2020. Issue 21. P. 110-119.

---

**Volodymyr Kaskiv**, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

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

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

*M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine*

### USE OF INDUSTRIAL BY-PRODUCTS AS MINERAL POWDERS IN ROAD CONSTRUCTION

#### ***Abstract***

**Introduction.** Mineral powder is an important structural component of asphalt concrete. Mineral powder is the output material obtained after crushing of rocks or powdery remains of the industry. It is made by grinding the following hard rocks: dolomitized limestone, dolomite, limestone. Non-carbonate raw materials and industrial wastes are also used as raw materials.

**Problem statement.** Road construction with the arrangement of asphalt concrete pavements requires a number of components of these mixtures. Due to this, the need in scarce carbonate mineral powders is growing. Therefore, it is advisable to consider researches directed on studying a number of by-products of industry in order to use them as a mineral powder of asphalt concrete.

**Purpose.** To analyze the existing experience of using industrial waste as a mineral powder in production of asphalt concrete mixture for further introduction and improvement of environmental safety and operational characteristics of pavement due to new road construction materials.

**Materials and methods.** Analysis of information sources and experience in the use of industrial waste as a mineral powder and study of requirements for materials and their composition.

**Results.** An analytical review of the experience of using industrial waste as a mineral powder was performed. Various materials have been studied and analyzed, requirements for materials, their particle size distribution, content in asphalt concrete mixture had been established.

**Conclusions.** Analysis of information sources regarding use of industrial waste as a raw material for the production of mineral powder had determined that they are used in the whole volume in different countries and in most cases in road construction. It had been found that the use of various wastes during road construction is a viable option that needs further study.

**Keywords:** road, asphalt concrete, asphalt concrete mixture, density, road construction, ecology, fly ash, mineral powder, compressive strength.

УДК 629.113:534.83

Міронова Н. Г.<sup>1</sup>, д-р. с-г. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-6214-0805>

Морозов А. В.<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-5596-6193>

Морозова Т. В.<sup>2</sup>, канд. біол. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0003-4836-1035>

Рибак В. В.<sup>1</sup>, канд. с-г. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0003-3430-2704>

<sup>1</sup> Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна

<sup>2</sup> Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВІД ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ НА ПРИКЛАДІ МІСТА ХМЕЛЬНИЦЬКОГО

### *Анотація*

**Вступ.** Урбанізація, інтенсифікація автоперевезень, розвиток інфраструктури міст є причиною збільшення шумового (акустичного) навантаження. Зі зростанням транспортних потоків збільшуються і зони акустичного дискомфорту, проблема, транспортного шуму набуває все більшого екологічного та соціального значення.

**Проблематика.** Транспортний потік значно посилює екологічні проблеми міст. Одним із найнегативніших чинників є всезростаюче акустичне навантаження. Шумове забруднення наразі стає одним із найвагоміших екологічних стресорів. Рівень шуму залежить від інтенсивності, швидкості, характеру транспортного потоку, типу і якості покриття, планування території (повздовжній та поперечний профіль вулиць, архітектура забудови, світлофори) та наявності зелених насаджень. Шум, призводить до дисбалансу слухової адаптації, регуляторних процесів центральної нервової системи, шлунково-кишкового тракту, порушення гемодинаміки, розвитку шумової хвороби. При тривалому впливі порушуються механізми рефлексорних та нейрогуморальних реакцій, виникає нервова патологія, знижується увага на (12–16) %. Фізіолого-біохімічна адаптація людини до шуму неможлива, крім того для шуму притаманний консумуючий ефект. Акустичне навантаження виявляє негативний вплив і на флору, і фауну. Основні з них — зниження пристосувальної та репродуктивної здатності, зміни в трофічних сітках, підвищений ризик хижацтва, сповільнення росту, прискорення транспірації, загибель листків та квітів. Найбільш гостро ця проблема постала перед урбоекосистемами, адже урбанізація є одним з основних чинників зменшення біорізноманіття через втрату природних оселищ, їх фрагментацію або кардинальну зміну. В умовах міста до природного шуму додається багато антропогенних (промисловий, шум транспорту), що суттєво змінює акустичний фон. Наразі шумове навантаження в мегаполісах збільшилося на (12–15) дБ, а гучність у три-чотири рази. У містах із значним рухом транспорту, рівень шуму наближається до 80 дБ.

Для візуалізації та прогнозування шумового навантаження широко використовують картографічні методи. Картографування шумового навантаження міст є актуальним для України. Наразі розроблені акустичні карти лише для окремих районів міста Києва. Створення акустичних карт сприятиме кращому розумінню екологічного стану урбанізованих територій.

**Мета.** Дослідити та оцінити рівень шумового навантаження, що створюється транспортними потоками на основних магістралях міста Хмельницького, створити акустичну карту і визначити основні напрямки нівелювання шумового забруднення.

**Методи дослідження.** Загальнонаукові (узагальнення, порівняння, аналізу та синтезу, теоретико-методичного обґрунтування); математичної статистики; польові (натурні вимірювання шуму на території); картографічні (побудова карти-схеми).

**Результати.** У статті висвітлюється проблема акустичного навантаження міських екосистем. Оцінюється рівень шумового забруднення міста Хмельницького в Україні. Модель забруднення шумом побудована з використанням ГІС-технологій у сучасному пакеті програмного забезпечення. Показано, що моделювання та візуалізація шумового навантаження за допомогою програмного забезпечення дозволяє об'єктивно та детально оцінити акустичну ситуацію та запропонувати розроблення управлінських рішень для захисту населення від шуму.

**Висновки.** Інтенсивність шуму транспорту залежить від стану та ширини доріг, віддаленості житлових будинків від осі проїзної частини. Залежно від пропускної можливості доріг, наявності перехресть змінюється акустичне навантаження. Зниження міського транспортного шуму пов'язано з поглинальною, відбиваючою, екрануючою й ізолюючою акустичною здатністю. Оптимізація шумозахисту урбоекосистеми залежить від комплексу архітектурно-планувальних рішень. При запровадженні техніко-економічних характеристик шумозахисних заходів необхідно враховувати їхні практичні обмеження та можливості.

**Ключові слова:** акустична ситуація, карта шуму, транспортний потік, урбоекосистема, шумове забруднення.

### Вступ

Проблема акустичного навантаження на урбанізовані території вже давно цікавить світову наукову спільноту. Накопичено чимало наукових знань, досліджень, технічних розробок в області захисту від шуму. Однак, враховуючи тренди вимог до повноти та якості інформації, оцінка шумового навантаження без використання програмних продуктів — непосильне завдання. Особливо це актуально для складних за конфігурацією та насичених джерелами шуму об'єктів.

Небезпека постійного шумового навантаження полягає у погіршенні стану здоров'я, зокрема, це проявляється у швидкій втомлюваності, зниженні розумової активності, неврозах, серцево-судинних захворюваннях, погіршенні слуху, розвитку стійкого безсоння, атеросклерозу. Шум інтенсивністю (85–90) дБ спричиняє головний біль, запаморочення, нудоту, надмірну дратівливість. Акустичне навантаження негативно впливає на ріст рослин, спричиняє загибель личинок бджіл та порушення цілісності шкаралупи яєць птахів. Найбільш гостро ця проблема стосується урбоекосистем, адже урбанізація є одним з основних чинників зменшення біорізноманіття через втрату природних оселищ. В умовах міста спостерігається синергічний ефект природного та антропогенного шуму, що суттєво змінює параметри акустичного фону.

Основною міжнародною угодою щодо захисту від шуму є Директива 2002/49/ЄС. Відповідно до Директиви країни-члени Європейського Союзу зобов'язані створити шумові карти в своїх найбільших містах, біля головних транспортних вузлів і в промислових районах. Такі графічні інтерпретації шуму є важливим інструментом контролю та базою для прийняття рішень містобудівельниками, представниками муніципалітетів тощо.

Теоретичним і практичним аспектам шумового забруднення урбоекосистем приділялась значна увага вчених багатьох країн. В Україні такі дослідження переважно стосуються методів зниження рівня шуму, при цьому не враховується локальне акустичне навантаження. Потрібно зазначити, що українські дослідники картографування шуму практично не займаються. Дослідження та моделювання акустичного навантаження в межах урбоекосистем є актуальним завданням, вирішення якого дозволить оптимізувати умови життєдіяльності селітебних зон, зменшити акустошумове навантаження на людину. Виділення акустичних геосистем сприятиме запровадженню заходів щодо оптимізації шумового навантаження на локальному рівні.

## Основна частина

Проведення екологічних досліджень — дороговартісний, мало автоматизований процес. Незважаючи на якісні зміни у складі транспортних потоків міст, що сприяють зниженню шуму від окремого транспортного засобу, збільшення загальної інтенсивності руху в містах негативно позначається на акустичному комфорті територій (Зеленько, 2015). Саме тому, в тренді екологічних досліджень є питання моделювання акустичного забруднення урбоєкосистем. Моделювання впливу на довкілля передбачає ітеративність та створення карт місцевості. Для побудови карт шуму переважно використовуються традиційні інженерні прийоми, що погано піддаються алгоритмізації й не мають достатньо формальних критеріїв. Використання емпіричних алгоритмів низько точне й малодостовірне (Мямлін, 2014). Наявні програмні комплекси дозволяють здійснювати моделювання та визначати рівень шумового забруднення. Однак, відсутність детальних комп'ютерних моделей території не дозволяє змоделювати процес поширення звуку на відкритій території. Відносно високу достовірність результатів забезпечує метод прямого трасування променів на векторно-растрових моделях, покладений в основу ітеративного алгоритму розрахунку еквівалентних рівнів шумового забруднення селітебної території від транспортного шуму (Попов, 2008). Програма Noise Tracer (розрахунку еквівалентних рівнів шумового забруднення) базується на векторно-растровій моделі даних, дозволяє використовувати карту висот і поверховості. Як атрибутивну складову використовують RGB канали растрової суб-моделі.

Моделювання процесу поширення шуму від джерела до точок оцінювання — найбільш достовірний, але трудомісткий підхід. В його основі лежить хвильове рівняння Ейлера, отримане із закону рівноваги сил для нескінченно малої частки середовища і закону збереження маси. У даній моделі існує необхідність уточнення деяких особливостей, зокрема, для оцінки впливу відбитого шуму бути використана дифузрна модель розподілу відбитої енергії або модель, що базується на інтегральному рівнянні Куттруфа.

Для моделювання шумового забруднення також застосовується алгоритмічний підхід, що дозволяє розраховувати поширення звукових хвиль на основі передачі енергії (аналог Radiosity). При використанні цього підходу потрібно розв'язати низку диференціальних та інтегральних рівнянь, що описують процес поширення звукової хвилі. Крім того, він чутливий до точності комп'ютерної моделі місцевості (потребує урахування характеру підстилаючої поверхні, характеру озеленення, наявності екранувальних споруд також потребує додаткових обчислювальних ресурсів).

Досить широко застосовуються системи макетного моделювання BRUIT, FHWA Traffic Noise Model (моделювання для п'яти видів автотранспортних засобів, розрахунок для безперервного й переривчастого транспортного потоку, аналіз профілю дороги й урахування шумозахисних бар'єрів). Використовуючи математичний апарат, базуючись на основних принципах моделі поширення шуму, запропонованих Г. Л. Осиповим та Є. Я. Юдіним [6], можна оцінити рівень зашумлення території. Однак, модель не враховує шум, відбитий від сусідніх будівель, відсутня можливість урахування поширення шуму за межами прямої видимості за рахунок дифракції. Дана модель не є лабільною і практично не пристосована до динамічних нормативних вимог.

Специфічна особливість моделей — всі розрахунки виконуються на векторній моделі, а кінцевий результат — на растровій. Це пояснюється тим, що кінцевою метою є знаходження областей з певним значенням показника. При цьому висока точність задання такої області не потрібна. Форму комірки, оптимальної з позиції співвідношення точність / швидкість, зазвичай вибирають квадратною зі сторонами 1 м. У процесі виконання обчислень за растровою моделлю часто виникає необхідність переходу від осередків растрової моделі до вихідних векторних об'єктів. Такі можливості надаються стандартними засобами растрових ГІС. Формування шумових карт базується на детальному вивченні позиціонування досліджуваного об'єкта й поширеному накладенні організованих у бази даних обсягів інформації. Основна перевага шумових карт

— можливість імпортування та обробки даних для об'єкта будь-якої площі. Такі карти дають можливість візуалізувати ситуацію на тій чи іншій території.

**Матеріали та методи дослідження.** Досліджували рівень звуку  $L_A$  (дБА), коригований за  $A$  у вільному звуковому полі та акустичну ситуацію в цілому. Вимірювання рівня звуку здійснювали за допомогою шумоміру GM1356, згідно ІЕС 61672-1 та ДСТУ 2325-93В. Дослідження проводили у денний час на відкритій місцевості за відповідних погодних умов.

Коригований за  $A$  рівень звуку з часовою корекцією  $L_{At}(t)$  в довільний момент часу  $t$  має вигляд (ГОСТ 17187-2010):

$$L_{At} = 20 \lg \left\{ \left[ \left( \frac{1}{\tau} \right) \int_{-\infty}^t p_A^2(\xi) e^{-\xi/\tau} d\xi \right]^{1/2} / p_0 \right\}, \quad (1)$$

- де  $\tau$  — експоненційна стала часу для тимчасових характеристик  $F$  або  $S$ , с;  
 $\xi$  — змінна інтегрування від деякого часу у минулому, який позначено  $(-\infty)$  як нижню межу інтегрування до часу спостереження  $t$ ;  
 $p_A(\xi)$  — миттєвий корегований по  $A$  тиск;  
 $p_0$  — опорний звуковий тиск.

У формулі (1) чисельник аргументу під знаком логарифму — експоненційно зважений середньоквадратично коригований по  $A$  звуковий тиск у момент спостереження  $t$ . На **рис. 1** представлена послідовність обробки сигналу, описана формулою (1).



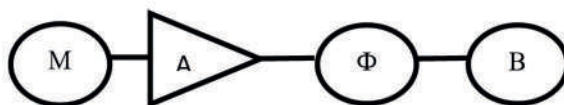
**Рисунок 1** — Послідовність обробки сигналу при формуванні показників рівня звуку з часовою корекцією

Рівень шуму згідно з ДСТУ-НБ В.1.1-33:2013 не має перевищувати: для легкових автомобілів 77 дБА, вантажних автомобілів — (79–84) дБА; автобусів — 83 дБА; мотоциклів, моторолерів та мопедів — 85 дБА. Критерієм гігієнічної оцінки нестійкого шуму є еквівалентний (щодо енергії) рівень звуку широкосмугового, стійкого та неімпульсного шуму, який чинить на людину такий же вплив, як і нестійкий шум ( $L_{Аекв}$ , дБА). Цей рівень вимірюється спеціальними інтегрувальними шумомірами або розраховується за формулою:

$$L_{Аекв} = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n t_i \cdot 10^{0,1L_A} \right), \quad (2)$$

- де  $L_A$  — рівень звуку класу  $A$ ;

$t_i$  — відносний час впливу шуму класу  $L_{A_i}$ , у відсотках від часу вимірювання. Вимірювання шуму здійснюється спеціальними приладами-шумомірами. Блок-схема типового шумоміра представлена на **рис. 2**.



**Рисунок 2** — Блок-схема типового шумоміра: М — мікрофон; П — підсилювач; Ф — смуговий октавний фільтр; В — вимірювач

Вимірювання шуму біля джерел шуму, та на фонових ділянках (рекреаційні зони) здійснювали за допомогою шумоміру GM1356 (**рис. 3**). Прилад оснащений високочутливим датчиком, здатним реєструвати звукові коливання в діапазоні частот (від 31,5 Гц до 8,5 кГц) з високою точністю ( $\pm 1,5$  дБ). Дослідження не проводилися під час випадання атмосферних опадів і за швидкості вітру більше ніж 5 м/с. Час проведення виміру встановлювався у періоди максимальної інтенсивності впливу фактору шуму.



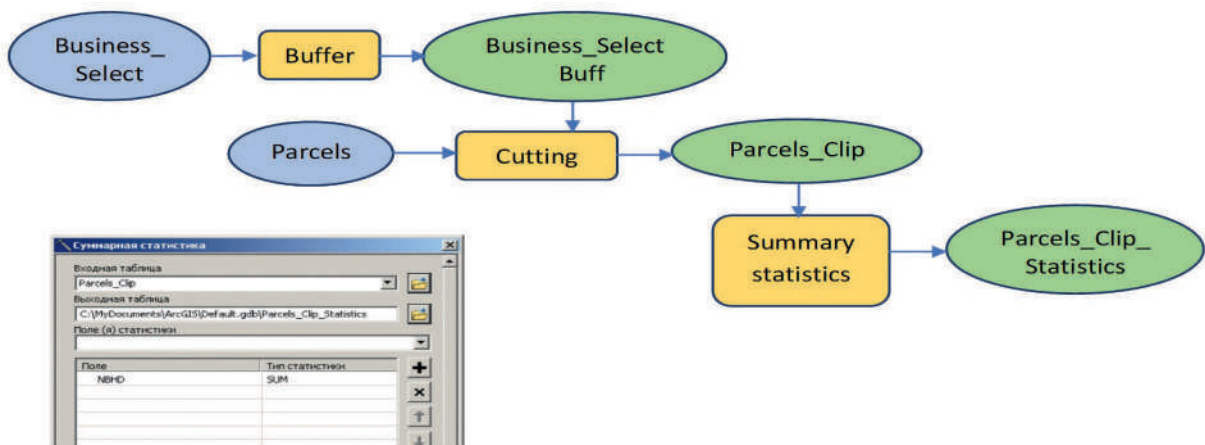
**Рисунок 3** — Вимірювач рівня шуму, фільтр А/С, USB VENETECH GM1356 — цифровий шумомір для вимірювання шумів у діапазоні (30–130) дБ

**Побудова картографічних моделей.** Картографування шуму дозволяє провести оцінку шумової ситуації в межах досліджуваної зони шляхом порівняння фактичних рівнів шуму з нормативними значеннями; оцінити вплив джерел шуму на шумову ситуацію в досліджуваній зоні; прогнозувати розвиток шумової ситуації; проектувати заходи щодо зниження шумового забруднення і оцінити їх ефективність; досягти суттєвої економії в часі і грошах. За результатами опрацювання замірів у реперних точках побудована растрова карта розподілу рівня шуму (картограма звукового поля) — сукупність інформації щодо конкретної території, результати розрахунків, налаштування відображення і допоміжні об'єкти, які використовуються для підвищення якості подачі результату розрахунку (векторні та растрові основи).

Графічне представлення карти шуму відіграє важливу роль у сприйнятті інформації. Конкретних вимог до оформлення карт шуму немає. Колірна шкала умовних позначок може ґрунтуватися на типах зонування за фактором перебільшення нормативних значень, а розміри точкових значків для позначення контрольних точок можуть бути пов'язані з їхніми рівнями звуку. Карта шуму, як фрагмент генерального плану території, являє собою топографічну підоснову з нанесеними зонами акустичного комфорту і дискомфорту. Графічне відображення точок з однаковими акустичними характеристиками, з'єднаних між собою ізолініями, дозволяє наочно відобразити рівень шумового навантаження на території (Яремчук, 2019).

Засоби та методи ГІС дозволяють будувати графічні схеми і карти на базі введених геоінформаційних даних. Для створення та візуалізації математичної моделі процесів поширення шуму нами було використано програми ArcMap та ArcGIS Pro. Дані вносилися в спеціально створений у програмі ArcMap шейп-файл, який несе інформацію про просторове розташування контрольної точки на території (схему розташування точок вимірювання на місцевості з прив'язкою до геодезичної системи координат), а також поля для запису супутньої інформації. Все це подається у вигляді «таблиці атрибутів». Поле FID відповідає за нумерацію точок. Поле Shape визначає тип об'єкта (тобто означає, що саме це точка вимірювань).

Програма дає можливість накласти свої дані на карту і додати географічний контекст, що переводить на новий рівень їхнього розуміння. Для отримання відповіді на більшість питань, необхідно розуміння просторових взаємодій, зокрема, подібність, співпадіння, перетин, накладання, доступність і видимість. У свою чергу, просторовий аналіз дає потужні техніки моделювання для прогнозування і кращого розуміння ситуації. Фрагмент розрахунку сумарної статистики за вказаним параметром у даній програмі представлено на **рис. 4**.



**Рисунок 4** — Фрагмент розрахунку сумарної статистики

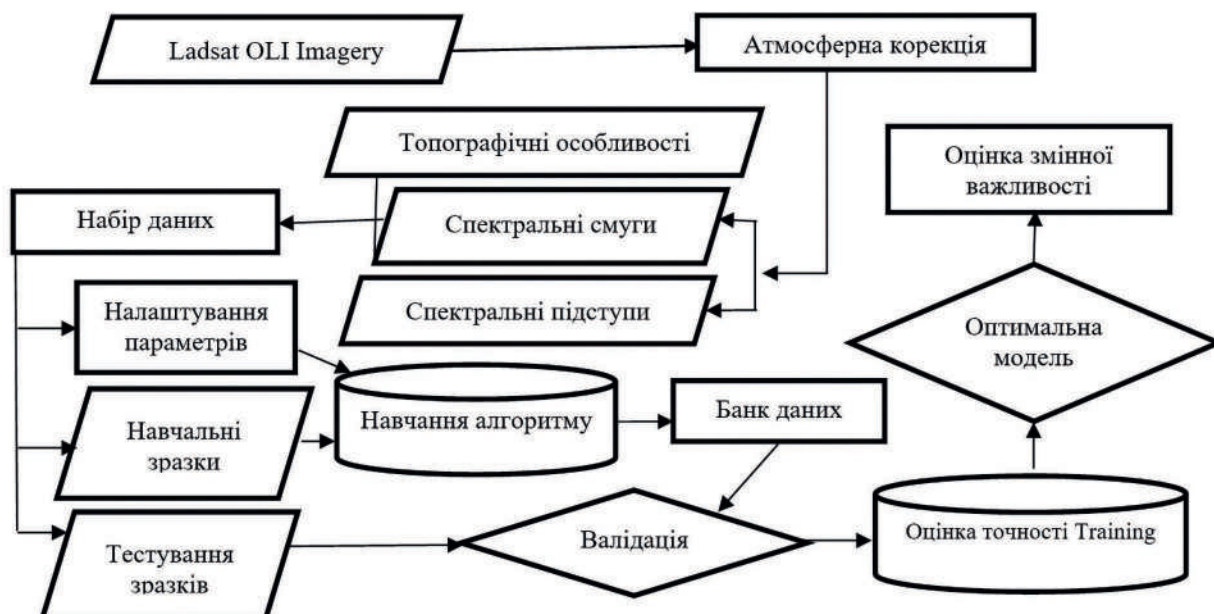
Автоматизація процесів дає можливість використовувати дане програмне забезпечення для збільшення ефективності та точності завдань, робочих процесів та аналізу даних. В цілому побудова растрових карт здійснена за алгоритмом (**рис. 5**).

Необхідно зазначити, що у наведених вище програмах немає функції «Побудова карт шуму», відповідних меню, акустичних формул і готової графі для занесення значень вимірів рівня звукового тиску; а слова «карта шуму», «децибел» тощо жодного разу не зустрічаються навіть в його багатотомній технічній документації. Ця програма призначена для побудови графічних схем і карт на базі введених в неї геоінформаційних даних. Одним із варіантів примусово визначеними користувачем закономірностей побудови є акустичні. Локальним прикладом є закономірності поширення шуму в міській забудові, а одним з окремих випадків графічних схем є шукана карта шуму.

Яремчук О. М. та Пулашкін В. Ю. (2019) вважають, що для побудови карти шуму найдоцільніше використати метод зворотних зважених відстаней (як один із багатьох можливих методів просторової інтерполяції). Метод зворотних зважених відстаней (IDW) однозначно передбачає, що об'єкти, які знаходяться поблизу, більш подібні один одному, ніж об'єкти, віддалені один від одного. Щоб проінтерполювати значення для невимірюваного положення, IDW використовує виміряні значення навколо позиції, яка інтерполюється. Найбільш близькі до проінтерполюваної позиції виміряні значення надають більший вплив на прогнозоване значення, ніж віддалені від нього на значну відстань. IDW передбачає, що кожна вимірювана точка надає локальний вплив, яке



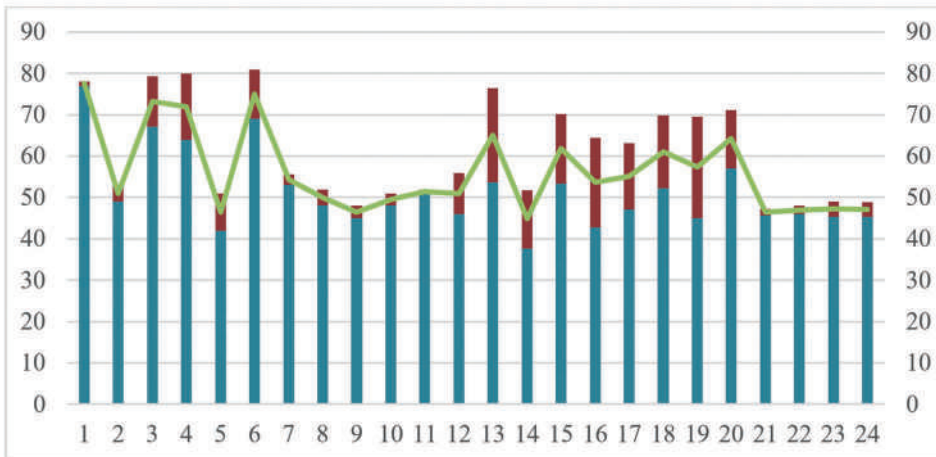
зменшується зі збільшенням відстані. Це надає більшій ваги точкам, розташованим ближче всього до інтерпольованого розташування. Вага точки зменшується як функція від відстані. Тому метод носить назву зворотних зважених відстаней.



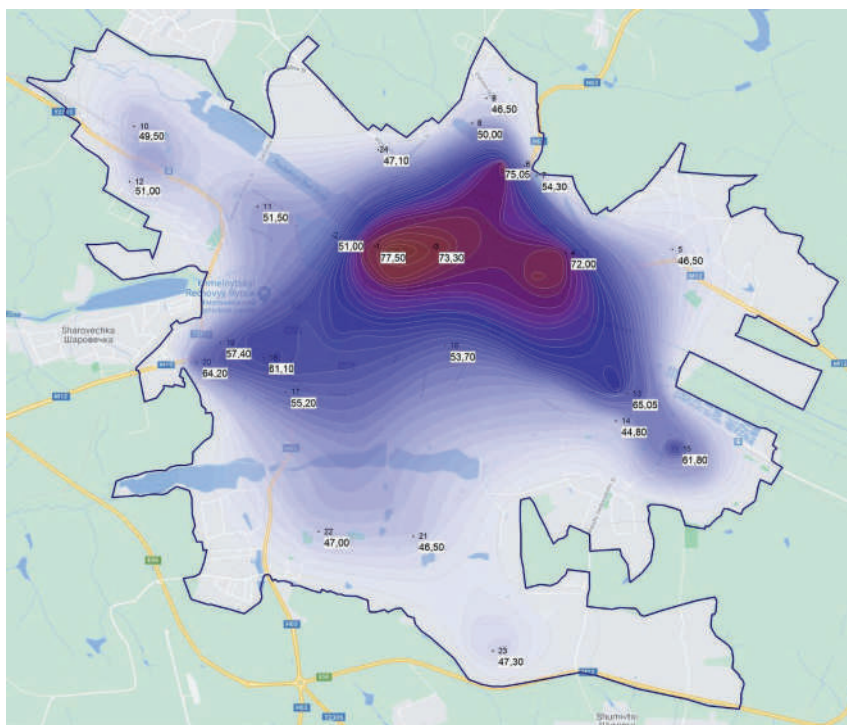
*Рисунок 5* — Алгоритм побудови карти шуму

**Результати досліджень.** Результати вимірювань шумового забруднення у місті Хмельницькому представлені на **рис. 6**. Аналіз графічної інтерпретації отриманих даних показує, що високий рівень шумового забруднення відмічається у центральній частині міста. Необхідно зазначити, що навіть ділянки природно-заповідного фонду, характеризуються середнім рівнем шумового забруднення. На центральних вулицях шумове навантаження на пішохідних тротуарах біля автошляхів складає (67–79) дБ, верхня межа відповідає початку руху транспорту від світлофору, нижня – зупинці перед світлофором. Висока інтенсивність шуму характерна для ділянок транспортних магістралей, що пролягають між багатоповерховою забудовою, та у промисловій зоні. Біля автошляхів, на яких дозволено рух важких фур, рівень шуму складає (69–83) дБ. На інших вулицях рівень шуму відповідає (55–67) дБ. У нічний час рівень шуму зменшується до (55–60) дБ, проте більш різкішим відчувається шум від руху поодиноких автомобілів. Залізничний транспорт може створювати шум до 85 дБ під час руху потягів. Будівельні майданчики залежно від виду робіт, що виконуються на відстані 5 м створюють шумове навантаження (67–87) дБ.

У спальних районах багатоповерхової забудови формується середній за інтенсивністю рівень шуму — (57–70) дБ; на ділянках малоповерхової забудови — (46–56) дБ; рекреаційних ділянках — (48–55) дБ. Відмічено збільшення рівня шуму до 60 дБ під час польоту літаків аероклубу; звучання гучномовців — на (5–7) дБ. За результатами досліджень складена карта шумового забруднення міста Хмельницького (**рис. 7**). Для оцінки і картування рівнів шумового забруднення урбоєкосистеми використано програмне забезпечення ArcGIS 10.5. Показання шуму виміряні з інтервалом у 30 хв. Карта шуму була створена за середніми еквівалентними значеннями шуму. Аналіз карти дозволив визначити закономірності розподілу шумового забруднення, що дало змогу виявити «гарячі» точки/кластери для виявлення трендів, оцінки та аналізу змінних у часі даних.



*Рисунок 6* — Шумове забруднення міста Хмельницького



*Рисунок 7* — Акустична карта міста Хмельницький

Аналіз графічної інтерпретації отриманих даних показує, що центральна частина міста потерпає від сильного шумового забруднення. Це обумовлюється великою щільністю селитебної забудови, високою концентрацією торгово-розважальних комплексів та інтенсивними транспортними потоками. Навіть ділянки садово-паркової структури урбоекосистеми, що знаходяться в центральній частині (парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва ім. М. Чекмана), характеризуються середнім ступенем шумового забруднення.

Висока інтенсивність шуму характерна для ділянок транспортних магістралей, що пролягають між багатоповерховою забудовою, та у промисловій зоні. У спальних районах

багатоповерхової забудови формується середній за інтенсивністю шум. На ділянках малоповерхової забудови та рекреаційних ділянках із зеленими насадженнями, що поширені на околицях міста, інтенсивність шуму — найменша. Таким чином, подальша розбудова міста вимагає виважених містобудівних рішень, особливо якщо мова йде про центральну його частину.

Урбокосистема постає у вигляді моделі міста, компонентами якої можна виділити селитебну, промислову, транспортну та садово-паркову структури. Селитебна структура належить до антропогенно-модифікованих геосистем в межах міської території, де природна складова змінюється антропогенними елементами, її потрібно розглядати, виділивши окремі райони. Територіальний поділ можна здійснювати відповідно до фізико-географічних зон або за принципом адміністративного поділу. У випадку оцінки шумового забруднення, на нашу думку, доцільніше використовувати адміністративно-територіальний поділ. Кожен адміністративний район міста Хмельницького вирізняється щільністю населення, житлового фонду та характером житлової забудови. Селитебна структура міста представлена житловими масивами, яким притаманний різний тип забудови: від садибної до багатоповерхових житлових будинків. Промислова структура включає промислові підприємства різних галузей.

Транспортна структура представлена значною кількістю приватних легкових та вантажних автомобілів, маршрутних таксі, міського електротранспорту (тролейбусів), які рухаються міськими дорогами загальною протяжністю близько 438 км. Міські дороги характеризуються різним рівнем транспортного навантаження: від незначного (285 автомобілів за 1 год.) до критичного (2 152 автомобілів за 1 год.). Як і промислова, транспортна структура належить до антропогенних (технічних) геосистем, що перебувають під деструктивним впливом антропогенного чинника. Крім зміни природної складової антропогенними елементами відбувається прямий вплив на компоненти довкілля (викиди продуктів згоряння в атмосферу, небезпечних хімічних речовин в ґрунти та води).

Розглядаючи транспортну структуру міста Хмельницького, потрібно зазначити, що усе місто майже рівномірно «заповнюють» транспортні засоби. Центральною частиною міста курсують десятки маршрутних таксі та приватних автомобілів. Віддаляючись від центру, вулиці та міста, крім приватних авто та міських маршрутних таксі, заповнюють тролейбуси, які з'єднують мікрорайони міста з центральною частиною.

Вантажні автомобілі, основною функцією яких є доставка товарів, об'їжджають усі вулиці міста: від центральних, магістральних до квартальних та міжбудинкових вулиць, на яких діють великі супермаркети та малі магазини. Транспортні засоби, проїжджаючи міськими дорогами Хмельницького є джерелом акустичного навантаження, що коливається в межах (60–80) дБА, залежно від типу транспортного засобу, дорожнього покриття, профілю дороги тощо. Залізничний транспорт сполучає місто не лише з іншими адміністративними центрами України, але й з практично усією Західною Європою. Як вже зазначалося, на динаміку шуму впливає інтенсивність автомобільних потоків і скупчення людей. Так, наприклад: вдень рівень шуму вищий, ніж у вночі; вищим є рівень шуму біля громадських установ; біля магазинів рівень шуму практично не змінюється.

Слід зауважити, що практично на будь-якій території присутній фоновий шум, цей шум не перевищує нормативних значень і не представляє ніяких незручностей, а тим більше — шкоди і небезпеки для людини. Умовно розділимо поняття акустичного комфорту і дискомфорту. Зони акустичного комфорту — це території з рівнями звуку і звукового тиску, що не перевищують нормативних значень. Зони акустичного дискомфорту — це території з рівнями звуку і рівнями звукового тиску, що перевищують нормативні значення. Перебуваючи в зазначених зонах, людина відчуває психофізіологічний дискомфорт.

За формальною ознакою, будь-яке перевищення нормативних значень шуму неприпустиме (ДСТУ-Н Б В.1.1-33) і є порушенням діючих санітарних і технічних норм. Це вимагає застосування шумозахисних заходів. На жаль, саме за фактором шуму дискомфортними є великі площі на території

міста, що ми підтвердили, створивши акустичну карту міста Хмельницького, а шумозахисні заходи не проводяться.

Слід зауважити, що створення карт шуму дозволяє здійснювати моніторинг акустичного забруднення території, вивчати закономірності поширення шуму в міській забудові (ДСТУ-Н Б В.1.1-34), коригувати проектні рішення (ДСТУ-Н Б В.1.1-35). Таким чином, розбудова міста вимагає виважених містобудівних рішень, особливо якщо мова йде про центральну його частину.

Визначені рівні шуму на території урбоєкосистеми міста Хмельницького на багатьох точках мають перевищення комфортних значень, а деякі характеризуються високими показниками і не відповідають допустимій нормі. Це обумовлює необхідність розроблення та впровадження комплексу шумозахисних заходів, особливо в зоні житлової та офісної забудови, а також на рекреаційних територіях. Заходи, які рекомендують для зменшення шумового навантаження поділяють на три групи: акустичні, архітектурно-планувальні та організаційно-технічні. Акустичні заходи (дорожнє покриття) — пористе або тонкошарове, зменшує ефект «накачування повітря», коли протектор колеса проїжджає по поверхні дороги. Пористий асфальтобетон також поглинає шум від двигуна, може зменшити шум від пасажирських транспортних засобів на 3 дБ, одношарові пористі дорожні покриття можуть зменшити шум на магістральних дорогах на 4 дБ (Science for Environment Policy, 2017). Тонкошарові дорожні покриття (містять заповнювачі розміром (6–8) мм, мають рівну поверхню для зменшення вібрацій шин) більш придатні для міських районів, оскільки пористі матеріали можуть адсорбувати пил. Перевагами таких заходів є збільшення розмірів захищеної території.

Використання архітектурно-планувальних та організаційно-технічних методів захисту будинків від шуму може виконувати як захисні, так і естетичні функції. Ці методи містять у собі оптимальні акустичні рішення щодо планування розташування будинків, планування зон та режиму руху транспортних потоків; створення шумозахисних зон у місцях перебування людини. До переваг застосування захисних екранів порівняно із зеленими насадженнями, слід віднести сталу ефективність, незалежно від періоду року, щільності листя. Крім того ефективність дії захисних інженерних споруд настає з моменту їх встановлення, у той час як для досягнення певної шумозахисної ефективності зеленими насадженнями потрібний тривалий час, доки дерева та кущі здобудуть певну висоту та інші характеристики. Технічні рішення щодо зниження шуму включають, наприклад, стіни заввишки (3–5) м, така стіна знижує рівень шуму безпосередньо за нею на (10–15) дБ. Однак міський візуальний ландшафт був би зруйнований, якби такі стіни були побудовані всюди. Досвід використання захисних екранів показав, що найбільш ефективними є комбіновані захисні інженерні конструкції. Практичною рекомендацією може бути запровадження у зонах значного акустичного навантаження шуморедукційних елементів (зелених насаджень). Такі заходи дають можливість знизити рівень шуму на (7–8) дБА улітку та на (3–4) дБА — узимку. Так, ефективність зелених насаджень, висотою (5–8) м за однорядного ((10–15) м) шахового висаджування становить (4–5) дБ, дворядного ((21–35) м, відстань міжряддя — (3–5) м) — (8–10) дБ та трирядного ((26–30) м, відстань міжряддя — 3 м) — (10–12) дБ. Хвойні породи знижують рівень звукового тиску на середніх частотах (500 Гц), а найефективніші — в діапазоні високих частот.

### Висновки

Інтенсивність шуму транспорту залежить від стану та ширини доріг, віддаленості житлових будинків від осі проїзної частини. Залежно від пропускнувості доріг, наявності перехресть змінюється акустичне навантаження. Зниження міського транспортного шуму пов'язано з поглинальною, відбиваючою, екрануючою й ізолюючою акустичною здатністю. Оптимізація

шумозахисту урбоєкосистеми залежить від комплексу архітектурно-планувальних рішень. При запровадженні техніко-економічних характеристик шумозахисних заходів необхідно враховувати їхні особливості (практичні обмеження і можливості).

### Список літератури

1. ГОСТ 17187-2010 (IEC 61672-1:2002) Шумомеры. Часть 1. Технические требования. Київ. 2010. 154. (Інформація та документація).
2. ДБН В.1.1-31:2013. Захист територій, будинків і споруд від шуму. Київ, 2014. 54 с. (Інформація та документація).
3. Зеленько Ю. В., Недужа Л. О. Прогнозування та моделювання шумового навантаження. *Сучасні підходи до створення шумових карт залізниць Локомотив-інформ*. Харків, 2015. Вип. 09-10, вересень–жовтень. С. 12-16.
4. Мямлін С. В. Параметрична екологія на залізничному транспорті. Принципи, оцінка, контроль, безпека : монографія С. В. Мямлін, Ю. В. Зеленько, Л. О. Недужа. Д. : Літограф, 2014. 203 с.
5. Попов В. И., Балцкарс П. Я., Барановский А. Е. Шум от железнодорожного транспорта. Математическая модель CRN. In: *47nd. International Scientific Conference*. October 11–13, 2008, Riga: Scientific proceedings of Riga Technical University, Transport and Engineering, Railway Transport, Sērija 6, Sējums 12, 2008. (CD-ROM).
6. Снижение шума в зданиях и жилых районах / под ред. Г. Л. Осипова, Е. Я. Юдина. М. : Стройиздат, 1987. 558 с.
7. Osipov, G.L., Boblev, V.N., Borysov, L.A., Sound-insulating and sound absorption, (Moscow: AST, 2004).
8. Ovsiannikov, M.S., “Construction of noise pollution maps by the method of iterative tracing of sources,” Presented in reports of the IV Academic readings «Current issues of construction physics», 2012.
9. Shishelova, T.I., Malygina, Yu.S., Nguyen Xuan Dat, “Influence of noise on the human organism,” *Achievements of modern natural science*, 2009.
10. Яремчук О. М., Пулашкін В. Ю. Картографування шумового забруднення автомагістралей м. Миколаєва засобами ГІС-технологій (з використанням програмного пакету ARCGIS) Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології № 2 (21), 2019, С. 132-139. DOI: 10.33815/2313-4763.2019.2.21.132-139
11. Science for Environment Policy. *Future brief: Noise abatement approaches*. April 2017. Issue 17. 32 p.

### References

1. Noisemeter. Chapter 1. Technical requirements, GOST 17187-2010 (IEC 61672-1: 2002), <http://docs.cntd.ru/document/1200089173>.
2. Protection of territories, houses and facilities from noise, DBN В.1.1-31: 2013, 2014, [https://www.acoustic.ua/img/pdfs/pdf\\_file\\_131.pdf](https://www.acoustic.ua/img/pdfs/pdf_file_131.pdf).
3. Zelenko, Yu.V., Neduzha, L.O., “Forecasting and simulation of noise load. Modern approaches to creating noise maps of railways,” *Lokomotiv-Inform*, September-October 2015, 09-10.
4. Miamlin, S.V., Zelenko, Yu.V., Neduzha, L.O., Parametric ecology in rail transport. Principles, evaluation, control, safety: monograph, (Dnipro, Ukraine: Lithographer, 2014).

5. Popov, V.I., Baltskars, P. Ya., Baranovskyi, A. E., “Noise from railroad transport. Mathematical model CRN,” Presented at 47th International Scientific Conference. Riga, October 11–13, 2008, Scientific proceedings of Riga Technical University, Transport and Engineering, Railway Transport, no. 6(12).
  6. Osipov, G.L., Boblev, V.N., Borysov, L.A., Sound-insulating and sound absorption, (Moscow: AST, 2004).
  7. Osipov, G.L., Yudin, E.Ya., Reducing of noise in buildings and living areas, (Moscow: Stroyizdat, 1987).
  8. Ovsianikov, M.S., “Construction of noise pollution maps by the method of iterative tracing of sources,” Presented in reports of the IV Academic readings «Current issues of construction physics», 2012.
  9. Shishelova, T.I., Malygina, Yu.S., Nguyen Xuan Dat, “Influence of noise on the human organism,” Achievements of modern natural science, 2009.
  10. Yaremchuk, O. M., Pulashkin, V. Yu., “Mapping of noise pollution of motorways in Mykolaiv by means of GIS technologies (using a software package ARCGIS),” Automation and Computer-Integrated Technologies, 21, no. 2 (2019): 132-139, doi:10.33815/2313-4763.2019.2.21.132-139.
  11. Science for Environment Policy. Future brief: Noise abatement approaches. April 2017. Issue 17. – 32 p.
- 

Nataliia Mironova<sup>1</sup>, D.Sc., <https://orcid.org/0000-0002-6214-0805>

Anatolii Morozov<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-5596-6193>

Tetiana Morozova<sup>2</sup>, Ph.D., (Biol) <https://orcid.org/0000-0003-4836-1035>

Victor Rybak<sup>1</sup>, Ph.D., (Agricultural), <https://orcid.org/0000-0003-3430-2704>

<sup>1</sup> Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine

<sup>2</sup> National Transport University, Kyiv, Ukraine

### INVESTIGATION OF ACOUSTIC LOAD FROM TRAFFIC FLOW ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF KHMELNYTSKY

#### **Abstract**

**Introduction.** Urbanization, intensification of road transport, development of urban infrastructure contributes to increased noise pollution. As traffic flows increase, so do acoustic discomfort zones, and the problem of traffic noise is becoming increasingly environmentally and socially important.

**Problem statement.** The traffic flow significantly exacerbates the environmental problems of cities. One of the most negative factors is the increasing acoustic load. Noise pollution is currently becoming one of the most important environmental stressors. Noise levels depend on the intensity, speed, nature of traffic, type and quality of coverage, land use planning (longitudinal and transverse street profiles, building architecture, traffic lights) and the presence of greenery. Noise leads to an imbalance of auditory adaptation, regulatory processes of the central nervous system, gastrointestinal tract, hemodynamic disorders, the development of noise sickness. At long influence mechanisms of reflex and neurohumoral reactions are broken, there is a nervous pathology, attention decreases by 12–16%. Physiological and biochemical adaptation of a person to noise is impossible, in addition, noise has an inherent consuming effect. Acoustic load has a negative impact on flora and fauna. The main ones are reduced adaptive and reproductive capacity, changes in trophic nets, increased risk of predation, growth retardation, accelerated transpiration, death of leaves and flowers. This problem is most acute for urban ecosystems, as urbanization is one of the main factors in reducing biodiversity due to the loss of natural habitats, their fragmentation

or drastic change. In urban conditions, many anthropogenic (industrial, transport noise) is added to the natural noise, which significantly changes the acoustic background. Currently, the noise load in megacities has increased by 12–15 dB, and the volume by three to four times. In cities with heavy traffic, the noise level is approaching 80 dB.

Cartographic methods are widely used to visualize and predict noise load. Mapping the noise load of cities is relevant for Ukraine. Currently, acoustic maps have been developed only for certain districts of Kyiv. The creation of acoustic maps will help improve the ecological condition of urban areas.

Purpose. Investigate and assess the level of noise load created by traffic flows on the main highways of the city of Khmelnytsky, create an acoustic map and determine the main directions of noise pollution.

Research methods. general scientific (generalization, comparison, analysis and synthesis, theoretical and methodological substantiation); mathematical statistics; field (full-scale measurements of noise on the territory); cartographic (construction of a map-scheme)

Results. The article highlights the problem of urban ecosystem acoustic load. It is evaluated the noise pollution of Khmelnytskyi city in Ukraine. The noise contamination model is constructed using GIS technologies within modern software package. It is shown that simulation and visualization of noise load using software makes it possible to objectively and detail estimate the acoustic situation and to propose managerial decisions development to protect the population from noise.

Conclusion. The intensity of traffic noise depends on the condition and width of roads, the distance of residential buildings from the axis of the roadway. Depending on the capacity of roads, the presence of intersections changes the acoustic load. Reduction of urban traffic noise is associated with absorbing, reflecting, shielding and insulating acoustic ability. Optimization of noise protection of the urban ecosystem depends on a set of architectural and planning solutions. When introducing technical and economic characteristics of noise protection measures, it is necessary to take into account their features (practical limitations and opportunities).

**Keywords:** acoustic situation, map of noise, traffic flow, urban ecosystem, noise pollution.

Безуглий А. О., канд. екон. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0003-3883-7968>

Каськів В. І., канд. техн. наук., доц., <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

Боднар Л. П., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-4754-721X>

Болотов Я. В., <https://orcid.org/0000-0002-4240-7808>

*Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНД»), м. Київ, Україна*

### **РЕЗУЛЬТАТИ І МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ІМЕНІ П.М. КОВАЛЯ «АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ МОСТОВОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ШЛЯХИ ЙОГО ПОКРАЩЕННЯ»**

15 – 17 вересня 2021 р. у місті Запоріжжя відбулася **I Міжнародна науково-практична конференція імені П.М. Ковалю «Актуальні питання мостового господарства та шляхи його покращення».**

Цей великий форум зібрав у змішаному форматі понад 200 фахівців мостовиків, науковців, проєктантів, представників служб автомобільних доріг і підрядних організацій, постачальників і виробників матеріалів. За два останні роки вдалось зібратись таким великим колективом, із залученням зарубіжних фахівців із Сполучених Штатів Америки, Франції, Німеччини, Данії і Польщі, та обговорити нагальні питання та виклики, які стоять перед дорожньою галуззю в частині проєктування, будівництва, ремонту та утримання мостів.

З вступним словом на конференції виступив Івко Андрій Володимирович, заступник Голови державного агентства автомобільних доріг України. У його доповіді було зазначено про сучасні досягнення під час реалізації Національної програми «Велике Будівництво» та «Програми відновлення мостів», а також найближчі плани «Укравтодору» щодо ефективного розвитку мостового господарства. Поставлені акценти на добудові довгобудів України та реалізації нових мега-проєктів транспортних споруд. Особливо наголосив на будівництві Запорізької автотранспортної магістралі через р. Дніпро та новому будівництві споруд у Кременчуці та Ямполі. Висловив позицію, щодо відходу від Радянської методології в ціноутворенні, прийнятті проєктних рішень та технологій у будівництві.

Начальник Служби автомобільних доріг у Запорізькій області Галич Олег Анатолійович, детально розповів про основні показники будівництва автотранспортної магістралі через р. Дніпро в м. Запоріжжя довжиною 9,1 км, що включає 27 транспортних споруд, зокрема 2 позакласні мости: вантовий міст через ріку Дніпро довжиною 660 м і висотою пілонів 166 м та міст через річку Старий Дніпро. На сьогодні — запорізькі мости перетворились з головного довгобуду країни на найголовніше та стрімке будівництво. Автотранспортна магістраль нині є флагманом президентської програми «Велике будівництво». Крім того, Олег Анатолійович доповів про хід робіт з ремонту існуючих транспортних споруд у Запорізькій області в рамках Національної програми відновлення мостів та поділився планами будівництва на майбутнє.

Конференція була присвячена пам'яті Петра Миколайовича Ковалю, видатного науковця і мостобудівельника сучасності, учасникам конференції був запропонований фільм-спогад. Петро Миколайович за свій яскравий життєвий шлях отримав звання Заслуженого діяча науки і техніки України, Почесного дорожника України, був членом Академії будівництва України та Транспортної академію України. У період з 2002 по 2009 роки очолював Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна (ДП «ДерждорНД»), який за його сприянням став головною науково-дослідною установою України з будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг і транспортних споруд. Був автором понад 500 наукових робіт, 10 монографій, посібників і підручників, більше 40 нормативних документів, отримав 29 авторських свідоцтв і



патентів на винаходи. Окреме, і чи не саме важливе місце у житті Петра Миколайовича займала навчально-виховна робота, завдяки якій під його керівництвом було захищено 10 кандидатських дисертацій. Його вихованці нині займають ключові позиції в галузі мостобудування.

Учасники конференції заслухали виступ від продовжувача мостобудівних традицій сім'ї Ковалів, його сина — Максима Петровича, який розкрив, невідомий широкому загалу, багатий внутрішній світ Петра Миколайовича. Зокрема, це спорудження за його проектом Храму Вознесіння Господнього в м. Пустомити, який вважався самим Петром Миколайовичем, найважливішим об'єктом у його житті.

Із згадкою про світлу пам'ять Петра Миколайовича і з подальшими планами дій в галузі виступив директор ДП «ДерждорНДІ», кандидат економічних наук Безуглий Артем Олександрович, за сприяння якого відбулося відродження мостового напрямку. Він зазначив, що однією з головних його задач — є створення сучасної нормативної бази в дорожньо-будівельній галузі. Згадав про плідну роботу потужного дорадчого органу — Секції № 5 «Проектування автомобільних доріг та мостів», який розглядає проектні рішення об'єктів на дорогах загального користування та надає рекомендації щодо їх удосконалення. Окремо наголосив про запуск ДП «ДерждорНДІ» таких потужних сучасних інформаційних проєктів як Портал та Платформа дорожніх інновацій, де розглядаються новітні матеріали та технології проектування та будівництва автомобільних доріг і транспортних споруд. Завдяки цим інструментам постачальники та виробники мають можливість бути почутими ключовими стейкхолдерами галузі. Було акцентовано, що питання ціноутворення, як одне з найважливіших у будівництві, потребує особливої уваги та удосконалення. Найближчим часом буде завершено реформу в ціноутворенні, результатом якої стане повна відмова від застарілих підходів та принципів у складанні кошторисів.

Заступник директора з наукової роботи ДП «ДерждорНДІ», кандидат технічних наук Касків Володимир Іванович наголосив, що ДП «ДерждорНДІ» є головним науково-дослідним інститутом у дорожній галузі, базовою організацією Мінрегіонбуду, а також Інститутом, на базі якого функціонує Фонд нормативних документів Укравтодору. У підтвердження слів Безуглого А.О., щодо створення сучасної нормативної бази в дорожній галузі, у своїй доповіді Володимир Іванович навів інформацію щодо створених за останні три роки нормативних документів, що стосуються дорожньої галузі та транспортних споруд зокрема. Він окремо зупинився на планах із розроблення змін існуючих та створенні нових нормативних документів, які дозволять більш широко використовувати сучасні матеріали і технології та приймати прогресивні рішення в проектуванні та будівництві транспортних споруд. А також, у котре наголосив про надання пропозицій та зауважень з боку проєктувальників та будівельників галузі на етапі розроблення або перегляду нормативних документів.

Жодна галузь не може мати розвиток без міцної основи якою є фахівці. Тому підготовці майбутніх інженерів-будівельників необхідно приділяти максимум уваги, що вже протягом багатьох років підтверджує Національний транспортний університет (НТУ). Проректор з наукової роботи НТУ, доктор технічних наук Славінська Олена Сергіївна, виступаючи на конференції, звернула увагу на такий важливий аспект при проектуванні та будівництві транспортних споруд через річки — як гідраліка та гідрологія. Висвітлені методи та розрахунки, на яких детально та обґрунтовано зупинилась Олена Сергіївна, дають нам змогу більш широко поглянути на проблему розмивів та укріплення дна русла на різних відстанях від осі споруд.

Важливу роль у життєвому циклі транспортної споруди, як і у людини, відіграє вчасна діагностика. По відношенню до мостів — це своєчасне обстеження та проведення відповідних експлуатаційних заходів. Для ефективного планування ремонтів транспортних споруд розроблено інструмент — програмний комплекс Аналітична експертна система управління мостами (АЕСУМ). Боднар Лариса Петрівна, кандидат технічних наук та начальник Центру транспортних споруд ДП «ДерждорНДІ», яка є одним із розробників цього успішного проєкту, розповіла про історію

його створення, можливості та переваги застосування. Окремо зупинилась на питанні відсутності належного обміну інформацією з Обласними державними адміністраціями (ОДА). Використання АЕСУМ на місцевій мережі доріг дозволить формувати єдині підходи та вибудовувати спільну стратегію управління й експлуатації транспортними спорудами. Вона наголосила, що саме на основі інформації з програмного комплексу АЕСУМ формуються переліки для першочергових ремонтів транспортних споруд, що є важливою складовою програм з відновлення мостів. Лариса Петрівна зауважила, що необхідно витримувати нормативну періодичність обстежень мостів та вчасно актуалізувати інформацію в базі даних АЕСУМ. Також Вона згадала про процес відновлення мостового напрямку в ДП «ДерждорНДІ», який було розпочато в тісній співпраці з Ковалем Петром Миколайовичем. На сьогоднішній день фахівці Центру транспортних споруд ДП «ДерждорНДІ» виконують роботи на більшості ключових об'єктів галузі, зокрема і на спорудах Запорізької автотранспортної магістралі.

Артур Миколайович Онищенко, доктор технічних наук, завідувач кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд НТУ у своїй доповіді з вдячністю згадував значний вклад в розвиток кафедри Ковалю Петра Миколайовича та його активну участь в якості Голови Державної атестаційної комісії при захисті дипломних та магістерських робіт. Артур Миколайович зазначив, що переважна більшість автодорожніх мостів має залізобетонну плиту проїзної частини з дорожнім покриттям на якому, останніми роками, у зв'язку зі зростанням параметрів транспортних навантажень та аномально високими літніми температурами, значного розповсюдження набули дефекти у вигляді тріщин, зсувів та колії. У своїй презентації Артур Миколайович представив математичні моделі та методологічні розрахунки залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття, розрахунки його довговічності. Представлена методика розрахунку асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах з металевою ортотропною плитою, метод визначення функції релаксації асфальтобетону тощо. Розповів про досвід застосування у мостобудуванні базальтової фібри у бетонах та асфальтобетонах. Окремо зупинився на перевагах застосування у мостобудуванні тонкошарових покриттів. Артур Миколайович висвітлив у своїй доповіді практичні методи забезпечення довговічності асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах.

Президент Асоціації «Українська Асоціація проектних організацій» (УАПО) Олійник Вадим Юрійович у своїй доповіді проаналізував деякі сучасні технології проектування, що використовуються в світовій практиці. Наголосив на позитивному світовому досвіді використання ВІМ-технологій та необхідності їх впровадження в дорожню галузь України. Також зауважив на необхідності крокування в ногу з часом в питаннях тендерних закупівель, впровадивши чотирирівневу модель життєвого циклу об'єктів дорожньо-будівельної та мостобудівельної галузей, що дозволить оптимізувати витрати, пришвидшить темпи розвитку галузі та планувати на багато років вперед. Вадим Юрійович зазначив, що на сьогоднішній день не вистачає обміну даними з місцевими органами самоврядування та запропонував шукати шляхи співпраці для запровадження прогресивних технологій навіть на умовах співфінансування.

Начальник Центру діагностики доріг та штучних споруд ДП «Дорцентр» Пригаровський Олег Володимирович у своїй доповіді зробив акцент на вплив дефектів підходів та систем водовідводу на довговічність транспортних споруд. Він наголосив на необхідності проведення заходів, які можуть вчасно усунути дефекти, що впливають на перебіг життєвого циклу об'єктів, або попередити їх виникнення. Крім того, Олег Володимирович окремо зупинився на важливості проведення моніторингу якості виконання ремонтно-будівельних робіт задля вчасного інформування Замовника про виявлені недоліки для оперативного їх виправлення.

Редченко Василь Павлович, доктор технічних наук, провідний науковий співробітник відділу визначення технічного стану споруд Центру транспортних споруд ДП «ДерждорНДІ», детально розповів про сучасний стан та проблеми при випробуваннях автодорожніх мостів України. Василь Павлович зауважив, що правильне визначення технічного стану мосту є важливим етапом

у системі експлуатації автомобільних доріг, оскільки напряму впливає на планування ремонтних заходів для підтримання їх працездатного стану. Несвоєчасне проведення ремонтних робіт призводить згодом до зростання витрат і не лише на самі ремонтні роботи, а й загальних витрат пов'язаних з об'їздом мосту. Натурні випробування є тим інструментом, який суттєво збільшує точність визначення вантажопідйомності та технічного стану конструкцій. А в деяких випадках їх проведення є єдиним способом поставити крапку в певній дискусії. Окремо зупинився на сучасних методах випробувань, що дозволяють більш точно визначити поставлені задачі. Наголосив про недостатню кількість кваліфікованих спеціалістів, зокрема, що стосується випробування мостів та запропонував проводити курси підвищення кваліфікації задля якісного покращення навиків у цьому питанні. Це дозволить балансоутримувачам мостів (Замовникам) формувати технічно грамотні вимоги до спеціалістів, які виконують випробування (Виконавців), а останнім — володіти сучасними технологіями випробувань мостів.

Сташук Павло Михайлович, кандидат технічних наук та директор ТОВ «Діагностика та інжиніринг мостів» доповів про результати досліджень конструкцій шляхопроводу по проспекту Перемоги біля станції метро «Нивки» в м. Києві. Шляхопровід, незважаючи на нещодавно проведений ремонт, зазнав погіршення технічного стану конструкцій прогонових будов. Тому, під час обстеження було проведено комплекс робіт, що дозволили встановити причини погіршення стану. Інструментальні дослідження показали високий вміст хлоридів у бетоні балок та виявили значний вплив блукаючих струмів (електрокорозії), що суттєво прискорило процес корозії арматури прогонових будов. Ця доповідь викликала жвавий інтерес та обговорення в учасників конференції, оскільки явище електрокорозії не часто фіксується в мостобудуванні.

Керівник відділення ГО «Академія будівництва України», доктор технічних наук, Мостовий Василь Сергійович розповів про автоматизовану систему лазерного та сейсмоакустичного моніторингу будівельних конструкцій, зокрема і транспортних споруд. Він наголосив, що ця система призначена для спостереження, з метою прогнозування, стану кожного окремого об'єкта, які кожний за своїми властивостями є унікальний. Та підсумовуючи зауважив, що така система вирішує дуже широкий спектр задач та може бути застосована зокрема у мостобудуванні.

У мостобудуванні на сьогоднішній день багато питань, над якими плідно працюють фахівці галузі. І одне з найважливіших — це застосування арматури в конструкціях транспортних споруд. Про що і доповів завідувач відділу досліджень мостових конструкцій Центру транспортних споруд ДП «ДерждорНДІ», кандидат технічних наук Бабяк Ігор Петрович. Він є учнем Ковалю Петра Миколайовича і багато років працював разом ним над різними прогресивними технологіями і нормативними документами, які сьогодні вже мають широке визнання у мостобудівельній галузі. Тому гостре питання армування залізобетонних конструкцій з урахуванням модернізації нормативної документації та умов ринку заслуговує на особливу увагу. Ігор Петрович навів порівняльні характеристики арматури відповідно до різних, нині чинних нормативних документів, та наголосив, які характеристики та які вимоги мають бути для арматури, що використовується в конструкціях мостів сприймаючих багаторазові повторні навантаження. Розповів про проєкт коригування нормативного документа, за яким сьогодні виготовляють арматурний прокат, враховуючи вимоги на витривалість. Також зупинився на мікроармуванні бетону конструкцій транспортних споруд за допомогою базальтової фібри та розроблених нормативних документах з її використанням. Крім мікроармування бетону базальтовою фіброю сьогодні активно впроваджується армування неметалевою композитною базальтовою арматурою, використання та випробування якої регламентується розробленими нормативними документами.

Парфесса Геннадій Анатолійович, заступник головного інженера та начальник інженерно-технічного відділу ДП «Укрдїпродор», зважаючи на багаторічний досвід у галузі виокремив питання, які найчастіше зустрічаються при розгляді проєктних рішень на Секції №5 «Проектування автомобільних доріг та мостів» Науково-технічної ради ДП «ДерждорНДІ». Зокрема дотримання

норм щодо строків обстежень транспортних споруд, а також їх якості виконання. Зауважив про особливості визначення при проектуванні габаритів проїзної частини і тротуарів малих та середніх мостів, а також мостів, що розташовані в населених пунктах. Він окремо наголосив на необхідності звертати особливу увагу при проектуванні капітального ремонту чи реконструкції існуючого мосту на те, що велика кількість «схожих» мостів на автомобільних дорогах, не забезпечує однакові проєктні рішення. Підхід до кожного мосту повинен бути індивідуальним, з врахуванням його технічного стану, умов експлуатації й утримання тощо.

Головний інженер проєктів ТОВ «Міжнародний проєктний інститут», кандидат технічних наук Лотоцький Юрій Львович, у своїй доповіді на тему «Досвід проектування мостів у складних умовах. Прогонові будови — напрямки розвитку» розповів на конкретних прикладах переваги рішень, пов'язаних з проектуванням збірно-монолітних або монолітних прогонових будов у складних умовах будівництва (гірська місцевість, стиснені умови будівництва, сейсмічність зони будівництва, розташування об'єктів на кривих в плані тощо). Він окремо зауважив, що відповідно до вимог діючих норм, споруди зі збірно-монолітних та монолітних прогонових будов мають проєктний строк служби 80 та 100 років відповідно. Також перевагами використання монолітних прогонових будов з попередньо напруженого залізобетону є можливість будувати мости з несиметричним розташуванням опор, на кривих дуже малих радіусів, при цьому відсутня необхідність транспортування довгомірних збірних елементів.

Патріс М. Пеллет'єр, заступник генерального директора «OSMOS GROUP» (Франція), у своїй доповіді поділився світовим досвідом прийняття рішень щодо управління структурними активами на основі моніторингу споруд. Він наголосив, що моніторинг за життєвим циклом споруд інфраструктурного та промислового призначення постійно поширюється у світі. Патріс зауважив, що в країнах-членах Великої Сімки (G7) ситуація зі спорудами, які знаходяться найгіршому технічному стані, у відсотках, дуже схожа на ситуацію в Україні. Також він розповів про переваги оптоволоконних бездротових технологій моніторингу стану мосту та на прикладах висвітлив їх ефективність.

Наступний доповідач, Януш Соболєвський, доктор технічних наук, науковий консультант HUESKER Synthetic GmbH, ТОВ «Вестхем Груп» (Німеччина), надав конкретні приклади світової практики в проектуванні підходів до мостів у складних гідро-геологічних умовах. Розповів про армування основ і конструкцій з армогрунту, технології підсилення основи насипів, надав приклади та розрахунки влаштування насипів стоянів транспортних споруд.

Холоднюк Василь Павлович, заступник генерального директора з будівництва і регіонального розвитку ТОВ «КМД «Камбіо Інвест» розповів про світовий досвід застосування комбінованих підпірних стін для гравітаційних та армогрунтових конструкцій, огорож та декоративного оформлення ландшафтних проєктів, елементи яких виготовляються за європейськими технологіями. Та на конкретних прикладах, що також були реалізовані під час програми «Велике будівництво», розповів про їх переваги.

«Нова технологія гідроізоляції мостових конструкцій», саме з такою темою доповіді виступив Маріо Баджіо генеральний директор компанії «ALCHEMCO», США. Маріо наголосив, що транспортні споруди є складними інженерними об'єктами, надійність експлуатації яких залежить від безпомилкового їх конструювання, від оптимального підбору матеріалів, що застосовуються при будівництві. Незадовільний стан проїзної частини моста є однією з причин руйнування бетонних конструкцій споруди, що знаходиться нижче мостового полотна та призводить до значного скорочення строку служби конструктивних елементів. Він поділився досвідом успішного використання біохімічно модифікованих гідроізоляційних матеріалів, що вже протягом десятків років захищають бетонні конструкції у всьому світі. Розповів про їх переваги та особливості для захисту бетонних поверхонь різного типу споруд.

Томаш Новіцкі, магістр технічних наук, директор департаменту постнапруження DYWIDAG Sp. Z.o.o. (Польща) розповів про пост-напружене армування транспортних споруд.

Дана технологія дає можливість споруджувати прогонові будови із монолітного залізобетону та виконувати підсилення старих прогонових будов із забезпеченням вантажопідйомності згідно із сучасними нормами. Дана технологія забезпечує довговічність конструкції (до 100 років). Відсутність транспортування елементів прогонової будови за довжиною, архітектурна виразність та відсутність геометричних обмежень. Суть технології полягає у влаштуванні спеціальних каналів на етапі армування прогонової будови, коли після бетонування та набору міцності конструкцією, виконується армування каналів канатною арматурою з наступним її натягом та ін'єктуванням пустот каналів, з подальшим включенням у спільну роботу з бетоном. Успішним досвідом використання цих систем в Україні поділився у своїй доповіді технічний директор ТОВ «Варто», кандидат технічних наук, Яцко Федір Володимирович.

Технічний директор компанії «UPHC C5 Innovation» (Данія) Уільям Л. Вігтс у своїй доповіді поділився досвідом використання домішок до бетонних сумішей. Їх позитивний вплив на міцнісні характеристики, а також на час тужавіння бетонних сумішей, було висвітлено на відповідних графіках. Він наголосив, що обробка такими домішками виконується один раз і діє протягом всього життєвого циклу споруди. Також він підняв тему моніторингу бетонних конструкцій на предмет наявності їх перезволоження та міцності із можливістю відслідковування в реальному часі завдяки спеціальним приладам.

Професор кафедри мостів, конструкцій та будівельної механіки імені В.О. Російського, Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ), доктор технічних наук. Кожушко Віталій Петрович розповів про вплив фізико-механічних характеристик ґрунтів основи при визначенні бічного тиску ґрунту насипу на крайні опори транспортних споруд. Зазначив, що нині, відповідно до діючих нормативних документів використовуються методи, які потребують модернізації та удосконалення. Виконавши свої розрахунки та порівнявши їх з результатами розрахунку за нормами, довів, що бічний тиск і інші величини, зв'язані з ним, залежно від висоти насипу та кута внутрішнього тертя піщаного ґрунту основи, можуть змінюватися до 43 %. Віталій Петрович наголосив, що для отримання даних для інших типів ґрунтів, необхідно виконувати додаткові дослідження.

Бубела Андрій Володимирович, доктор технічних наук та в.о. декана факультету транспортного будівництва НТУ доповів про результати дослідження процесів вологопровідності ґрунтів земляного полотна насипів підходу до транспортних споруд. Він зауважив, що міцність конструкції насипів підходу до транспортних споруд значно обумовлена вологістю ґрунтів земляного полотна, а загальна надійність і працездатність залежить від того, наскільки правильно визначена розрахункова вологість та вологопровідність цих ґрунтів. А також наголосив, що основною розрахунковою характеристикою, що визначає вологонакопичення в ґрунтах, є величина коефіцієнта вологопровідності, значення якого для умов України не встановлені. Так як, у теперішній час напрацьовано ще недостатньо експериментальних даних про числові значення коефіцієнта вологопровідності, оскільки встановити його величину розрахунковим шляхом не представляється можливим, пропонується визначати цю характеристику експериментальним методом. Підсумовуючи свій виступ, Андрій Володимирович відмітив, що дослідження вологопровідності ґрунтів земляного полотна дозволяє запропонувати раціональні конструктивні рішення щодо вирішення цієї проблеми, адаптувати сучасні європейські норми та технології при проектуванні, будівництві та ремонті автомобільних доріг загального користування, проводити влаштування насипів підходу в обмежених та у складних умовах.

Доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном НТУ, кандидат технічних наук Чечуга Олександр Сергійович, у своїй доповіді надав основні результати дослідження напружено-деформованого стану дорожніх конструкцій з водопропускними трубами. Провівши математичні та числові моделювання, Олександр Сергійович отримав результати, які дали змогу надати практичні рекомендації до деяких технологічних процесів з будівництва водопропускних труб.

Стасюк Богдан Олександрович, начальник Науково-методичного навчального центру ДП «ДерждорНДІ» доповів про надійні інструменти для ефективного впровадження сучасних матеріалів та технологій — Портал інновацій та Платформа дорожніх інновацій. Нагадав про алгоритм впровадження нових матеріалів та технологій у дорожньому господарстві. Зауважив, що проводиться робота із створення нормативно-правового акту, який впроваджує та регламентує експериментальне будівництво. Особливо зупинився на розробленій ДП «ДерждорНДІ» інформаційно-аналітичній системі «Портал інновацій» — це веб-сайт, який є в загальному доступі та дозволяє прискорити впровадження нових технологій і матеріалів та отримати максимум корисної інформації. Також важливим майданчиком для обговорення прогресивних проектних рішень, технологій та матеріалів є створена «Платформа дорожніх інновацій», де кожен може виступити зі своїм надбанням та почути думки фахівців галузі.

Наступний доповідач, представник академічної науки, Медведєв Костянтин Володимирович, кандидат фізико-математичних наук, професор кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд НТУ доповів про наукові, нормативні та технічні аспекти проблеми надійності мостів на автомобільних дорогах України. Він наголосив про вагомий кількість мостів, що знаходяться в незадовільному стані на дорогах як державного, так і місцевого значення та на необхідності переглянути підхід до надійності транспортних споруд, внесення змін щодо підходів проектування та експлуатації мостів. Сучасні досягнення інформаційно-комунікаційних технологій, прогресивні технології обстеження та програмні комплекси дають можливість значно поліпшити всю систему експлуатації мостів. Особливо розповів про успішний досвід використання програмного комплексу АЕСУМ, який є основним інструментом у прийнятті ефективних управлінських рішень щодо експлуатації мостів, а також запропонував модернізувати комплекс для можливості зберігання та відображення усіх факторів життєвого циклу споруди для створення цифрової моделі споруди. На думку Костянтина Володимировича, впровадження BIM-технологій в АЕСУМ зробить цю систему більш сучасною та забезпечить відповідним нормативним супроводом систему експлуатування мостів. Продемонстрував основні аспекти проведеної роботи по удосконаленню методологічних підходів по визначенню експертної оцінки транспортних споруд.

Про застосування композитної арматури в будівництві мостів доповів провідний науковий співробітник відділу визначення технічного стану споруд Центру транспортних споруд ДП «ДерждорНДІ», кандидат технічних наук Стоянович Сергій Володимирович. Він зауважив, оскільки переважна кількість мостів в Україні залізобетонні, то однією з основних проблем є корозія арматури. Тому, використання альтернативного армування, завдяки корозійній стійкості, високому опору на розтяг, малій вазі неметалевої композитної арматури можна суттєво покращити роботу елементів мостів та підвищити їх довговічність. Згадав про те, що Коваль Петро Миколайович активно займався впровадженням неметалевої арматури у будівництво мостів намагаючись не тільки на папері, а й на практиці запровадити її використання. Зважаючи на вже проведені дослідження, створену нормативну базу з використання такого типу арматури та вищезазначені переваги перед металевою арматурою закликав до більш активного її використання в проектуванні та будівництві мостів України.

Завгородній Сергій Сергійович, завідувач відділу визначення технічного стану споруд Центру транспортних споруд ДП «ДерждорНДІ» у своїй доповіді про особливості експлуатації мостів зі струнобетонними балками, наголосив, що у 50-х — 60-х роках минулого сторіччя в Україні широко розповсюджувалось будівництво автодорожніх мостів з прогоновими будовами із попередньо-напружених струнобетонних балок мостів. Перевагами якого, на той час вважалися спрощені процеси їх виготовлення, вартість порівняно з каркасним армуванням, вага балок та технологія влаштування. Але іноді, в гонитві за економією коштів, до виконання приймалися невдалі рішення. Яскравими прикладами цього є виготовлення балок прогонових будов за типовими проектами ВТП-15, ВТП-16, ВТП-17. Порівняно з прогоновими будовами, виконаними за іншими

типовими проектами, струнобетонні балки характеризуються значною швидкістю розвитку корозії арматури та, відповідно, зменшенням її робочого перерізу. Також необхідно зауважити, що на цих балках дуже часто відбувається руйнування захисного шару бетону із відшаруванням, що може супроводжуватись обривом струн робочої арматури, крім того одною з основних проблем є руйнування об'єднання таких балок в поперечному перерізі внаслідок корозії закладних деталей. У результаті обстежень мостів з прогоновими будовами із струнобетонних балок за останні роки зафіксовано значну кількість дефектів, які класифікуються 5 (непрацездатним) станом та мають потенційну небезпеку до обвалення прогонової будови. Зважаючи на вищевикладене, Сергій Сергійович підкреслив, що споруди з такими прогоновими будовами необхідно першочергово включати до програми ремонтів та відповідально підходити до реалізації ремонту таких прогонових будов.

Одною з важливих проблем дорожньо-будівельної галузі є дефекти асфальтобетонних покриттів, саме про запобігання яким, виклав у своїй доповіді Зеленовський Володимир Анатолійович, завідувач відділу технологій дорожніх робіт Центру дорожніх матеріалів та технологій ДП «ДерждорНДІ», розповівши про застосування епоксидасфальтобетонного покриття на мостах з метою підвищення їх довговічності. Проаналізувавши світовий та вітчизняний досвід застосування епоксидасфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах встановлено, що використання термореактивних полімерів у якості модифікаторів бітуму дозволяє значно покращити його властивості, а отже і властивості асфальтобетонів на його основі. А також, засвідчено перспективність використання епоксидасфальтобетону, який порівняно зі звичайним асфальтобетоном відзначається вищими міцнісними характеристиками, більшим опором коліутворенню, уповільненим старінням під дією природно-кліматичних факторів та стійкістю до дії паливно-мастильних матеріалів. Питання щодо використання зазначених матеріалів для мостових покриттів в Україні є ще не досить вивченим, але водночас дуже актуальним, а отже поставлено задачі щодо подальшого проведення досліджень.

Болотов Ярослав Володимирович, провідний інженер відділу визначення технічного стану споруд Центру транспортних споруд ДП «ДерждорНДІ» приймає участь у виконанні робіт з науково-технічного супроводу (НТС) проектування та будівництва транспортних споруд, тому у своїй доповіді він наголосив про важливу роль НТС у життєвому циклі мостів. Виокремив деякі важливі на сьогодні питання у мостобудуванні, що постають перед проєктувальниками та будівельниками: використання арматури відповідного класу у конструктивних елементах споруд, що розраховуються на витривалість, використання бетонів у мостобудуванні, що відповідають діючим вітчизняним нормативним документам, та які порівняно з гармонізованими європейськими, мають більш жорсткі вимоги до бетонних сумішей, так як транспортні споруди відносяться до критичної інфраструктури та мають значний соціально-економічний вплив у разі переходу їх до непрацездатного стану. Наголосив про важливість проведення випробувань буро-набивних паль та навів реальні приклади з вирішення проблем, в рамках НТС, на етапі виконання будівельно-монтажних робіт. Також, Ярослав Володимирович, звернув увагу на важливість контролю, незалежними вузькопрофільними установами або експертами, технологічних процесів при виготовленні такого визначального елемента мосту, як балка прогонової будови.

У своєму виступі керівник компанії ТзОВ «РЕММ» Борійчук Олег Іванович розповів про технологію просочення будівельних конструкцій полімерними композиціями на основі метилметакрилату. Навів приклади використання цієї технології в Україні та звернув увагу на наявність патентних свідоцтв на цю технологію. Також, Олег Іванович наголосив про її наукову новизну та перспективність при використанні в балочних згинаних конструкціях, підсиленіх зовнішнім армуванням композицією на основі метилметакрилату із хімічним анкеруванням і саме тому розпочато лабораторні дослідження в цьому напрямку за активної участі заступника директора ТОВ «НВП «Тріада», кандидата технічних наук Ковалю Максима Петровича.

Під час своєї доповіді Ярмо Олександр Миколайович, генеральний директор ПрАТ «Альпсервіс» розповів про успішний досвід використання компанією новітніх матеріалів Sika на прикладі відновлювального ремонту опорних конструкцій мосту через ріку Лопань. Окремо зупинився на перевагах моніторингу споруд.

Керівник проекту Металевих гофрованих конструкцій (МГК) компанії ТОВ «Гідрозахист» Юдін Віктор під час своєї доповіді звернув увагу на актуальність застосування цих конструкцій при будівництві та ремонті транспортних споруд на дорогах України, нагадав про історичні факти впровадження МГК та навів конкретні приклади їх влаштування в Україні.

Комерційний директор ТзОВ «АТТІК» Казанін Юрій Валерійович розповів про успішний досвід влаштування й експлуатації водовідвідних систем та гідроізоляції, що пропонує компанія, у світі та зокрема в Україні та розповів про переваги та перспективи її впровадження в мостобудівельну галузь України.

Про протиаварійні роботи в місцях протікання деформаційних швів на транспортних спорудах розповіла в своїй доповіді Мінюкова Анна Дмитрівна, завідувач сектору проектування мостів КП «Київавтошляхміст». Проаналізувавши досвід експлуатації деформаційних швів на транспортних спорудах міста Києва та інших міст України, Анна Дмитрівна зазначила, що вчасне діагностування проблем в роботі деформаційних швів та використання прогресивних технологій і матеріалів для їх усунення, дозволить подовжити життєвий цикл транспортних споруд та призведе до значної економії державних коштів.

Плазій Євген Павлович, проєкт менеджер ТОВ «Мапеї Україна» доповів про успішний досвід використання матеріалів під час ремонту, відновлення, підвищення довговічності, підсилення та захисту мостових конструкцій з використанням матеріалів ТМ MAPEI. А його колега, Богдан Сергій Миколайович, керівник об'єктного відділу ТОВ «Мапеї Україна» навів приклад успішного застосування систем підсилення залізобетонних конструкцій за допомогою композитних матеріалів. Крім того, Сергій Миколайович надав результати експериментального дослідження проведеного разом з Київським національним університетом будівництва і архітектури України з підсилення металевих конструкцій зовнішнім армуванням методом наклеювання високоміцних композитних вуглецевих матеріалів (FRP).

Далі учасники конференції заслухали доповідь на тему «Актуальні рішення на основі композитних матеріалів для будівництва, утримання і ремонту мостів. Зниження вартості при подовженні строків експлуатації», яку детально розкрив Орішкін Дмитро Олександрович, генеральний директор ТОВ «Технологічна Група «Екіпаж». Він наголосив, що композитні конструкційні матеріали (КМ) — добре вивчені і давно застосовуються в різних галузях, в яких вимагається висока міцність, мала вага і висока атмосферна та хімічна стійкість. Дмитро Олександрович детально розповів про елементи транспортних споруд, в яких вже успішно використовуються композитні матеріали та висловив надію на більш широке використання композитних матеріалів і технологій в дорожньо-будівельній галузі.

Начальник технічного відділу ТОВ «Сіка Україна» Сінякін Анатолій Геннадійович зробив акцент на те, що в результаті плідного використання матеріалів і систем Sika з 1997 по 2021 рік було розроблено унікальні для України проєкти будівництва, ремонту і реконструкції мостів, в яких використовувалися оригінальні технічні рішення та саме це дозволяє з оптимізмом дивитися в майбутні перспективи подальшого використання сучасних досягнень будівельного матеріалознавства в будівництві, ремонті, а також довгостроковій і безвідмовній експлуатації транспортних споруд в Україні.

Далі зі своєю доповіддю про інноваційні рішення Sika із захисту конструкцій від корозії в забрудненому хлоридами середовищі виступив Спець Сергій Вікторович, керівник напрямку «Відновлення» ТОВ «Сіка Україна». Він розповів про успішний розв'язок цієї проблеми за допомогою використання системи жертвних анодів Sika та звернув увагу на позитивний



економічний ефект при застосуванні такої системи захисту під час експлуатаційного утримання окремих конструкцій і мостів в цілому.

Наступна доповідь, на тему «Інноваційні матеріали TM Master Builders Solutions для ремонту, експлуатаційного утримання та нового будівництва транспортних споруд у сфері дорожньо-транспортної інфраструктури», з якою виступив Кучеренко Станіслав, технічний директор ТОВ «Вагнер 1618», була присвячена аналізу існуючих проблем та визначенню найбільш технічно та економічно вигідних рішень для ремонту, експлуатаційного утримання та нового будівництва транспортних споруд за допомогою використання інноваційних матеріалів концерну BASF.

Заступник директора з технічних питань ТОВ «ІТУМ» Даніель Шимон у своїй доповіді висвітлив чотири системи для мостових споруд, це: гідроізоляція залізобетонних конструкцій мостів; зносостійка, фінішна і гідроізоляційна система для тротуарів на мостах; гідроізоляція металевих плит прогонових будов мостів; фінішне тонкошарове дорожнє гідроізоляційне покриття на мостах з додаванням гранітної крихти.

Про застосування сучасної європейської технології URETEK для будівництва, ремонту, реконструкції автомобільних доріг і транспортних споруд доповів виконавчий директор ТОВ «Холлі Індастріал» Смоляр Сергій Михайлович. Він розповів про реалізовані проекти в Україні за допомогою технології URETEK, яка допомагає «врятувати» будинки, будівлі, автомобільні дороги, транспортні споруди та інші об'єкти від перекосів, просідання, крену, тріщин, завдяки своїй унікальності і революційності в галузі будівництва.

Керівник департаменту маркетингу та реклами ТОВ «Центр гідроізоляції та покрівлі» Дмитрів Віталій Володимирович виступив з доповіддю на тему «Матеріали компанії MINOVA для ремонту, відновлення, укріплення мостів та шляхопроводів». Детально розповів про новітні методи ремонтів деформаційних швів та методи збільшення несної здатності опор шляхом додаткового армування та ін'єктування опор транспортних споруд та ґрунту під ними, навіть у руслі річок.

17.09.2021 За сприяння Служби автомобільних доріг у Запорізькій області була проведена оглядова екскурсія по спорудам автотранспортної магістралі через р. Дніпро в м. Запоріжжя. Екскурсію проводив її начальник — Галич Олег Анатолійович. Розпочалася екскурсія з будівельного майданчика де укрупнюють балки прогонових будов після потрапляння їх із заводу-виробника на об'єкт, а також, де збираються та укрупнюються елементи тимчасових опор, необхідні для монтажу укрупнених балок в руслі р. Дніпро. Він розповів про історію будівництва цього мегаоб'єкта та про те, на яких спорудах і які саме роботи зараз виконуються.



*Рисунок 1* — Стапель для укрупнення елементів прогонових будов



**Рисунок 2** — Вигляд на укрупнену частину прогонової будови, що чекає на відправлення для монтажу в проектне положення

Екскурсанти побачили роботу крана «Захарій», найбільшого плавучого крану України вантажопідйомністю 680 т, який на момент екскурсії виконував завантажувально-розвантажувальні роботи з укрупненими тимчасовими опорами.



**Рисунок 3** — Кран «Захарій». Стрповка тимчасової опори



*Рисунок 4* — Монтаж тимчасової опори в проєктне положення руслової частини р. Дніпро



*Рисунок 5* — Презентація об'єкта будівництва начальником Служби автомобільних доріг у Запорізькій області

На об'єкті були також присутні фахівці iC consulenten Ukraine — дочірня компанія міжнародної консалтингової та інжинірингової компанії з головним офісом у Відні. iC надає послуги у дев'яти технічних секторах, при цьому особлива увага в Україні приділяється галузі енергоефективності та відновлюваної енергетики, транспортної та дорожньої інфраструктури, зведенню будівель та споруд, охороні навколишнього середовища та іншим. Кожен зі спеціалістів технагляду компанії iC відповідає за певну кількість споруд та розповів екскурсантам в деталях цікаві етапи будівництва.



**Рисунок 6** — Спількування з фахівцем міжнародної консалтингової компанії іС, що виконує технагляд на автотранспортній магістралі через р. Дніпро в м. Запоріжжя



**Рисунок 7** — Армування залізобетонної плити сталезалізобетонної прогонової будови

По закінченні екскурсії всім учасникам було запропоновано прийняти участь у загальному фото.



**Рисунок 8** — Загальне фото учасників I Міжнародної науково-практичної конференції імені П.М. Коваля

Підбиваючи підсумок міжнародному форуму, фахівці дорожньо-будівельної галузі України разом з міжнародними колегами, напрацювали цілу низку пропозицій щодо покращення мостового господарства України (рішення конференції):

- напрацювати пропозиції щодо внесення змін до норм і нормативних документів;
- обов’язково передбачати науково-технічний супровід проєктування мостів для можливості впровадження кращих світових практик;
- забезпечити своєчасне проведення обстежень та паспортизації мостів із врахуванням вимог державних будівельних норм з подальшим внесенням інформації до бази даних АЕСУМ;
- розробити 5-ти річну програму виведення з експлуатації всіх мостів зі струнобетону (проблемні типові проєкти ВТП-15, ВТП-16, ВТП-17) шляхом їх заміни або шляхом розроблення рекомендацій/регламентів з ремонту таких споруд;
- створити спеціальну комісію експертів, що перевірятиме звіти з обстежень та паспортизації, оскільки достовірна технічна інформація — запорука ефективних управлінських рішень;
- організувати спеціалізоване навчання фахівців щодо випробувань мостів;
- встановити кваліфікаційні вимоги в Методології дорожніх закупівель на роботи з паспортизації, обстеження та випробування мостів;
- активно використовувати інформацію з Порталу інновацій в дорожній галузі для можливості врахування новітніх матеріалів та технологій;
- проєктантам враховувати архітектурну гармонію з оточуючим ландшафтом під час проєктування мостів;
- поширити практику застосування гофрованих конструкцій при будівництві транспортних споруд на автомобільних дорогах, враховуючи варіантне проєктування;
- активно сприяти розвитку ВІМ-моделюванню та системам моніторингу стану мостів, зокрема із функцією зважування у русі.

Наукове видання

## ДОРОГИ І МОСТИ

Збірник наукових праць

Випуск 24

Головний редактор Безуглий А. О.  
Відповідальний редактор Каськів В. І.  
Технічний редактор Малій Т. С.

03113, м. Київ, просп. Перемоги, 57, ДП «ДерждорНДІ»  
тел. +38 (044) 206-98-90  
імейл: roads\_bridges@dorndi.org.ua

Підписано до друку 08.10.2021  
Формат 60x84<sup>1/8</sup>. папір офсетний. Друк цифровий.  
Умовн.-друк. арк. 17,87. Фіз. друк. арк.  
Наклад 100 прим. Замовлення № 100920  
ТОВ "САК ЛТД", м. Київ  
(044) 501-94-34