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

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

ДОРОГИ І МОСТИ

Збірник наукових праць
Заснований у 2003 р.

Випуск 30

ROADS AND BRIDGES

Collection of scientific papers
Established in 2003

Issue 30

КИЇВ
KYIV

2024

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

УДК 625.7/.8

Дороги і мости : збірник наукових праць. Київ, 2024. Вип. 30. 426 с.

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

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

Головний редактор: *канд. екон. наук, доц. Безуглий А. О.*
Заступник головного редактора: *д-р техн. наук, проф. Славінська О. С.*
Відповідальний редактор: *канд. техн. наук, доц. Каськів В. І.*
Відповідальний секретар: *Гаєвська Н. М.*

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

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

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: *Шевчук О. П.*

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

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

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

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

Рекомендовано Науково-технічною радою ДП «НІРІ» (протокол від 15.10.2024 № 9).

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

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

© Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури», 2024 р.

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

UDC 625.7/.8

Roads and Bridges : collection of scientific papers. Kyiv, 2024. Issue 30. 426 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 Bieliatynskyi; D.Sc. (Eng.), D.Sc. (Econ.), Prof. Olena Bondar; D.Sc. (Eng.), Prof. Nataliia Vnukova; D.Sc. (Eng.), Prof. Ihor Gameliak; D.Sc. (Econ.), Associate Prof. Vitalii Ivanchenko; D.Sc. (Eng.), Prof. Dmytro Klets; Associate Prof. Serhii Lazarenko; D.Sc. (Eng.), Associate Prof. Tetiana Melenchuk; D.Sc. (Eng.), Prof. Artur Onishchenko; D.Sc. (Eng.), Prof. Heorhii Prokudin; D.Sc. (Eng.), Prof. Viktoriia Khrutba; D.Sc. (Econ.), Associate Prof. Volodymyr Shemayev; D.Sc. (Econ.), Sen.Research. Alla Novikova; Ph.D. (Eng.), Sen. Research. Ihor Babyak; Ph.D. (Econ.) Yuliia Bibyk; Ph.D. (Eng.), Sen. Research. Valerii Vyrozhemskyi; Ph.D. (Eng.) Serhii Holovko; Ph.D. (Eng.) Kateryna Krayushkina; Ph.D. (Eng.), Associate Prof. Vasyl Nahaichuk; Ph.D. (Econ.) Taras Pechonchyk; Ph.D (Econ.) Bohdan Stasiuk; Ph.D. (Eng.) Anatolii Tsynka; Ph.D. (Eng.), Associate Prof. Nataliia Shevchuk.*

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

Editorial Council: *Artem Bezuglyi (Chairman), Volodymyr Kaskiv (Deputy Chairman), Natalia Haievska (Secretary), Valerii Vyrozhemskyi, Vasyl Nahaichuk, Olena Slavinska.*
Technical editor: *Oksana Shevchuk.*

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

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

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

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

Recommended by the decision of the Scientific and Technical Council of SE NIDI (Minutes on October 15, 2024, No. 9).

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

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

© State enterprise «National institute for development infrastructure» (SE «NIDI»), 2024

ВІТАЛЬНЕ СЛОВО ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

Шановні колеги, науковці, читачі та автори!

З великим задоволенням представляю вам 30-й випуск збірника наукових праць «Дороги і мости». Уже понад два десятиліття, з 2003 року, наше видання є надійним джерелом для публікації результатів досліджень у галузі дорожньо-транспортної інфраструктури. Ми постійно прагнемо підтримувати високий рівень наукових публікацій та сприяти розвитку нашої галузі.

Збірник входить до Переліку наукових фахових видань України, наукові публікації в яких зараховуються за темою дисертації на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії, він атестований за наступними галузями науки:

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

— 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).

Усім публікаціям агентством CrossRef надаються цифрові ідентифікатори DOI.

Збірник включено в міжнародні бази даних: Index Copernicus International, Ulrichsweb, Google Scholar, Directory of Open Access Journals (DOAJ), Directory of Open Access Scholarly Resources (ROAD), розміщено на платформі «Наукова періодика України» в Національній бібліотеці України імені В. І. Вернадського НАН України (електронний варіант), а паперові екземпляри кожного випуску надсилаються до провідних наукових бібліотек України: національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського, національної бібліотеки імені Ярослава Мудрого, Харківської державної наукової бібліотеки імені В. Г. Короленка, Львівської національної наукової бібліотеки України імені В. Стефаника, Одеської національної наукової бібліотеки, Державної науково-технічної бібліотеки України та Книжкової палати України імені Івана Федорова.

Незважаючи на те, що наша країна вже понад два роки веде жорстоку боротьбу з підступним ворогом, ми продовжуємо працювати та розвивати наукову діяльність. Внаслідок повномасштабного вторгнення рф Україна зазнала значних руйнувань інфраструктури, особливо транспортної. Наше видання залишається важливою платформою для наукових досліджень, що допоможуть у подальшій відбудові та модернізації дорожньо-транспортної мережі.

З кожним роком наш збірник привертає все більше уваги як серед наукових кіл, так і серед професійної спільноти інженерів, проєктувальників, працівників будівельних організацій та управлінських структур. Збірник став платформою для обговорення актуальних проблем галузі, які стосуються проєктування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг і мостів, вирішення актуальних питань управління, економіки й ціноутворення в галузі, забезпечення безпеки дорожнього руху, а також впровадження новітніх матеріалів і технологій у дорожнє будівництво. Ми з гордістю представляємо результати наукових досліджень у різних напрямках, які мають вагоме значення не лише для науки, але й для практики.

Ми продовжуємо наше стратегічне завдання – розширювати коло авторів і рецензентів, підвищувати рівень цитування та популярність збірника серед наукових видань України й міжнародної наукової спільноти. Збірник наукових праць «Дороги і мости» вже зарекомендував себе як надійне видання для обміну досвідом і результатами досліджень, і ми впевнені, що він продовжить відігравати важливу роль у науковій і професійній спільноті.

Незважаючи на всі труднощі, які стоять перед нашою країною, ми впевнені, що спільними зусиллями зможемо відбудувати й модернізувати дорожньо-транспортну інфраструктуру України, зробивши її більш ефективною та сучасною. Щиро дякую авторам, рецензентам і всім, хто протягом цих років долучався до випуску Збірника. Бажаю вам натхнення, нових досягнень і плідної співпраці на благо науки та країни.

З повагою,

Головний редактор Артем БЕЗУГЛИЙ

NIDI

ЗМІСТ

ЕКОНОМІКА. МЕНЕДЖМЕНТ

Безуглий А. О., Стасюк Б. О., Печончик Т. І., Мудриченко Н. С., Дуля М. В.
Концептуальні засади визначення ефективності виконання завдань і заходів державних цільових програм розвитку для підвищення ефективності управління автомобільними дорогами 13

Безуглий А. О., Бібик Ю. М., Гресько І. Л.
Концептуальні засади визначення вартості проєктних робіт на дорожні роботи та послуги в контексті міжнародного досвіду 25

Безуглий А. О., Цинка А. О., Ілляш С. І., Маковська Ю. А., Стасюк Т. О., Парасюк Л. В.
Методичні підходи до визначення вартості послугз утримання пунктів пропуску через державний кордон для автомобільного сполучення 40

Бондар О. А., Тесленко П. П., Чирва Т. Л., Крикун А. П.
Цифровий інструментарій bim-менеджменту 48

Andrii Ivko
Models and methods of the technological maturity developmentof self-managed organizations in the context of using the syncretic methodology / Моделі і методи розвитку технологічної зрілості самокерованих організацій в контексті використання синкретичної методології 59

Комар В. Ю.
Аналіз міжнародного досвіду при впровадженні контрактів «Design-Build» та «Design-Build-Operate» 70

Zsolt Bencze, Ph.D., László Gáspár
Lifetime engineering principles in highway asset management / Принципи життєвого циклу в управлінні активами автомобільних доріг 83

Соколова Н. М., Конча П. А.
Моделювання сценаріїв розвитку підприємств дорожньої галузі на основі аналізу їхнього потенціалу 96

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

Цинка А. О., Зеленовський В. А., Райковський В. Ф., Гамеляк І. П., Рибальченко С. А.
Перспективи застосування жорсткого дорожнього одягу під час будування автомобільних доріг та удосконалення підходів до його конструювання і розрахування 105

Ілляш С. І., Стасюк Т. О.
Огляд методичних підходів до планування робіт з експлуатаційного утримування автомобільних доріг 114

Гамеляк І. П., Райковський В. Ф.
Комплексне оцінювання стану дорожнього покриву 122

Ali Saleh, László Gáspár
Machine learning modelling the rut depth of WMA mixtures with variable reclaimed asphalt pavement (RAP) and foamed bitumen content / Моделювання глибини колійності теплих асфальтобетонних сумішей (WMA) з використанням змінного вмісту рециклювання асфальтобетонного покриття (RAP) і спіненного бітуму 138

Ali Saleh, László Gáspár
Modelling indirect tensile strength of WARM mix asphalt with variable reclaimed asphalt pavement (RAP) content / Моделювання непрямої міцності на розтяг теплих асфальтобетонних сумішей зі змінним вмістом регенерованого асфальтобетонного покриття (RAP) 157

Копинець І. В., Соколова О. Б., Юнак А. Л.
Удосконалення методу визначення коефіцієнта ущільнення асфальтобетонної суміші 174

Соколов О. В.
Порівняння ущільнюваності асфальтобетонної суміші із золою-винесення
та вапняковим наповнювачем 182

Соколов О. В.
Дослідження впливу різних наповнювачів на атмосферостійкість асфальтобетонів 188

Пиріг Я. І., Оксак С. В., Ільїн Я. В., Місніченко С. О.
Огляд методу визначення пластичності литої асфальтобетонної суміші,
який базується на встановлені глибини занурювання випробувального стрижня 203

Терещенко Т. А.
Прогнозування температур за товщиною шарів асфальтобетону і моделювання температурно-
залежних параметрів у цілях проєктування нежорсткого дорожнього одягу 214

Кривобок О. В., Биковець М. М.
Дослідження кольматувальної добавки та преспективи її застосування
в дорожніх цементобетонах 228

Каськів В. І., Скрипник А. Л., Вирожемський В. К., Ячник М. В., Зеленовський В. А.
Проблемні питання забезпечення якості дорожньо-будівельних матеріалів та виробів
в контексті особливостей їх сертифікації в Україні відповідно до ДСТУ EN ISO/IEC 17065:2019
та закону України «Про надання будівельної продукції на ринку» 244

ГЕОДЕЗІЯ

Каськів В. І., Касай К. І.
Аналіз підходів до оцінювання просочування вологи опадів у ґрунт узбіччя
автомобільних доріг 253

Гуков М. І., Дуля М. В.
До проблеми визначення пройденого шляху для розрахування плати за проїзд
автомобільними дорогами 264

ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Каськів В. І., Редченко В. П., Завгородній С. С.
Впровадження автоматизованих систем моніторингу мостових споруд в Україні:
Світовий досвід та національні перспективи 273

Славінська О. С., Рутковська І. А., Усиченко О. Ю., Зеленський Б. М.
Метод оцінювання фізичного та функціонального зносу при визначенні якісного стану
автородорожніх мостів 283

Онищенко А. М., Аніщенко Д. В., Гусев Д. Ю., Цеханський О. Е.
Підвищення колієстійкості та довговічності асфальтобетонних покривів
на автомобільних дорогах і автодорожніх мостах з допомогою застосування армуючих
синтетичних матеріалів ADFORS GLASGRID 298

Вишнівський Б. О.
Проєктування цементобетонного покриття на залізобетонній плиті мостового полотна
автодорожніх мостів 311

Гаркуша М. В.
Рекомендації з відновлення водопропускальних труб із застосуванням металевих
гофрованих конструкцій 321

Абрамов В. М.
Про тимчасове навантаження на аркові споруди з гофрованого металу під дорожнім насипом.....338

Абрамов В. М.
Розрахунок несної здатності аркової дорожньої споруди
з гофрованого металу аналітичним способом 345

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Беленчук О. В., Попович Н. І., Кононенко А. О.
Ефективність застосування світлофорів та їхня роль у забезпеченні безпеки дорожнього руху.....353

Єфименко Р. В., Пина О. Г., Беленчук О. В.
Основні принципи обстеження та призначення заходів з покращення безпеки
дорожнього руху в місцях / на ділянках концентрації дорожньо-транспортних пригод
на автомобільних дорогах 360

Нагребельна Л. П., Кострульова Т. Є., Шпінь Д. М., Корчевська А. А.
Аналіз технічних вимог і методів випробування матеріалів для дорожньої розмітки,
як підґрунтя для нових стандартів.....370

Осипов В. О.
Дослідження швидкості зорових орієнтовно-пошукових рухів водія на прикладі
світлоповертальних елементів дорожньої огорожі першої групи в населених пунктах 380

Тарасюк В. П., Беспалов Д. О., Терещук В. П., Король М. С.
Обгрунтування доцільності влаштування саморегульованих кільцевих розв'язок
на вулично-дорожній мережі міста.....389

Терещенко Т. А.
Системи перерозподілення транспортних потоків транспортні розв'язки.
Застосовувані терміни.....398

ТЕХНОЛОГІЯ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Кірпіч О. В.
Зимове утримання, боротьба із снігоприносами, зимовою слизькістю, використання
протиожеледних матеріалів та їхній вплив на навколишнє середовище.....407

Харитонова Н. М., Ярощук О. С.
Альтернативні протиожеледні матеріали для боротьби з утворенням та ліквідації
зимової слизькості на автомобільних дорогах 416

CONTENTS

ECONOMY. MANAGEMENT

Artem Bezuglyi, Bohdan Stasiuk, Taras Pechonchyk, Natalia Mudrychenko, Mykhailo Dulia
Conceptual framework for determining the effectiveness of tasks and measures implementation in state targeted development programs to improve road management efficiency 13

Artem Bezuglyi, Yuliya Bibyk, Ihor Hresko
Conceptual principles for determining the cost of project works for road works and services in the context of international experience 25

Artem Bezuglyi, Anatolii Tsynka, Sergii Illyash, Yulia Makovska, Tetiana Stasiuk, Liudmyla Parasiuk
Methodological approaches to determining the cost of maintaining border crossing points for road transport 40

Olena Bondar, Pavlo Teslenko, Tetyana Chyrva, Andrii Krykun
Digital instruments of bim management 48

Andrii Ivko
Models and methods of the technological maturity developmentof self-managed organizations in the context of using the syncretic methodology 59

Viktor Komar
Analysis of international experience in implementing “Design-Build” and “Design-Build-Operate” contracts 70

Zsolt Bencze, László Gáspár
Lifetime engineering principles in highway asset management 83

Nanalia Sokolova, Pavlo Koncha
Modeling scenarios for the development of road industry enterprises based on the analysis of their potential 96

CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING

Anatolii Tsynka, Volodymyr Zelenovsky, Vitaliy Raykovskiy, Ihor Gamelyak, Sergii Rybalchenko
Prospects for the use of rigid pavement in road construction and improvement of approaches to its design and calculation 105

Sergii Illiash, Tetiana Stasiuk
Review of methodological approaches to planning maintenance work for road network operations 114

Igor Gameliak, Vitaliy Raykovskiy
Complex coefficient for assessing the condition of the road surface 122

Ali Saleh, László Gáspár
Machine learning modelling the rut depth of WMA mixtures with variable reclaimed asphalt pavement (RAP) and foamed bitumen content 138

Ali Saleh, László Gáspár
Modelling indirect tensile strength of WARM mix asphalt with variable reclaimed asphalt pavement (RAP) content 157

Ivan Kopynets, Oksana Sokolova, Alina Yunak
Improvement of the method for determining the compaction coefficient of asphalt concrete mixture 174

Oleksii Sokolov
Comparison of asphalt concrete mixtures with fly ash and limestone aggregate 182

Oleksii Sokolov
Research on the impact of various fillers on the weather resistance of asphalt concrete 188

Yan Pyrig, Serhii Oksak, Iaroslav Iliyn, Serhii Misnichenko
Review of the method for determining the fluidity of the mastic mixture based on the established immersion depth of the test rod 203

Tatyana Tereshchenko
Prediction of temperatures within the depth of asphalt concrete layers and the modeling of temperature-dependent parameters for flexible road pavements design purposes 214

Oleksandr Kryvobok, Mykola Bykovets
Research on a colmatant additive and its application prospects in road cement concrete 228

Volodymyr Kaskiv, Andrii Skrypnyk, Valerii Vyrozhemskyi, Mariia Yachnyk, Vladimir Zelenovsky
Problematic issues of ensuring the quality of road construction materials and products in the context of their certification in Ukraine according to DSTU EN ISO/IEC 17065:2019 and the law of Ukraine "On the provision of construction products on the market" 244

GEODESY AND LAND MANAGEMENT

Volodymyr Kaskiv, Kostiantyn Kasai
Analysis of approaches to assessing rainwater infiltration into roadside soils 253

Mukola Hukov, Mykhailo Dulia
On the issue of determining the distance traveled for calculating road tolls 264

\HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION, WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGY

Volodymyr Kaskiv, Vasyl Redchenko, Zavhorodnii Serhii
Implementation of automated monitoring systems for bridge structures in ukraine: World experience and national perspectives 273

Olena Slavinska, Inessa Rutkovska, Olena Usychenko, Bohdan Zelenskyi
Method of physical and functional wear assessment in determining the quality condition of road bridges 283

Artur Onyshchenko, Dmitry Anishchenko, Dmytro Husev, Oleg Tsekhansky
Ncreasing of resistance and durability of asphalt concrete pavements on highways and highway bridges using reinforcing synthetic materials adfors glasgrid 298

Bolislav Vyshnivskyi
Design of cement concrete coating on reinforced concrete slab of roadway parts of bridges 311

Mykola Harkusha
Recommendations for restoration of culvert using metal corrugated structures 321

Volodymyr Abramov
About the temporary load on arched structures made of corrugated metal under a road embankment 338

Volodymyr Abramov
Calculation of the load capacity of an arched road structure fromcorrugated metal by analytical method 345

TRANSPORT TECHNOLOGY

Olga Belenchuk, Nataliya Popovych, Alla Kononenko
Effectiveness of traffic lights and their role in ensuring road safety 353

Roman Yefymenko, Oleksandr Pyna, Olga Belenchuk
Basic principles of investigation and appointment of measures to improve road safety in places / areas of concentration of traffic accidents on motor roads 360

Liudmyla Nahrebelna, Tetyana Kostrulyova, Denis Shpin, Alina Korchevskaya
Use of regulatory documents regarding materials for horizontal road markings 370

Valentyn Osypov
Research of the speed of visual orientation and search movements of the driver using the example of light reflecting elements of the road restraint system of the first group in popular points 380

Volodymyr Tarasiuk, Dmytro Bespalov, Vitalii Tereshchuk, Mykhailo Korol
Justification of implementing self-regulating roundabouts on the urban road network of the city 389

Tatyana Tereshchenko
Interchange systems. interchanges. Used terminology 398

ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES

Oleksandr Kirpich
Winter maintenance, snow removal, winter slipperiness, use of de-icing materials and their environmental impact 407

Nataliia Kharytonova, Olesia Yaroshchuk
Alternative de-icing materials for prevention and elimination of winter slipperiness conditions on roads..... 416

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.013

УДК 338.5:625.7/.8

Безуглий А. О., *канд. екон. наук, доц.*, *https://orcid.org/0000-0003-3883-7968*
Стасюк Б. О., *д-р філос. з екон.*, *https://orcid.org/0000-0003-2504-6577*
Печончик Т. І., *канд. екон. наук*, *https://orcid.org/0000-0003-3093-6822*
Мудриченко Н. С., *https://orcid.org/0000-0002-9423-5518*
Дуля М. В., *https://orcid.org/0000-0002-1916-8642*

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

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ І ЗАХОДІВ ДЕРЖАВНИХ ЦІЛЬОВИХ ПРОГРАМ РОЗВИТКУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ АВТОМОБІЛЬНИМИ ДОРОГАМИ

Анотація

Вступ. Ефективне функціонування автомобільного транспорту можливе лише за умови, коли кількісний розвиток, якісний рівень і технічний стан автомобільних доріг відповідають вимогам автомобільного транспорту. Це поєднання характеристик дорожньої мережі є досяжним виключно за наявності достатнього фінансування для реалізації всіх запланованих робіт. Інвестиції в дорожню інфраструктуру можуть стати каталізатором економічного відновлення та зростання, оскільки покращать логістичні можливості, зменшать витрати на перевезення вантажів і пасажирів, а також підвищать конкурентоспроможність регіонів.

Проблематика. Дорожнє господарство за перші десятиліття незалежності стикнулося із хронічним недофінансуванням, що негативно вплинуло на його розвиток. Ситуація ще погіршилась з початком повномасштабної збройної агресії рф у 2024 році. Так відповідно до Звіту Світового банку «Швидка оцінка збитків та потреб (RDNA3)» [1], потреби у повоєнному відновленні лише для автомобільних доріг загального користування та мостів на них становлять близько 28,8 млрд дол. США. Для можливості якісного та стрімкого відновлення та розвитку України це питання є критично важливим, адже від стану автомобільних доріг залежать витрати на перевезення вантажів і пасажирів, рівень цін, певною мірою зайнятість населення та темпи розвитку економіки держави загалом, а з повномасштабним збройним вторгненням російської федерації — постають питання забезпечення надійності логістичних маршрутів, оперативності перевезення гуманітарних вантажів та обороноздатності країни.

Мета. Метою дослідження є визначення основних засад соціально-економічного оцінювання програмних документів державного рівня для підвищення ефективності управління автомобільними дорогами.

Матеріали та методи. У статті використовується системний (комплексний) підхід, який представляє собою сукупність загальнонаукових методологічних принципів (вимог), в основі яких лежить розгляд об'єктів як систем. Пріоритетом здійснення цього процесу є забезпечення належного рівня об'єктивності даних, своєчасність та актуальність опрацьованої інформації.

Крім цього, у статті використовуються методи комплексного і системного аналізу, абстрактно-логічний, графічний, статистичний, розрахунково-конструктивний, порівняльний аналізи та метод експертних оцінок.

Результати. Отримано математичний розрахунок оцінки ефективності виконання Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2023 роки.

Висновки. Загалом, оцінювання ефективності програм розвитку автомобільних доріг включає аналіз транспортно-експлуатаційного стану, соціально-економічної та екологічної ефективності. Результати оцінювання дозволяють визначити «вузькі» місця стратегічних документів розвитку галузі та уникнути проблем в майбутньому плануванні, а також це допомагає приймати обґрунтовані рішення для покращення дорожньої інфраструктури. В основі пріоритезації дорожніх проєктів має бути стратегічне планування, що дозволяє оцінити потреби та напрями розвитку дорожньої мережі за допомогою ряду транспортно-експлуатаційних даних і системно підійти до прийняття рішення щодо фінансового забезпечення заходів із дорожніх робіт. Крім цього, перелік об'єктів дорожніх робіт і послуг на автомобільних дорогах загального користування в Україні має складатись на підставі інструментально визначених і верифікованих даних з урахуванням положень нормативно-правових актів, короткострокових і довгострокових державних цільових економічних програм розвитку автомобільних доріг, а під час дії воєнного стану — Генерального Штабу Збройних Сил України.

Ключові слова: автомобільна дорога, дорожні роботи, ефективність, оцінка, програма розвитку, соціально-економічний ефект, управління автомобільними дорогами, фінансування.

Вступ

Ефективне функціонування автомобільного транспорту можливе лише за умови, коли кількісний розвиток, якісний рівень і технічний стан автомобільних доріг відповідають вимогам автомобільного транспорту. Це поєднання характеристик дорожньої мережі є досяжним виключно за наявності достатнього фінансування для реалізації всіх запланованих робіт. На жаль, дорожнє господарство за перші десятиліття незалежності стикнулося із хронічним недофінансуванням, що негативно вплинуло на його розвиток Від стану автомобільних доріг залежать витрати на перевезення вантажів і пасажирів, рівень цін, певною мірою зайнятість населення та темпи відновлення та розвитку економіки держави загалом. Зайнятість населення України, рівень доходу, міра задоволення особистих потреб значної частини працездатного населення України залежить значним чином від рівня розвитку транспортного сполучення, наявності та стану доріг. У свою чергу, стан автомобільних доріг і темпи розвитку дорожньої галузі визначаються економічними можливостями та рівнем фінансування.

Додатково, в умовах стрімкого зростання рівня автомобілізації суспільства та переорієнтації транспортних потоків на автомобільні дороги у зв'язку зі збройною агресією рф, блокуванням морських портів і відсутністю авіасполучення, виникає нагальна потреба в масштабних інвестиціях у дорожню інфраструктуру. Це не лише дозволить поліпшити транспортно-експлуатаційні характеристики автомобільних доріг та інших об'єктів транспортної інфраструктури, але й забезпечить їх відповідність сучасним стандартам безпеки та екологічності.

Необхідно враховувати, що інвестиції в дорожню інфраструктуру можуть стати каталізатором економічного зростання, оскільки покращать логістичні можливості, зменшать витрати на перевезення вантажів і пасажирів, а також підвищать конкурентоспроможність регіонів. Тому важливо знайти ефективні механізми фінансування та залучення інвестицій для забезпечення сталого розвитку дорожнього господарства, що, у свою чергу, сприятиме загальному прогресу суспільства.

Основна частина

У 2013 році було розроблено та, постановою Кабінету Міністрів України від 11.07.2013 № 696, затверджено Державну цільову економічну програму розвитку автомобільних доріг загального користування на 2013-2018 роки, яку було виконано не в повному обсязі через недофінансування. У ці роки, загалом, не відбувались роботи з великомасштабного будівництва автомобільних доріг, обсяги робіт з поточного середнього ремонту в десятки разів були меншими від нормативних, ямковість ліквідовували несвоєчасно та не на всіх ділянках автомобільних доріг. Як наслідок, стан автомобільних доріг погіршився до катастрофічного. Проблема недостатнього фінансування

посилювалася ще і тим, що у 2015-2016 роках були скасовані цільові джерела фінансування дорожньої галузі, а заплановані в загальному фонді державного бюджету витрати на розвиток автомобільних доріг, як правило, недофінансовувалися Казначейством.

У 2016-2017 роках за рахунок збільшення фінансування значно активізувалися ремонтно-будівельні роботи на автомобільних дорогах загального користування, проте перелік об'єктів ремонтів формувався не на підставі програмного документа державного рівня, а окремими розпорядженнями Кабінету Міністрів України, які могли залежати від окремого суб'єктивного втручання.

Із запровадженням з 01 січня 2018 року державного дорожнього фонду у складі спеціального фонду державного бюджету, планувалось виконати основну частину робіт з відновлення і розвитку мережі доріг саме за кошти спеціального фонду державного бюджету. Так, виникла нагальна необхідність у формуванні чітких стратегічних напрямів відновлення і розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення з урахуванням маршрутного принципу та соціально-економічних пріоритетів розвитку регіонів і держави в цілому [2].

21 березня 2018 року постановою Кабінету Міністрів України № 382 була затверджена Державна цільова економічна програма розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2023 роки (далі — Програма 2018-2023), метою якої було відновлення та розвиток автомобільних доріг загального користування державного значення для інтеграції їх до європейської транспортної системи та підвищення рівня безпеки дорожнього руху, швидкості, комфортності та економічності перевезень.

Оптимальний варіант, обраний для реалізації Програми 2018-2023 передбачав довгострокове планування та фінансування чітко визначених завдань і заходів щодо відновлення та розвитку мережі автомобільних доріг загального користування державного значення і мостів (зокрема зруйнованих внаслідок військових дій на Сході України) за кошти не лише державного бюджету, а і за рахунок коштів міжнародних фінансових організацій та коштів інвесторів (концесія). При цьому планувалось здійснювати в основному фінансування робіт з нового будівництва та реконструкції автомобільних доріг за рахунок коштів міжнародних фінансових організацій та інвесторів, а ремонт та експлуатаційне утримання — за кошти державного бюджету, міжнародних фінансових організацій та інших джерел, не заборонених законодавством. Також під час реалізації Програми 2018-2023 планувалось виконувати роботи за маршрутним принципом з відповідною дорожньою інфраструктурою із застосуванням сучасних будівельних норм і стандартів, в яких враховується європейська практика та принципи.

Ці принципи і були реалізовані, зокрема виконувались заходи з покращення транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг загального користування державного значення за напрямами міжнародних і національних транспортних коридорів, на підходах до великих міст, дорогах із високою інтенсивністю руху та під'їзних дорогах до атомних електростанцій, теплоелектроцентралей, аеро- та морських портів, військових баз, елеваторів, залізничних станцій, районних, обласних центрів, територій та об'єктів природно-заповідного фонду загальнодержавного значення. За рахунок експлуатаційного утримання на автомобільних дорогах державного значення з 2018 року по 2023 рік ліквідовано понад 30 млн квадратних метрів аварійних деформацій дорожнього покриву.

У рамках Програми 2018-2023 протягом 2018-2023 років було побудовано та реконструйовано — 317 км доріг, відремонтовано — 8 855 км доріг. Роботи виконували згідно із сучасними державними будівельними нормами та національними нормативними документами (зокрема, гармонізованими з європейськими).

Забезпечено фізичний доступ операторів телекомунікацій до об'єктів транспортної інфраструктури для прокладення телекомунікаційних мереж і створення інших типів спеціалізованої цифрової інфраструктури. Відповідно до Програми 2018-2023 забезпечено гарантійний строк

експлуатації збудованих, реконструйованих і капітально відремонтованих автомобільних доріг загального користування державного значення не менше ніж 10 років.

Згідно з Програмою 2018-2023 дорожня галузь мала декілька джерел фінансування **(табл. 1)**.

Таблиця 1

Обсяги та джерела фінансування дорожньої галузі

Джерела фінансування	Обсяг фінансування, млн грн	у тому числі за роками					
		2018	2019	2020	2021	2022	2023
Державний бюджет (загальний та спеціальний фонди)	308 972,49	25 987,24	34 854,03	68 692,30	98 749,81	24 558,34	56 130,77
Кредитні кошти	53 695,77	422,21	74,48	22 824,42	30 374,66	0,00	0,00
Кошти міжнародних фінансових організацій	23 402,58	3 722,27	4 258,47	5 713,12	5 972,52	2 259,12	1 477,08
Усього	386 070,84	30 131,72	39 186,98	97 229,84	135 096,99	26 817,46	57 607,85

Примітка. Складено за даними Програми 2018-2023 [4].

Структура фінансування Програми 2018-2023 зображена на **рис. 1.**

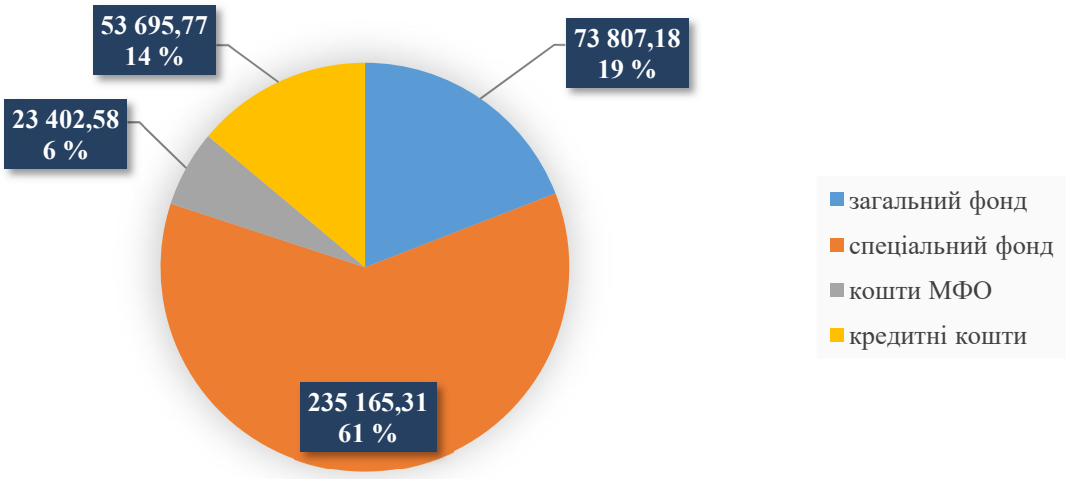
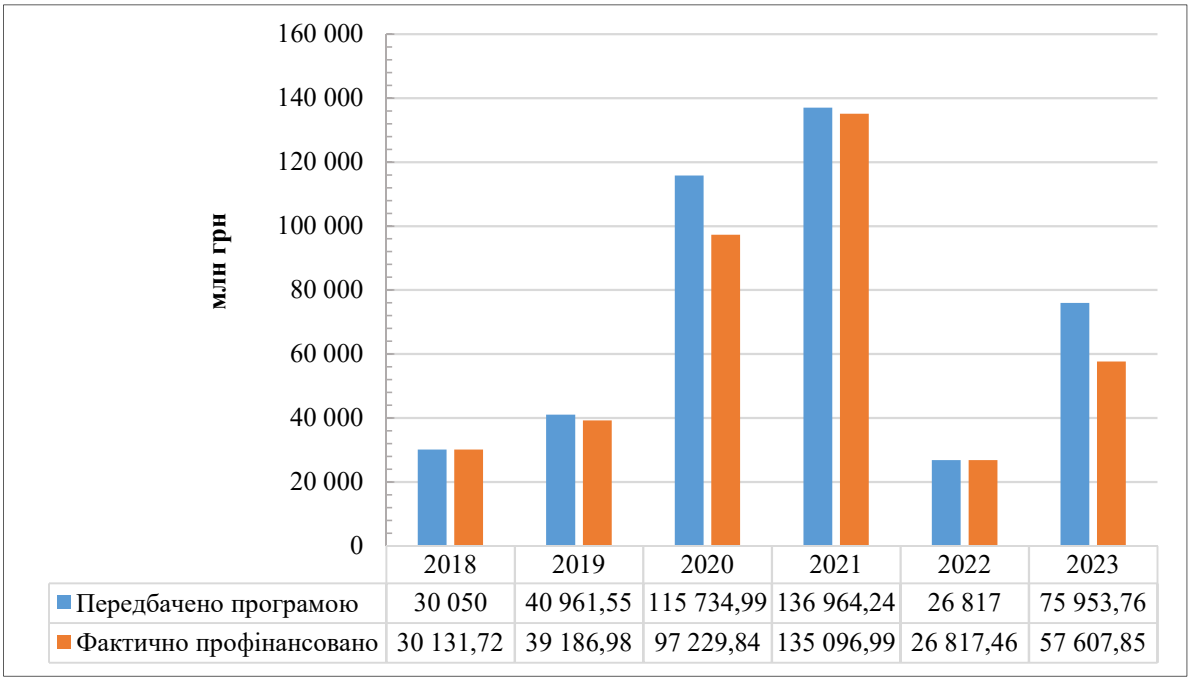


Рисунок 1 — Структура фінансування Програми 2018-2023 [4]

У структурі фінансування Програми 2018-2023 переважає спеціальний фонд державного бюджету — 61 % (235 165,307 млн грн), загальний фонд — 19 % (73 807,18 млн грн), кредитні кошти — 14 % (53 695,77 млн грн), кошти МФО — 6 % (23 402,58 млн грн). Кошти приватних інвесторів і місцевих бюджетів не залучались та не використовувались.

Динаміку фінансування Програми 2018-2023 у розрізі років зображено на **рис. 2**.



	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Передбачено програмою	30 050	40 961,55	115 734,99	136 964,24	26 817	75 953,76
Фактично профінансовано	30 131,72	39 186,98	97 229,84	135 096,99	26 817,46	57 607,85

Рисунок 2 — Фінансування Програми 2018-2023 за роками

У цілому, за обсягами витрат, передбаченими Програмою 2018-2023 у розмірі 426 482,03 млн грн, заходи Програми 2018-2023 фактично профінансовано на 386 070,84 млн грн або на 91 %. Це свідчить про достатньо високий рівень фінансування Програми 2018-2023.

Порівняння планових і фактичних обсягів фінансування розвитку та експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування державного значення за 2018-2023 роки наведено у **табл. 2**.

Таблиця 2

Обсяги фінансування на розвиток та утримання автомобільних доріг загального користування відповідно до Програми 2018-2023

Вид робіт	Обсяг робіт з усіх джерел				Рівень виконання	
	Передбачено Програмою 2018-2023		Фактично виконано за 2018-2023 роки		Фінансування	Протяжності вводу в експлуатацію
	млн грн	км	млн грн	км		
Нове будівництво та реконструкція	68 072,76	317,50	57 335,83	317,584	84 %	100 %
Капітальний ремонт	80 112,33	1 234,10	56 762,83	1 371,039	71 %	111 %
Поточний середній ремонт	157 185,49	8 326,45	154 263,58	7 484,196	98 %	90 %
Експлуатаційне утримання	45 813,97	41 561,00*	47 014,77	46 359,500*	103 %	112 %

* Площа покриву автомобільних доріг, на яких ліквідовано пошкодження, руйнування та деформації, влаштовано шари зносу дорожнього покриття, 1 000 м^2

Порівняння планових і фактичних обсягів фінансування інших заходів Програми 2018-2023 наведено у **табл. 3**.

Таблиця 3

Обсяги фінансування на інші заходи і завдання відповідно до Програми 2018-2023

Заходи і завдання	Обсяг заходів і завдань з усіх джерел		Рівень виконання фінансування
	Передбачено Програмою 2018-2023	Фактично виконано за 2018-2023 роки	
	млн грн	млн грн	%
Розроблення проєктної документації на об'єкти нового будівництва, реконструкції, капітального та поточного середнього ремонту автомобільних доріг загального користування державного значення	2 510,49	2 241,06	89,27
Забезпечення інноваційного розвитку дорожнього господарства	208,26	197,26	94,72
Здійснення моніторингу за станом автомобільних доріг та якістю дорожніх робіт	206,91	206,86	99,97
Створення та функціонування інформаційно-аналітичної системи дорожнього господарства	432,11	468,87	108,51
Співфінансування міжнародних заходів	4 522,39	3 754,52	83,02
Утримання ДП «Лікувально-реабілітаційного центру для учасників ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС ім. В. Т. Гуца»	154,88	139,36	89,98
Погашення зобов'язань за кредитами	66 997,44	63 375,93	94,59
Розвиток виробничих потужностей дорожніх організацій	310	309,96	99,99

Для загального оцінювання ефективності заходів Програми 2018-2023, розглянемо також відсоток виконання окремих видів робіт Програми 2018-2023 за роками (**табл. 4**).

Таблиця 4

Рівень фінансування завдань і заходів на розвиток та утримання автомобільних доріг загального користування відповідно до Програми 2018-2023 за роками, %

Заходи і завдання	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Нове будівництво та реконструкція	100	103	73	99	100	73
Капітальний ремонт	100	80	58	99	100	44
Поточний середній ремонт	100	97	96	99	100	98
Експлуатаційне утримання	101	108	101	100	100	105
Розроблення проєктної документації на об'єкти нового будівництва, реконструкції, капітального та поточного середнього ремонту автомобільних доріг загального користування державного значення	100	65	97	95	100	77
Забезпечення інноваційного розвитку дорожнього господарства	100	100	100	100	100	80
Здійснення моніторингу за станом автомобільних доріг та якістю дорожніх робіт	100	100	100	100	100	–

Кінець таблиці 4

Заходи і завдання	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Створення та функціонування інформаційно-аналітичної системи дорожнього господарства	–	172,65	78	107	100	100
Співфінансування міжнародних заходів	100	93	56	74	100	86
Утримання ДП «Лікувально-реабілітаційного центру для учасників ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС ім. В. Т. Гуца»	100	100	99	100	100	59
Погашення зобов'язань за кредитами	100	91	96	95	100	90
Розвиток виробничих потужностей дорожніх організацій	100	80	118,51	–	–	–

Аналіз фактичного виконання Програми 2018-2023 здійснено на основі положень Методики оцінки ефективності реалізації державних цільових програм розвитку автомобільних доріг загального користування (далі — Методика) [6].

Показники ефективності виконання програмних заходів враховують під час прийняття управлінських рішень щодо уточнення завдань і заходів Програми розвитку 2018-2023 в процесі її виконання, визначення їхньої пріоритетності під час формування переліків Програми 2018-2023, які планувалось виконувати у відповідному році з використанням коштів державного бюджету.

Визначення системи показників ефективності виконання базується на принципах забезпечення методичної єдності оцінки бюджетних і державних цільових програм, досягнення їхнього співставлення за умов реалізації можливостей агрегування цих показників при переході від програм одного рівня до іншого.

Визначення результативності виконання Програми 2018-2023 у цілому та за етапами ґрунтується на використанні системи показників (індикаторів), які обчислюють як співвідношення фактичних і планових показників виконання програмних завдань і забезпечують, на основі врахування відхилень цих показників, прийняття рішень внаслідок оцінювання ступеня досягнення встановлених програмних цілей і запланованої ефективності витрат коштів. Порівняння фактичних показників Програми 2018-2023 із плановими (затверджених програмою) здійснюють шляхом:

— оцінювання витрат з державного бюджету та інших джерел на реалізацію програмних заходів (показників витрат);

— оцінювання ступеня досягнення проміжних і кінцевих цілей реалізації Програми 2018-2023 з використанням показників обсягу виробленої продукції або виконаних робіт і наданих послуг внаслідок виконання програмних заходів (показників продукту);

— визначення ступеня досягнення параметрів якості виробленої продукції або виконаних робіт і наданих послуг (показників якості);

— оцінювання ефективності затрат ресурсів, які були використані для виконання програмних завдань (показників ефективності);

— оцінювання рівня залучення коштів із бюджетних і позабюджетних джерел та їхнє співвідношення (індикаторів співфінансування).

Ураховуючи наведене вище, для оцінювання ефективності та результативності виконання Програми 2018-2023 доцільно застосувати інтегрований показник фінансування програмних заходів.

Інтегрований показник фінансування програмних заходів обчислюють із метою отримання оцінки фактичного рівня фінансування Програми 2018-2023 за рахунок різних джерел упродовж усього періоду її реалізації, а також для проведення порівняльного аналізу фінансового забезпечення різних заходів, що були виконані за рахунок коштів бюджету або інших джерел.

Інтегрований показник фінансування заходів Програми 2018-2023 за t-й рік (K^t) або за період з початку її реалізації ($\overline{K}^l$, включаючи l-й рік) визначають як середньозважену величину індикаторів

фактичного рівня фінансування за рахунок коштів державного бюджету або інших джерел (місцевих бюджетів і позабюджетних коштів), обчислених окремо для кожного року за умов, коли сума вагових значень показників фактичного рівня фінансування з різних джерел впродовж періоду реалізації дорівнює одиниці, а вага індикатора фінансування з інших джерел перевищує відповідний коефіцієнт бюджетних коштів, а саме:

а) за річний період за формулою:

$$K^t = h \cdot \frac{C^t_{ф}}{C^t_{пл}} + q \cdot \frac{V^t_{ф}}{V^t_{пл}}, \quad (1)$$

$$q > h, \text{ для } t = 1, \ldots, l, n, h + q = 1,$$

б) за період у цілому, включаючи l-й рік за формулою:

$$\overline{K}^l = \frac{1}{l} \cdot \left[h \cdot \sum_{t=1}^{l} \frac{C^t_{ф}}{C^t_{пл}} + q \cdot \sum_{t=1}^{l} \frac{V^t_{ф}}{V^t_{пл}} \right], \quad (2)$$

$$q > h, \text{ для } l = 2, \ldots, n; \frac{h+q}{l} = 1,$$

де $C^t_{ф}, C^t_{пл}$ — відповідно фактичні та планові обсяги фінансування програми за рахунок коштів державного бюджету у t-му році виконання;

$V^t_{ф}, V^t_{пл}$ — відповідно фактичні та планові обсяги фінансування за рахунок інших джерел (місцевих бюджетів та позабюджетних коштів) у t-му році;

n — кількість років періоду реалізації.

Показник результативності Програми 2018-2023 визначає узагальнюючу оцінку результативності бюджетних витрат, спрямованих на виконання програмних заходів з метою досягнення встановлених кінцевих цілей упродовж періоду, що передує t-му року або за окремий рік. Цей показник обчислюють:

а) за річний період за формулою:

$$R^t = K^t \cdot \left(\frac{1}{P} \sum_{p=1}^{P} \frac{Z^t_{ф(p)}}{Z^t_{пл(p)}} \right) \cdot \left(\frac{1}{M} \sum_{m=1}^{M} \frac{E^t_{ф(m)}}{E^t_{пл(m)}} \right) \cdot \left(\frac{1}{G} \sum_{g=1}^{G} \frac{Q^t_{ф(g)}}{Q^t_{пл(g)}} \right), \quad (3)$$

$$\text{для } t = 1, \ldots, l, n,$$

де R^t — інтегрований показник, який характеризує результативність виконання у t-му році.

б) за період реалізації, включаючи l-й рік за формулою:

$$\overline{R}^l = \frac{\overline{K}^l}{l} \left(\frac{1}{P} \sum_{t=1}^{l} \sum_{p=1}^{P} \frac{Z^t_{ф(p)}}{Z^t_{пл(p)}} \right) \left(\frac{1}{M} \sum_{t=1}^{l} \sum_{m=1}^{M} \frac{E^t_{ф(m)}}{E^t_{пл(m)}} \right) \left(\frac{1}{G} \sum_{t=1}^{l} \sum_{g=1}^{G} \frac{Q^t_{ф(g)}}{Q^t_{пл(g)}} \right), \quad (4)$$

$$\text{для } l = 2, \ldots, n,$$

де $\bar{R}^l$ — інтегрований показник, який характеризує узагальнену результативність за роки реалізації, що передують l-му році (включаючи l-й рік);

$Z^t_{ф(p)}$, $Z^t_{пл(p)}$ — відповідно фактичні та планові обсяги виконаних робіт або виробленої продукції, наданих послуг (показники продукту), що характеризують результат виконання в t-му році за p-ю позицією задіяних складових продукту ($p = 1, \ldots, P$);

$E^t_{ф(m)}$, $E^t_{пл(m)}$ — відповідно фактичні та планові показники економічної ефективності, які характеризують створення економічного ефекту відношенням отриманих результатів (показників

продукту) до витрат бюджетних та інших коштів (які зумовили створення цього продукту) за *m*-ми позиціями формування економічного ефекту в *t*-му році;

$Q^t{}_{пл(g)}$, $Q^t{}_{ф(g)}$ — відповідно планові та фактичні показники, які характеризують кількісні параметри якості виконаних робіт, виробленої продукції (або наданих послуг) за результатами виконання в *t*-му році за *g*-ю позицією складових якості ($g = 1, ..., G$).

Аналіз Програми 2018-2023 здійснено з урахуванням планових (затверджених відповідними постановами Кабінету Міністрів України) і фактичних показників. Так, мультиплікативний показник, який характеризує узагальнену результативність Програми 2018-2023 за роки її реалізації, відповідно до Методики розраховують за формулою (4):

$$\bar{R}^l = \frac{\bar{K}^t}{l}\left(Z^{2018\text{-}2023} \cdot E^{2018\text{-}2023} \cdot \mathrm{Q}^{2018\text{-}2023}\right),$$

$\bar{K}^t$ — інтегрований показник фінансування заходів Програми 2018-2023, який ураховує розподіл коштів за джерелами: за рахунок державного бюджету та інших джерел (кредитні кошти, кошти міжнародних фінансових організацій, приватних інвесторів), складає 0,88;

l — кількість років фінансування Програми 2018-2023, складає 6 років;

$Z^{2018\text{-}2023}$ — співвідношення фактичного та планового обсягу виконаних робіт (наданих послуг), що характеризують результат виконання Програми за видами робіт (послуг), складає 5,59;

$E^{2018-2023}$ — співвідношення фактичного та планового показників економічної ефективності, який характеризує створення економічного ефекту відношенням отриманого соціально-економічного ефекту до касових видатків бюджетних та інших коштів по видах робіт в конкретному році, складає 5,80;

$\mathrm{Q}^{2018\text{-}2022}$ — співвідношення фактичних і планових показників, які характеризують кількісні параметри якості виконаних робіт (наданих послуг) за результатами виконання Програми 2018-2023 за видами робіт, складає 5,46.

Таким чином, ефективність виконання заходів Програми 2018-2023 можна визначити шляхом добутку отриманих вище множників:

$$\bar{R}^l = \frac{0{,}88}{6}\,(5{,}59 \cdot 5{,}80 \cdot 5{,}46) = 25{,}92.$$

Отже, під час оцінювання ефективності виконання Програми 2018-2023 відповідно до Методики за 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 та 2023 роки, встановлено, що інтегрований показник оцінки ефективності виконання завдань і заходів, у розрахунку за шість років виконання, становить 25,92. Це свідчить про те, що виконання Програми 2018-2023 є досить ефективним. Співвідношення соціально-економічного ефекту від реалізації заходів і завдань Програми 2018-2023 на 20-річну перспективу та інвестицій, необхідних для її реалізації, становить 502,82 грн, тобто кожна 1 грн, інвестована у розвиток автомобільних доріг, дасть у майбутньому понад 500 грн соціально-економічного ефекту для розвитку держави в цілому.

Висновки

На основі проведеного дослідження можна зробити висновок, що економічне оцінювання розвитку автомобільних доріг — це сукупність прийомів і способів, аналітичних дій дослідження розвитку автомобільних доріг у контексті впливу на зміни економічних показників досліджуваного об’єкта. Використаний у статті теоретичний і методично-математичний апарат дав можливість отримати результат, який свідчить про те, що виконання Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2023 роки є досить ефективним. Проте через збройну агресію рф починаючи з 2022 року фінансування завдань і заходів з розвитку автомобільних доріг майже припинилось. У цілому, реалізація завдань і заходів програмних документів державного рівня щодо розвитку і відновлення автомобільних доріг загального користування є ключовим фактором для забезпечення сталого відновлення і розвитку

транспортної інфраструктури країни та підвищення якості життя її громадян. Недофінансування заходів із нового будівництва та реконструкції, капітального та поточного ремонтів, а також експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування державного значення стримує надання гуманітарної допомоги, збільшення експорту та відновлення української економіки. Затвердження нового програмного документа на державному рівні для розвитку автомобільних доріг, який буде враховувати проведену соціально-економічну оцінку попередньої програми, дозволить підвищити ефективність управління дорожнім господарством і забезпечить ефективне планування бюджетних витрат і покращить розподіл фінансових ресурсів на ремонтування та будування автомобільних доріг забезпечить максимально ефективне та раціональне використання державних коштів.

Список літератури

1. URL: https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099021324115085807/p1801741bea12c012189ca16d95d8c2556a?fbclid=IwAR2-Ue7n92kGB8aQNoZ_-0Lu_reQXnBKbVPt2Uc__otzfxLu-vP_C89V2pA (дата звернення 09.09.2015).

2. Про затвердження Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування на 2013-2018 роки: Постанова від 21.03.2028 № 382 / База даних Законодавство Украини / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/696-2013-%D0%BF#Text (дата звернення 09.09.2024).

3. Про затвердження Методики визначення обсягу фінансування будівництва, реконструкції, ремонту та утримання автомобільних доріг та нормативів витрат, пов'язаних з утриманням автомобільних доріг: наказ Міністерства інфраструктури України, Міністерства фінансів України від 21.09.2012 № 573/1019 / База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1734-12 (дата звернення 09.09.2024).

4. Про затвердження Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки. Постанова від 21.03.2028 № 382 / База даних Законодавство Укоаїни/Верховна рада України URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/382-2018-п#Text (дата звернення 09.09.2024).

5. Печончик Т. І. Організаційно економічний механізм формування джерел фінансування підприємств дорожнього господарства. *Проблеми і перспективи економіки та управління*. 2020. No. 1(21). С. 293–300.

6. Методика оцінки ефективності реалізації державних цільових програм розвитку автомобільних доріг загального користування. Київ, 2018. 49 с. (інформація та документація).

References

1. URL: https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099021324115085807/p1801741bea12c012189ca16d95d8c2556a?fbclid=IwAR2-Ue7n92kGB8aQNoZ_-0Lu_reQXnBKbVPt2Uc__otzfxLu-vP_C89V2pA (data zvernennia 09.09.2015) [in Ukrainian].

2. Pro zatverdzhennia Derzhavnoi tsilovoi ekonomichnoi prohramy rozvytku avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia na 2013-2018 roky (On the approval of the State Targeted Economic Program for the Development of Public Highways for 2013–2018): Postanova vid 21.03.2028 No. 382 / Baza danykh Zakonodavstvo Ukrayny / Verkhovna rada Ukrainy. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/696-2013-%D0%BF#Text (data zvernennia 09.09.2024) [in Ukrainian].

3. Pro zatverdzhennia Metodyky vyznachennia obsiahu finansuvannia budivnytstva, rekonstruktsii, remontu ta utrymannia avtomobilnykh dorih ta normatyviv vytrat, poviazanykh z utrymanniam avtomobilnykh dorih (On the approval of the Methodology for determining the amount of funding for the construction, reconstruction, repair and maintenance of highways and standards of costs related to the maintenance of highways): nakaz Ministerstva infrastruktury Ukrainy, Ministerstva finansiv Ukrainy

vid 21.09.2012 No. 573/1019 / Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1734-12 (data zvernennia; 09.09.2024) [in Ukrainian].

4. Pro zatverdzhennia Derzhavnoi tsilovoi ekonomichnoi prohramy rozvytku avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia derzhavnoho znachennia na 2018–2022 roky (On the approval of the State Targeted Economic Program for the Development of Public Highways of State Importance for 2018-2022). Postanova vid 21.03.2028 № 382 / Baza danykh Zakonodavstvo Ukoainy/Verkhovna rada Ukrainy URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/382-2018-p#Text (data zvernennia; 09.09.2024) [in Ukrainian].

5. Pechonchyk T. I. Orhanizatsiino ekonomichnyi mekhanizm formuvannia dzherel finansuvannia pidpryiemstv dorozhnoho hospodarstva (Organizational and economic mechanism of formation of sources of financing of road enterprises). *Problemy i perspektyvy ekonomiky ta upravlinnia*. 2020. No. 1(21). P. 293–300 [in Ukrainian].

6. Metodyka otsinky efektyvnosti realizatsii derzhavnykh tsilovykh prohram rozvytku avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia (Methodology for evaluating the effectiveness of the implementation of state target programs for the development of public highways). Kyiv, 2018. 49 p. (informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

Artem Bezuglyi, *Ph.D., Associate Prof., https://orcid.org/0000-0003-3883-7968*
Bohdan Stasiuk, *Ph.D., https://orcid.org/0000-0003-2504-6577*
Taras Pechonchyk, *Ph.D., https://orcid.org/0000-0003-3093-6822*
Natalia Mudrychenko, *https://orcid.org/0000-0002-9423-5518*
Mykhailo Dulia, *https://orcid.org/0000-0002-1916-8642*

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

CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR DETERMINING THE EFFECTIVENESS OF TASKS AND MEASURES IMPLEMENTATION IN STATE TARGETED DEVELOPMENT PROGRAMS TO IMPROVE ROAD MANAGEMENT EFFICIENCY

Abstract

Introduction. Effective functioning of road transport is only possible when the quantitative growth, quality level, and technical condition of roads meet the demands of road transport. This combination of road network characteristics can only be achieved with adequate funding to implement all planned works. Investments in road infrastructure can become a catalyst for economic recovery and growth, as they will improve logistics capabilities, reduce freight and passenger transportation costs, and enhance regional competitiveness.

Problem Statement. In the first decades of independence, the road industry faced chronic underfunding, which negatively affected its development. The situation worsened with the full-scale military aggression of the Russian Federation in 2024. According to the World Bank's "Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA3)" report, post-war recovery needs for public roads and bridges alone are estimated at around USD 28.8 billion. For the rapid and quality restoration and development of Ukraine, this issue is critically important, as the state of the roads affects transportation costs, prices, employment levels, and the overall pace of economic development. Furthermore, the full-scale invasion by the Russian Federation raises questions about ensuring reliable logistics routes, prompt transportation of humanitarian aid, and the country's defense capabilities.

Objective. The aim of this research is to determine the key principles for socio-economic evaluation of state-level programmatic documents to improve road management efficiency.

Materials and Methods. The article uses a systematic (comprehensive) approach, which represents a set of general scientific methodological principles (requirements) based on considering objects as systems. A priority in this process is ensuring an adequate level of data objectivity, timeliness, and the relevance of processed information.

In addition, the article applies methods of comprehensive and systemic analysis, abstract-logical, graphical, statistical, computational-design, comparative analysis, and expert assessments.

Results. A mathematical calculation was obtained for assessing the effectiveness of the State Targeted Economic Program for the Development of Public Roads of National Importance for 2018-2023.

Conclusions. Overall, evaluating the effectiveness of road development programs includes analyzing the transport-operational state, socio-economic, and environmental effectiveness. The evaluation results allow identifying “bottlenecks” in strategic documents for the sector's development and avoiding problems in future planning. This also helps in making informed decisions to improve road infrastructure. The prioritization of road projects should be based on strategic planning, enabling the assessment of needs and directions for road network development through a set of transport-operational data and systematically approaching decisions regarding financial support for road works. Furthermore, the list of road works and services on public roads in Ukraine should be compiled based on instrumentally determined and verified data, taking into account regulatory acts and the short-term and long-term state-targeted economic programs for road development. During martial law, this list should also align with the instructions of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine.

Keywords: motor road, road works, road management, efficiency, evaluation, development program, socio-economic impact, funding.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.025

УДК 338.5:625.08

Безуглий А. О., *канд. екон. наук, доц., https://orcid.org/0000-0003-3883-7968*
Бібик Ю. М., *канд. екон. наук, https://orcid.org/0000-0002-7197-8909*
Гресько І. Л., *https://orcid.org/0000-0002-7175-7436*

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

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ВИЗНАЧЕННЯ ВАРТОСТІ ПРОЄКТНИХ РОБІТ НА ДОРОЖНІ РОБОТИ ТА ПОСЛУГИ В КОНТЕКСТІ МІЖНАРОДНОГО ДОСВІДУ

Анотація

Вступ. Дорожня галузь — є однією із тих галузей, яка нараховує велику кількість законів, постанов, інших нормативно-правових і нормативних актів, багато процедур, що прямо або опосередковано впливають на неї. Частина з них потребує адаптації до нинішніх умов сучасного ринкового стану та поєднання із сучасними процесами, що відбуваються в галузі. Будь-яке впровадження нових або зміна існуючих нормативно-правових актів і нормативних документів зазвичай є досить складним процесом. На сьогодні економіка України перебуває на етапі перехідного періоду, це перш за все пов'язане з військовими діями на території України. Тому врегулювання питань, пов'язаних із визначенням вартості проєктних робіт є як ніколи актуальним. Зазвичай поняття «ціна» тісно пов'язане із ціноутворюючими чинниками, що її утворюють, при цьому ціноутворення є складовою частиною роботи з досягнення стратегічних цілей підприємств. Цінова політика відіграє важливу роль у життєвому циклі проєктних підприємств, адже вона впливає на їхній розвиток, а також створює ринкове середовище та дозволяє вести діяльність і формувати подальший стратегічний розвиток таких підприємств. Формування якісної цінової політики передбачає проведення досліджень і збір інформації про ринок дорожніх робіт та послуг, аналіз економічних факторів та як результат, підготовку проєктів відповідно до потреб ринку й оптимізацію їх впровадження. Зміни в підходах до визначення вартості проєктних робіт допоможуть забезпечити формування якісної цінової політики проєктних підприємств, що в цілому сприятиме розвитку дорожньої галузі та подальшому відновленню нашої країни.

Проблематика. Сьогодні в економічній науці існують різні точки зору щодо формування вартості проєктних робіт. За рахунок розвитку теоретичних основ і систематизації аналітичних даних, питаннями вартості ціноутворення в будівництві та проєктуванні займалися багато українських і зарубіжних вчених та науковців, у їхніх працях можна знайти багато інформації щодо застосування різних методів ціноутворення при визначенні вартості проєктування. Протягом багатьох років українські науковці, опрацьовуючи та порівнюючи інформацію щодо визначення вартості прєктних робіт у світовій практиці, де застосовуються різні методи та підходи, намагалися створити найбільш сприятливі умови ціноутворення для всіх учасників інвестиційного процесу при визначенні вартості проєктних робіт і запровадити їх в Україні. Особливу увагу заслуговують дослідження таких вчених як Günter Löhnert, К. А. Шрейбер, С.-Ю. В. Марчюкайтіс, М. А. Карпович, М. А. Сімакова та інші, які присвятили свої наукові праці питанням ціноутворення в будівництві, а також практичним методичним підходам до визначення вартості проєктних робіт, використовуючи при цьому різні методи ціноутворення.

На сьогодні процес формування договірної ціни є досить трудомістким і створює додаткові виклики перед учасниками ринку, що призводить до утворення корупційних ризиків. Водночас проєктні підприємства пропонують нові концепції та проєктні рішення, які слугуватимуть розвитком в умовах сучасності і майбутнього нашої країни, що безпосередньо матиме економічні, соціальні та екологічні позитивні наслідки для населення та країни в цілому. При цьому важливим завданням на сьогодні є перегляд діючої системи ціноутворення в частині визначення вартості проєктних робіт на дорожні роботи та послуги.

Мета. Покращення нормативної бази потребує чималих зусиль в частині удосконалення нормативно-правового регулювання дорожньої галузі в цілому. Метою дослідження є аналіз чинної бази нормативних документів, відповідно до яких визначається вартість проєктних робіт в Україні, а також дослідження світового досвіду в частині визначення вартості робіт з проєктування та надати висновки щодо покращення чинної системи ціноутворення в частині визначення вартості проєктних робіт в Україні.

Матеріали та методи. Визначальну роль в процесі ціноутворення відіграють методологічні підходи, які використовують під час визначення вартості робіт чи послуг. Такими основними підходами є: застосування відсоткових показників вартості проєктних робіт до розрахункової бази; на підставі збірників цін на проєктні роботи; за калькуляційним методом. Кожен із цих методів має як і переваги, так і певні недоліки.

У роботі над даною статтею здійснено:

— аналіз діючої системи ціноутворення в частині визначення проєктних робіт;

— аналіз світового досвіду щодо порядку визначення вартості проєктних робіт;

— моніторинг проблемних питань з визначення вартості проєктних робіт на дорожні роботи та послуги;

— підготовлено висновки щодо удосконалення визначення вартості проєктних робіт на дорожні роботи та послуги.

Результати. Дослідження й узагальнення зарубіжного досвіду та систематизація вітчизняного досвіду в питаннях визначення вартості проєктних робіт, а також аналіз проблемних питань з проєктування сприятиме розвитку кошторисного нормування в напрямку визначення вартості проєктних робіт і дозволить, у майбутньому, розробити та запровадити зміни, які стануть основою для окремого нормативного документа, що встановлюватиме правила визначення вартості проєктних робіт на дорожні роботи та послуги і, як результат, доповнить та удосконалить механізми ціноутворення в частині визначення вартості проєктування.

Висновки. Аналіз відмінності у формуванні кошторисної вартості проєктних робіт у різних країнах світу сприятиме вдосконаленню підходу до методології визначення їхньої вартості, а також дозволить вирішити багато актуальних питань, що постають перед дорожньою галуззю в частині визначення проєктних робіт. Удосконалення нормативів з визначення вартості проєктування в дорожній галузі дозволить підвищити його техніко-економічну обґрунтованість, а також сформувати підходи, на основі яких визначатиметься вартість проєктних робіт на дорожні роботи та послуги, а також формуватиметься цінова політика проєктних підприємств.

Ключові слова: автомобільна дорога, вартість, дорожні роботи та послуги, кошторис, проєктні роботи, світовий досвід, ціна, ціноутворення.

Вступ

Ринок проєктування — основа дорожньої галузі, яка вимагає висококваліфікованого кадрового забезпечення та впровадження сучасних технологій. Наразі визначення розміру витрат на проєктні роботи, які враховуються в главі 12 «Проєктні, вишукувальні роботи, експертиза та авторський нагляд» зведеного кошторисного розрахунку, встановлюються відповідною методикою визначення вартості дорожніх робіт та послуг. Положеннями Правил визначення вартості будівництва, реконструкції, ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування, що затверджені наказом Міністерства інфраструктури України 02 травня 2022 року № 273 [1], визначено поняття «методики визначення вартості дорожніх робіт та послуг» — нормативно-технічні документи, що включають сукупність методичних підходів, показників, положень, вимог, вказівок, інструкцій, настанов, методичних рекомендацій тощо, що використовуються під час визначення вартості дорожніх робіт та послуг, проєктних робіт тощо.

Аналіз діючої системи ціноутворення в частині визначення проєктування стане основою для розроблення окремої методики, яка враховуватиме специфіку та умови виконання робіт на об’єктах автомобільних доріг загального користування та визначатиме вартість проєктних робіт на дорожні роботи та послуги.

У перспективі, в Україні, попит на дорожнє проєктування почне зростати, тому в цьому плані

дуже важливо врегулювати нормативну базу та створити необхідні умови, які сприятимуть розвитку ринку проєктування і, як наслідок, будування якісних автомобільних доріг та інженерних споруд на них.

Проєктна документація є невід'ємною частиною інвестиційного процесу та визначає вимоги та параметри об'єктів, також вона є ключовим етапом перед початком робіт з нового будівництва, реконструкції, капітального та поточного ремонту автомобільних доріг загального користування, оскільки це є важливою передумовою для фінальної реалізації майбутнього об'єкта. Основною метою проєктних підприємств є забезпечення сталого і збалансованого розвитку та підвищення ефективності планування їхньої діяльності, це одна з важливих задач, що стоїть перед економікою всіх країн і вимагає серйозного ставлення до неї. Будівництво та проєктування у всьому світі регламентується системою законодавчих норм, нормативних і методичних документів, тому постає завдання належним чином відрегулювати механізми ціноутворення, які впливають на визначення вартості проєктних робіт.

Визначення вартості проєктних робіт неодноразово обговорювалося на різних семінарах і конференціях, де порушувалися питання щодо удосконалення методики її визначення. При цьому, основним завданням і актуальністю дослідження є визначення підходів до формування вартості проєктних робіт на дорожні роботи та послуги, визначення основних відмінностей у підходах їх ціноутворення, аналіз і порівняння кращих світових практик у визначенні вартості проєктування, вивчення проблемних питань, аналіз чинних нормативно-правових актів і нормативних документів з метою їх удосконалення.

Мета й завдання роботи. Метою статті є аналіз діючої системи визначення вартості проєктних робіт, дослідження світових практик у частині визначення вартості проєктних робіт і визначення необхідних умов, які сприятимуть впровадженню змін до діючої системи ціноутворення в частині визначення вартості проєктних робіт на дорожні роботи та послуги.

Основна частина

На сьогодні до законодавчої та нормативної бази (**рис. 1**), яка регулює питання ціноутворення в частині визначення вартості проєктних робіт, відносяться:

Закон України «Про ціни та ціноутворення» [2]

Порядок застосування кошторисних норм та нормативів з ціноутворення при визначенні вартості проектних, науково-проектних, вишукувальних робіт та експертизи проектної документації на будівництво, затверджений наказом Міністерства розвитку громад та територій України 25 червня 2021 року № 162 [3]

Порядок розроблення проектної документації на будівництво об'єктів, затверджений наказом Міністерства розвитку громад та територій України від 16.05.2011 № 45 [4]

Кошторисні норми України «Настанова з визначення вартості проектних, науково-проектних, вишукувальних робіт та експертизи проектної документації на будівництво» (далі — Настанова) [5]

МВ 03450778-747:2015 «Методичні вказівки з визначення вартості проектно-вишукувальних робіт на будівництво автомобільних доріг загального користування та транспортних споруд» [6]

ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво» [7]

Рисунок 1 — Перелік нормативно-правових актів і нормативних документів

Кошторисну вартість проєктних робіт на будівельні роботи визначають відповідно до пункту 1.3 Настанови на підставі:

— методу із застосуванням відсоткових показників вартості проєктних робіт до вартості будівельних робіт;

— методу із застосуванням збірників цін на проєктні роботи;

— калькуляційного методу.

Визначення вартості проєктних робіт шляхом застосування відсоткових показників вартості проєктних робіт

При визначенні кошторисної вартості проєктних робіт на дорожні роботи розрахунковою базою, до якої застосовують усереднені відсоткові показники є вартість дорожніх робіт відповідного об'єкта за підсумком глав 1 – 9 зведеного кошторисного розрахунку кошторисної частини проєктної документації. У разі, якщо відсутні реалізовані об'єкти-аналоги, кошторисна вартість проєктних робіт може обчислюватися на підставі вартісних показників нового об'єкта дорожніх робіт, який ще не реалізований, відповідно до підсумку глав 1 – 9 зведеного кошторисного розрахунку.

Розрахункову базу визначають на підставі вартісних показників об'єктів-аналогів (із застосуванням відповідних індексів інфляції, які оприлюднює центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері будівництва для приведення вартості будівельно-монтажних робіт у поточний рівень цін) або укрупнених усереднених кошторисних цін і нормативів на одиницю виміру потужності (далі — Укрупнені ціни).

Вибір об'єкта-аналога здійснюють із забезпеченням максимальної відповідності показників об'єкта-аналога показникам об'єкта, що проєктується. Об'єкт, що проєктується і об'єкт-аналог повинні бути придатні для порівняння за основними показниками (вихідними даними).

Для автомобільних доріг загального користування основними показниками для порівняння є:

— вид дорожніх робіт та послуг;

— категорія автомобільної дороги;

— значення автомобільної дороги;

— протяжність ділянки автомобільної дороги;

— середньозважена інтенсивність руху на автомобільній дорозі;

— умови здійснення дорожньо-будівельних робіт (форма рельєфу, вид грунтів, тип дорожнього одягу та матеріал покриття верхнього шару, наявність транспортних споруд тощо);

— природно-кліматичні навантаження об'єкта будівництва (дорожньо-кліматична зона);

— вплив на природне зовнішнє середовище від дії транспортних засобів (рівень забруднення відпрацьованими газами, рівень забруднення твердими викидами, рівень шуму).

Визначення вартості проєктних робіт із застосуванням збірників цін

Кошторисну вартість проєктних робіт можна визначити на підставі показників збірників цін на проєктні роботи із застосуванням відповідних коефіцієнтів.

ЦІНИ НА РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЕКТНО-КОШТОРИСНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Таблиця 18-1. Заводи

N п/п	Найменування об'єкта проектування	Основний показник об'єкта	Постійні величини вартості розроблення робочої документації, тис. крб.	
			а	в
1	2	3	4	5
1	Завод з виробництва вантажних автомобілів вантажопідйомністю до 4-х тонн з річним випуском тис. шт. від 30 до 70	1 тис. шт.	770,2	5,80
2	Завод з виробництва вантажних автомобілів вантажопідйомністю 4 – 16 т з річним випуском тис. шт. від 40 до 80	1 тис. шт.	1683,0	19,60
3	Завод з виробництва легкових автомобілів з річним випуском тис. шт. від 150 до 300	1 тис. шт.	653,4	7,60
4	Завод з виробництва автобусів особливо класу з річним випуском тис. шт. 15 до 25	1 тис. шт.	382,1	22,2

Рисунок 2 — Збірник цін на проєктні роботи для будівництва

Необхідною умовою під час визначення вартості проєктних робіт відповідно до цього методу є використання збірників цін, що видані ще за часів СРСР та які є діючими на сьогодні й основним їхнім недоліком є те, що ціни необхідно конвертувати з рублів та застосовувати застарілі коефіцієнти і це у 2024 році.

Кошторисну вартість проєктних робіт за збірниками цін складають за формою (**рис. 3**), що наведена в Додатку 4 Настанови.

КОШТОРИС №
на проектні, науково-проектні, вишукувальні роботи

Форма № 2-П

_____
(найменування об'єкта будівництва, стадії проектування,

_____
виду проектних, науково-проектних вишукувальних робіт

Найменування проектної (науково-проектної, вишукувальної) організації _____

Ч.ч.	Характеристика об'єкта будівництва або виду робіт	Назва документа обґрунтування та № № частин, глав, таблиць, пунктів	Розрахунок вартості	Вартість, грн.
1	2	3	4	5
1				
2				
3				
:				
n				
	Разом			

Всього за кошторисом_____

(сума прописом)

Головний архітектор проекту

(Головний інженер проекту) _____ _____

(підпис) *(ПІБ)*

Кошторис склав _____ _____

(підпис) *(ПІБ)*

М.П.

«__»_____20__р.

Рисунок 3 — Форма для визначення вартості проєктних робіт за збірниками цін

Визначення вартості проєктних робіт калькуляційним методом

За умови неможливості визначити вартість проєктних робіт двома вищеописаними методами, такий розрахунок здійснюють калькуляційним методом, шляхом складання кошторису за формою (**рис. 4**), наведеною Додатку 5 Настанови. Розрахунок вартості виконують на підставі структури витрат, що склалася у проєктному підприємстві за відповідний період.

Додаток 5
до Настанови (пункти 2.20, 2.21, 4.1, 4.4)

КОШТОРИС № ____
на виконання робіт

Форма № 3-П

_____
(найменування об'єкта будівництва, стадії проектування, виду робіт)
Найменування проектної (науково-проектної, вишукувальної) організації _____

Ч.ч.	Перелік робіт, що виконуються	Найменування посад виконавців (виробничий персонал)	Кількість виконавців	Витрати труда, люд. місяців або люд. днів	Заробітна плата виконавців, грн.	
					за 1 місяць або 1 день	всього
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3						
:						
n						
		Разом основна заробітна плата				
		Додаткова заробітна плата				

1. Основна та додаткова заробітна плата виробничого персоналу, грн_____
2. Відрахування на загальнообов'язкове державне пенсійне та соціальне страхування, грн_____
3. Матеріальні витрати, грн_____
4. Інші прямі витрати (у тому числі, прямі витрати на зовнішній і внутрішній транспорт (для вишукувальних робіт) грн_____
5. Відрядження виробничого персоналу, грн_____
6. Витрати на роботи, що виконуються сторонніми організаціями, грн
7. Загальновиробничі витрати, грн_____
8. Всього собівартість (ряд.1 ч- ряд.7), грн_____
9. Прибуток (за виключенням п. 5 та 6), грн_____
10. Адміністративні витрати, грн_____
11. Податки, збори, обов'язкові платежі (крім ПДВ), встановлені чинним законодавством і не враховані складовими у рядках 8 та 10, грн._____

Вартість роботи (ряд. 8÷ряд. 11) грн._____
(сума прописом)

Головний архітектор проекту
(Головний інженер проекту) _____ _____
(підпис) *(ПІБ)*

Кошторис склав _____ _____
(підпис) *(ПІБ)*

М.П.
«__»_____20__р.

Рисунок 4 — Форма для визначення вартості проєктних робіт за калькуляційним методом

Вивчення зарубіжного досвіду в будівельній галузі, зокрема в проєктуванні, вивчення його позитивних та негативних аспектів, а також аналіз недоліків діючої системи ціноутворення на проєктні роботи в Україні дасть змогу розробити та обґрунтувати можливі заходи щодо її вдосконалення, що в цілому сприятиме покращенню роботи проєктних підприємств. Тому, корисно

звернути увагу на зарубіжний досвід визначення вартості проєктування, як основи для покращення ефективності системи ціноутворення в частині визначення проєктних робіт та досягнення в майбутньому позитивного результату розвитку дорожньої галузі в цілому.

Аналіз світового досвіду показує, що визначення вартості проєктних робіт ґрунтується на застосуванні відсоткових показників від вартості будівельно-монтажних робіт до погодинної оплати, де в одних країнах використовують ринкові ціни, в інших є чітко регламентовані встановлені межі вартості проєктних робіт, але в загальному, вартість проєктних робіт, відповідно до світової практики, складає від 7 % до 10 % від вартості будівництва. В Україні, згідно з нормативними документами, вартість проєктних робіт в середньому становить близько 5 %, а на практиці цей показник може становити і менше — близько 2 % від вартості дорожніх робіт та послуг. Проведемо аналіз світового досвіду щодо порядку визначення вартості проєктних робіт.

Досвід Польщі. Відсоткові показники для розрахунку вартості проєктних робіт у витратах на будівельно-монтажні роботи наведено на **табл. 1**.

Таблиця 1

Відсоткові показники для розрахунку вартості проєктних робіт

Вартість запланованих витрат на будівельні роботи, тис. PLN	W %					
	Категорії складності					
	I	II	III	IV	V	VI
до 200	3,50	5,00				
500	3,25	4,60	5,95			
1 000	3,80	4,20	5,45	7,55		
2 000	2,80	3,90	5,00	6,90	8,65	
5 000	2,60	3,60	4,55	6,25	7,85	9,40
10 000	2,40	3,30	4,20	5,90	7,10	8,50
20 000	2,25	3,00	3,80	5,20	6,45	7,70
50 000		2,80	3,50	4,70	5,85	7,00
100 000		2,55	3,20	4,30	5,30	6,30
200 000			2,90	3,90	4,80	5,70
500 000			2,70	3,55	4,40	5,20

Відсотковий показник W %, який використовують для розрахунку вартості проєктних робіт WPP, приймають відповідно до вищенаведеної таблиці залежно від категорії складності та вартості будівництва.

Значення W %, що наведені в таблиці, стосуються проєктування для будівельних робіт. У разі реконструкції, реставрації чи капітального ремонту значення W % збільшується на 15 – 30 %, залежно від складності запланованих робіт. У разі проєктування поточного ремонту (робіт, які не вимагають втручання у функціональну систему, структуру або існуючі конструкцію), значення W % збільшують на 5 – 15 %, залежно від складності запланованих робіт. З метою визначення вартості W % об’єктів використовують лінійну інтерполяцію, заплановані витрати на будівельні роботи виражають через проміжні значення відносно тих, що зазначені у **табл. 1**.

Проведемо аналогію з відсотковими показниками (**табл. 2**), які застосовують при визначенні вартості проєктних робіт в Україні.

Таблиця 2

Відсоткові показники для визначення вартості проєктних робіт

Ч.ч.	Розрахункова база, тис. грн	Класи наслідків (відповідальності)		
		Незначні наслідки (СС1)	Середні наслідки (СС2)	Значні наслідки (СС3)
1	До 500	7,96	10,19	11,45
2	500 – 1 000	7,96 – 6,94	10,19 – 8,90	11,45 – 10,07
3	1 000 – 2 000	6,94 – 5,89	8,90 – 7,70	10,07 – 9,05
4	2 000 – 5 000	5,89 – 5,10	7,70 – 6,77	9,05 – 7,84
5	5 000 – 15 000	5,10 – 4,41	6,77 – 5,95	7,84 – 6,92
6	15 000 – 25 000	4,41 – 3,84	5,95 – 5,05	6,92 – 5,93
7	25 000 – 50 000	3,84	5,05 – 3,99	5,93 – 4,67
8	50 000 – 100 000	–	3,99 – 3,16	4,67 – 3,80
9	Понад 100 000	–	3,16	3,80

За розрахункову базу приймаємо показник вартості робіт в Польщі 5000 tys. PLN, що в еквіваленті на національну валюту України становить 52 500 000 гривень (**табл. 3**).

Таблиця 3

Приклад порівняння відсоткових показників для визначення вартості проєктних робіт відповідно до категорій складності робіт в Україні та Польщі

Розрахункова база	Категорія складності робіт					
Польща						
5000 tys. PLN = 52 500 000 грн	I 2,6 %	II 3,6 %	III 4,55 %	IV 6,25 %	V 7,85 %	VI 9,4 %
Україна						
50 000 – 100 000 тис. грн	СС1 –		СС2 3,16 %		СС3 3,8 %	
Порівняння						
Порівняння середнього % показника у Польщі та % показника в Україні	Польща 3,1 % (середнє значення за I-II категорією) Україна – немає		Польща 5,4 % (середнє значення за III-IV категорією) > Україна 3,16 % у 1,71 рази		Польща 8,6 % (середнє значення за V-VI категорією) > Україна 3,8 % у 2,27 рази	

Диференціація категорій складності об’єктів в Польщі та Україні відрізняється, як і відсоткові показники для визначення вартості проєктних робіт. У той час, коли в Україні нормативно визначено 3 класи наслідків (відповідальності), у Польщі нормативно передбачено 6 категорій складності робіт, що дає змогу встановити більші градації щодо відсоткових показників визначення вартості проєктних робіт.

Проведений аналіз дав змогу встановити, що відсотковий показник для III-IV категорії складності робіт у Польщі у 1,71 рази більший від показника середнього класу наслідків (СС2) в Україні, а відсотковий показник для V-VI категорії складності робіт у 2,27 рази більший від показника значного класу наслідків (СС3) в Україні. Тобто, в цьому полягає недооціненість вартості виконання проєктних робіт в Україні, але це стосується не всіх категорій складності робіт, адже для робіт з нижчою розрахунковою базою відсоткові показники мають менші відмінні значення при їх порівнянні.

Досвід Республіки Казахстан. Основним методом визначення вартості проєктних робіт відповідно до Нормативного документа щодо визначення вартості проєктних робіт для будівництва в Республіці Казахстан є укрупнений розрахунок на підставі натуральних показників об'єктів проєктування із застосуванням «Збірника цін на проєктні роботи для будівництва». Разом із цим, вищезазначеним нормативним документом визначено перелік робіт і витрат на розроблення проєктно-кошторисної документації, які не включені в ціни Збірника цін на проєктні роботи і вимагають додаткового розрахунку. Для об'єктів, для яких ціни в Збірнику не наведено і не можливо провести аналогію, вартість визначають зведеним кошторисом. Зведений кошторис оформлюють у разі використання двох видів розрахунків за формами 2П і 3П.

Досвід Німеччини. Для типових проєктних послуг, визначення вартості в Німеччині проводять на підставі Порядку оплати послуг архітекторів та інженерів (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure HOAI), що застосовується на підставі Закону Німеччини про регулювання діяльності інженерів та архітекторів від 04.11.1971. Однак цим Порядком визначають не тільки розмір прибутку, але й склад послуг проєктувальника під час проєктування і подальшого будівництва.

У Німеччині проєктну діяльність у будівництві розподіляють за фазами, на кожну з яких припадає певний відсоток від загальної вартості проєктних робіт:

— передпроєктна оцінка (Basic évaluation, pre design survey) — 3 %;
— ескізний проєкт (Preliminary design) — 7 %;
— остаточний проєкт (Final design) — 11 %;
— планування та подання дозволу на будівництво (Planning for building permit application) — 6 %;
— будівельні креслення (Construction drawings) — 25 %;
— тендерна документація (Preparation of tender documents) — 4 %;
— оцінка пропозицій, ведення переговорів, присудження контрактів (Evaluation of bids, negotiating, contract awarding) — 10 %;
— управління контрактом на будівництво (Construction site supervision, contract administration — 31 %.

Крім того, у Німеччині відзначається високий рівень витрат не тільки на проєктно-вишукувальні роботи, а і на авторський нагляд за об'єктом будівництва: для цивільного будівництва цей показник становить приблизно від 6 % до 20 % розрахункової вартості об'єкта, і залежить від розмірів об'єкта. Не менш важливим є той факт, що на деяких об'єктах вартість авторського нагляду за об'єктом будівництва, а також роботи з контролю якості виконаних робіт перевищують вартість проєктування.

Досвід Болгарії. У Болгарії загальну вартість проєктних робіт можна визначати кількома способами:

— відсотком від вартості об'єкта будівництва;
— калькуляційно на основі окремих елементів собівартості;
— розрахунково на основі натуральних показників об'єкта і складності проєктування;
— розрахунково на основі норм часу та годинних ставок.

При цьому розподіл вартості за стадіями проєктування визначено за **табл. 4.**

Таблиця 4

Розподіл вартості за стадіями проєктування

Стадія проєктування	Категорія складності об'єкта				
	V	IV	III	II	I
ТЕО	10	13	16	19	23
Робочий проєкт	80	76	72	68	62
Робоча документація	10	11	12	13	15
Всього	100	100	100	100	100

Відносний рівень витрат на проєктні роботи в Болгарії становить для найбільш простих (I категорія) від 5,2 % до 7,8 %, а для найбільш складних (V категорія) від 8,5 % до 17,3 % від собівартості будівництва.

Досвід Великобританії. Відповідальним органом за розроблення стандартів проєктування та будівництва в Англії є — Королівський інститут британських архітекторів (RIBA). За їх стандартами та посібниками працюють до 80 % архітекторів і проєктних підприємств у всій країні. На основі рекомендацій RIBA щодо стадійності проєктування та будівництва, був розроблений стандарт PAS 1192-2, який передбачає впровадження протоколу BIM Level 2. З 2016 року дотримання цього стандарту є обов'язковим для всіх проєктів із бюджетним фінансуванням, що встановлює передбачену стадійність на державному рівні.

Основний критерій оцінки мінімальної вартості проєктно-вишукувальних робіт у Великобританії є відсоток від вартості будівництва. При цьому, окремо виділяється оплата праці фахівців: архітекторів, конструкторів та інженерів. За умовами дотримання тарифних ставок щодо мінімальної вартості проєктування ведеться ретельний нагляд, що призвело до неможливості наймання на роботу проєктувальника, фахівців нижче регламентованого державою рівня оплати їх праці.

Досвід Сполучених Штатів Америки. У США проєктна діяльність в будівництві розділяється за фазами, на кожну з яких припадає певний відсоток від загальної вартості проєктних робіт (відповідно до Guidelines for Determining Architect/Engineer Fees for Public Works Building Projects. Office of Financial Management):

— схематичний проєкт (Schematic Design) — 18 %;
— розроблення проєкту (Design Development) — 20 %;
— документи для будівництва (Construction Document) — 31 %;
— тендерні процедури (Bidding) — 2 %;
— управління контрактом на будівництво (Construction Contract Administration) — 27 %;
— закриття проєкту (Project Closeout) — 2 %.

Визначення вартості проєктних робіт у США базується на довідниках авторитетного бюро Мінса (R.S. Means Square Foot Cost). Ці довідники включають практично всі види проєктних і будівельних робіт, містять близько 60 тисяч одиничних розцінок з урахуванням вартості матеріалів, оплати труда, експлуатації машин, накладних витрат і прибутку виконавця робіт. Інформація щодо одиничних розцінок формується з урахуванням раніше укладених договорів, офіційної національної статистики, а також щорічних корпоративних довідників.

Досвід Нідерландів. У Нідерландах проєктна діяльність у будівництві також розділяється за фазами, на кожну з яких припадає певний відсоток від загальної вартості прокєтних робіт (відповідно до «Standaardvoorwaarden 1997. Rechtsverhouding opdrachtgeverarchitect» (2004) Amsterdam, Bond van nederlandse architecten):

— концепція (Preliminary Design) — 12 %;
— проєкт (Definitive Design) — 20 %;
— робоча документація (Construction Preparation) — 40 %;
— підготовка тендерної документації для вибору підрядника (Price and Contract Formation) — 2 %;
— авторський нагляд (Implementation Management) — 26 %.

Досвід Канади. Середній розподіл вартості проєктних робіт за стадіями (відповідно до The Canadian Handbook of Practice for Architects (1999) Ottawa, The National Practice Program (NPP), The Royal Architectural Institute of Canada (RAIC)) в Канаді становить:

— концепція (Schematic Design) — 12 – 18 %;
— проєкт (Design Development) — 12 – 18 %;
— робоча документація (Construction Documents) — 35 – 45 %;

— підготовка тендерної документації для вибору підрядника (Bidding and Negotiation) — 2,5 – 6,5 %;

— авторський нагляд (Construction Phase – Contract Administration) — 25 – 35 %.

Отже, проаналізувавши різні підходи до визначення вартості проєктних робіт, практика світового досвіду показує, що в частині країн для виготовлення проєктної документації прийнято п’ять категорій складності проєктування та унікальності будівельних об’єктів. Тим самим виключається можливість того, що для об’єктів будівництва окремої галузі буде неможливо визначити рівень цін на проєктні роботи, завжди об’єкт будівництва можна віднести до однієї з цих п’яти категорій.

Отже, методологія визначення вартості проєктних робіт на дорожні роботи та послуги має передбачати наступні методи:

— визначення кошторисної вартості проєктних робіт шляхом застосування метод вибору об’єкта-аналога;

— визначення кошторисної вартості проєктних робіт із застосуванням калькуляційного методу;

— визначення кошторисної вартості проєктних робіт із застосуванням діджитал-адаптованого методу.

Під час застосування методу вибору об’єкта-аналога необхідно передбачити наступне:

— розрахункову базу потрібно визначати на підставі вартісних показників об’єктів-аналогів або укрупнених усереднених кошторисних цін і нормативів на одиницю виміру потужності;

— вибір об’єкта-аналога необхідно здійснювати із забезпеченням максимальної відповідності показників об’єкта-аналога показникам об’єкта, що проєктується;

— умови застосування коригувального коефіцієнта до кошторисної вартості проєктних робіт, який будуть використовувати для визначення вартості коригування проєктної документації;

— відсоткові показники вартості проєктних робіт для об’єкта будівництва потрібно розділяти залежно від розрахункової бази і класу наслідків (відповідальності) об’єкта;

— для приведення відсоткових показників у поточний період потрібно застосовувати відповідний коефіцієнт збільшення вартості проєктних робіт;

— визначення основних параметрів, за якими буде здійснюватися вибір об’єкта-аналога;

— встановлення питомої ваги вартості проєктних робіт при одно- , дво- та тристадійному проєктуванні залежно від стадії проєктування.

Під час застосування калькуляційного методу необхідно передбачити наступне:

— вартість проєктних робіт за калькуляційним методом потрібно визначати за виробничою собівартістю як суму прямих і загальновиробничих витрат згідно з «Методичні рекомендації з формування собівартості проектних робіт з урахуванням вимог положень (стандартів) бухгалтерського обліку» [8];

— визначення розміру коштів на покриття ризиків пов’язаних із виконанням робіт, витрат на відрядження, кошторисний прибуток, коштів на покриття додаткових витрат, пов’язаних з інфляційними процесами під час визначення замовником очікуваної кошторисної вартості проєктних робіт;

— визначення форми, за якою будуть складатися кошториси на проєктні роботи.

Під час застосування діджитал-адаптованого методу необхідно передбачити наступне:

— положення щодо визначення вартості проєктних робіт, які реалізовуватимуться через систему BIM-моделювання;

— визначити умови відповідно до яких буде здійснюватися розрахунок кошторисної вартості проєктних робіт для 2D, 3D, 4D, 5D та 6D BIM-моделей;

— вартість розроблення окремих розділів проєктної документації, видів проєктних робіт потрібно визначати за показниками відносної вартості, наведеними у відповідних BIM-вимірах інформаційної моделі.

Висновки

Як свідчить детальний аналіз міжнародного досвіду щодо різних підходів до визначення вартості проєктних робіт, зокрема США, Польщі, Республіки Казахстан, Великобританії, Німеччини та інших провідних країн світу. Найбільш поширеним методом визначення вартості проєктних робіт є — за відсотком від загальної вартості будівництва. Крім цього, застосовуються збірники норм часу та вартість 1 людино-дня, визначення вартості індексним методом та комбіновані методи з обмеженням максимальної / мінімальної вартості. У переважній більшості країн, всі документи, що регулюють методи ціноутворення, носять рекомендаційний характер під час формування договірних цін на проєктні роботи.

У міжнародній практиці часто окремо виділяють стадію підготовки тендерної документації для вибору підрядника. У цілому розподіл фінансування на різних стадіях проєктування відбувається рівномірно передбаченим обсягам проєктних робіт, а на стадію авторського нагляду під час будівництва інколи виділяють більше коштів, ніж на саме проєктування.

Важливим елементом інформаційного забезпечення під час визначення вартості проєктування в провідних країнах є регулярний моніторинг поточних цін на будівельні проєкти, який здійснюється, як правило, статистичні органи цих країн. За результатами такого моніторингу регулярно (щоквартально і щорічно) випускаються відповідні документи (бюлетені, збірники) із зазначенням вартості виконаних контрактів щодо проєктування об'єктів будівництва за рахунок приватних і державних коштів.

За результатами проведеного аналізу, а також проблемних питань щодо специфіки визначення вартості проєктних робіт на дорожні роботи та послуги визначено перелік завдань, вирішення яких допоможе в подальшому покращити систему ціноутворення в частині визначення вартості цих робіт в Україні, зокрема у забезпеченні якісного інноваційного розвитку та закладання можливості реалізації проєктів BIM-моделювання; забезпеченні виконання політики цифровізації та діджиталізації в будівництві.

Список літератури

1. Правила визначення вартості будівництва, реконструкції, ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування, затверджені наказом Міністерства інфраструктури України 02 травня 2022 року № 273 // зареєстровано в Міністерстві юстиції України 17 травня 2022 року за № 527/37863. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0527-22#Text (дата звернення 15.10.2024).

2. Про ціни та ціноутворення. Закон України від 21.06.2021 № 5007-VI від 21.06.2012, редакція від 01.07.2024 № 3706-IX // База даних законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5007-17#Text (дата звернення 15.10.2024).

3. Порядок застосування кошторисних норм та нормативів з ціноутворення при визначенні вартості проектних, науково-проектних, вишукувальних робіт та експертизи проектної документації на будівництво, затверджений наказом Міністерства розвитку громад та територій України 25 червня 2021 року № 162 // зареєстровано в Міністерстві юстиції України 17 вересня 2021 року за № 1226/36848. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1226-21#Text (дата звернення 15.10.2024).

4. Порядок розроблення проектної документації на будівництво об'єктів, затверджений наказом Міністерства розвитку громад та територій України від 16.05.2011 № 45 // зареєстровано в Міністерстві юстиції України 1 червня 2011 року за № 651/19389. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0651-11#Text (дата звернення 15.10.2024).

5. Кошторисні норми України. Настанова з визначення вартості проектних, науково-проектних, вишукувальних робіт та експертизи проектної документації на будівництво. Київ, 2021. 33 с. (Інформація та документація).

6. МВ 03450778-747:2015 Методичні вказівки з визначення вартості проектно-вишукувальних робіт на будівництво автомобільних доріг загального користування та транспортних споруд. Київ, 2015. 26 с. (Інформація та документація) (Інформація та документація).

7. ДБН А.2.2-3:2014 Склад та зміст проектної документації на будівництво. Київ, 2022. 33 с. (Інформація та документація).

8. Методичні рекомендації з формування собівартості проектних робіт з урахуванням вимог положень (стандартів) бухгалтерського обліку, затверджені наказом Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики України від 29 березня 2002 року № 64.

References

1. Pravyla vyznachennia vartosti budivnytstva, rekonstruktsii, remontu ta utrymannia avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia (Rules for determining the cost of construction, reconstruction, repair and maintenance of public highways,), zatverdzheni nakazom Ministerstva infrastruktury Ukrainy 02 travnia 2022 roku No. 273 // zareiestrovano v Ministerstvi yustytsii Ukrainy 17 travnia 2022 roku za No. 527/37863. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0527-22#Text (data zvernennia 15.10.2024) [in Ukrainian].

2. Pro tsiny ta tsinoutvorennia (About prices and pricing. Law of Ukraine). Zakon Ukrainy vid 21.06.2021 No. 5007-VI vid 21.06.2012, redaktsiia vid 01.07.2024 No. 3706-IX // Baza danykh zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5007-17#Text (data zvernennia 15.10.2024) [in Ukrainian].

3. Poriadok zastosuvannia koshtorysnykh norm ta normatyviv z tsinoutvorennia pry vyznachenni vartosti proektnykh, naukovo-proektnykh, vyshukuvalnykh robit ta ekspertyzy proektnoi dokumentatsii na budivnytstvo (The procedure for applying estimation norms and regulations on pricing when determining the cost of design, scientific design, search works and examination of design documentation for construction), zatverdzhenyi nakazom Ministerstva rozvytku hromad ta terytorii Ukrainy 25 chervnia 2021 roku No. 162 // zareiestrovano v Ministerstvi yustytsii Ukrainy 17 veresnia 2021 roku za No. 1226/36848. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1226-21#Text (data zvernennia 15.10.2024) [in Ukrainian].

4. Poriadok rozroblennia proektnoi dokumentatsii na budivnytstvo obiektiv (The procedure for developing project documentation for the construction of facilities), zatverdzhenyi nakazom Ministerstva rozvytku hromad ta terytorii Ukrainy vid 16.05.2011 № 45 // zareiestrovano v Ministerstvi yustytsii Ukrainy 1 chervnia 2011 roku za No. 651/19389. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0651-11#Text (data zvernennia 15.10.2024) [in Ukrainian].

5. Koshtorysni normy Ukrainy. Nastanova z vyznachennia vartosti proektnykh, naukovo-proektnykh, vyshukuvalnykh robit ta ekspertyzy proektnoi dokumentatsii na budivnytstvo (Instructions for determining the cost of design, scientific design, search works and examination of project documentation for construction). Kyiv, 2021. 33 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

6. MV 03450778-747:2015 Metodychni vkazivky z vyznachennia vartosti proektno-vyshukuvalnykh robit na budivnytstvo avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia ta transportnykh sporud (Methodical instructions for determining the cost of design and research works for the construction of public highways and transport facilities). Kyiv, 2015. 26 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

7. DBN A.2.2-3:2014 Sklad ta zmist proektnoi dokumentatsii na budivnytstvo (Composition and content of project documentation for construction). Kyiv, 2022. 33 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

8. Metodychni rekomendatsii z formuvannia sobivartosti proektnykh robit z urakhuvanniam vymoh polozhen (standartiv) bukhhalterskoho obliku (Methodical recommendations for the formation of the cost of project works taking into account the requirements of accounting provisions (standards), approved by the order of the State Committee for Construction), zatverdzheni nakazom Derzhavnoho komitetu budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovoi polityky Ukrainy vid 29 bereznia 2002 roku No. 64 (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

Artem Bezuglyi, *Ph.D., Associate Prof., https://orcid.org/0000-0003-3883-7968*
Yuliya Bibyk, *Ph.D., https://orcid.org/0000-0002-7197-8909*
Ihor Hresko, *https://orcid.org/0000-0002-7175-7436*

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

CONCEPTUAL PRINCIPLES FOR DETERMINING THE COST OF PROJECT WORKS FOR ROAD WORKS AND SERVICES IN THE CONTEXT OF INTERNATIONAL EXPERIENCE

Abstract

Introduction. The road sector is one of the industries governed by a large number of laws, regulations, and other normative-legal acts, many of which directly or indirectly affect it. Some of these require adaptation to the current conditions of the modern market and integration with the ongoing processes in the industry. Implementing new or amending existing normative-legal acts and regulatory documents is usually a complex process. Currently, Ukraine's economy is in a transitional period, largely due to military actions on its territory. Thus, addressing issues related to determining the cost of project works has become more relevant than ever. The concept of "price" is closely linked to the pricing factors that shape it, with pricing being a key part of achieving the strategic goals of enterprises. Pricing policy plays an important role in the lifecycle of project enterprises as it influences their development, creates a market environment, and allows for the continuation of activities and strategic planning for future development. Establishing a sound pricing policy involves research and gathering information about the market for road works and services, analyzing economic factors, and preparing projects to meet market needs and optimize their implementation. Changes in approaches to determining the cost of project works will help establish a sound pricing policy for project enterprises, which will contribute to the development of the road sector and, ultimately, the recovery of our country.

Problem statement. In modern economic science, there are different viewpoints on the formation of project work costs. By developing theoretical foundations and systematizing analytical data, many Ukrainian and foreign scientists have explored the issues of construction and design pricing, offering insights into various pricing methods used in determining project costs. For many years, Ukrainian scientists have studied and compared project cost determination practices worldwide, where different methods and approaches are applied, with the aim of creating the most favorable pricing conditions for all participants in the investment process when determining project costs and implementing them in Ukraine. The works of scholars such as Günter Löhnert, K. A. Schreibe, S.-Yu. V. Marciukaitis, M. A. Karpovich, M. A. Simakova, and others, who focused on construction pricing and practical methodological approaches to project cost determination using various pricing methods, are particularly noteworthy.

Today, the process of forming a contract price is labor-intensive and presents additional challenges for market participants, leading to corruption risks. At the same time, project enterprises propose new concepts and project solutions that will drive development in the current and future contexts of our country, with direct economic, social, and environmental impacts on the population and the country as a whole. One important task today is to review the existing pricing system, particularly regarding the determination of project work costs for road works and services.

Objective. Improving the regulatory framework requires significant effort to enhance the legal regulation of the road sector as a whole. The purpose of this study is to analyze the current base of normative documents used to determine the cost of project works in Ukraine, study international experience in determining the cost of design work, and provide recommendations for improving the current pricing system for project works in Ukraine.

Materials and methods. Methodological approaches used to determine the cost of works or services play a decisive role in the pricing process. The main approaches for determining the cost of project works are as follows: applying percentage indicators of project work costs to the calculation base; based on price

catalogs for project works; and using the cost-calculation method. Each of these methods has its advantages and disadvantages.

The work on this article includes:

— analysis of the existing pricing system regarding project work cost determination;

— analysis of international experience in determining the cost of project works;

— monitoring of problematic issues related to determining project work costs for road works and services;

— preparation of recommendations for improving the determination of project work costs for road works and services.

Results. Research and generalization of international experience, combined with the systematization of domestic experience in project cost determination, as well as the analysis of design-related challenges, will contribute to the development of cost estimation norms for project works and, in the future, lead to the development and implementation of changes that will form the basis for a separate normative document setting the rules for determining project work costs for road works and services. This, in turn, will complement and improve pricing mechanisms for determining project costs.

Conclusions. Analyzing differences in the formation of estimated project costs across different countries will help refine the methodology for determining project work costs and address many pressing issues facing the road sector. Improving standards for determining design costs in the road sector will enhance their technical and economic justification and establish approaches to determining project work costs for road works and services, thereby shaping the pricing policy for project enterprises.

Keywords: project works, road works and services, international experience.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.040

УДК 338.5:625.7/.8

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

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

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ВАРТОСТІ ПОСЛУГ З УТРИМАННЯ ПУНКТІВ ПРОПУСКУ ЧЕРЕЗ ДЕРЖАВНИЙ КОРДОН ДЛЯ АВТОМОБІЛЬНОГО СПОЛУЧЕННЯ

Анотація

Вступ. У статті розглядається методологія визначення вартості послуг з утримання пунктів пропуску через державний кордон для автомобільного сполучення. Дослідження акцентує увагу на важливості встановлення ефективної потреби в ресурсах для забезпечення безперебійної роботи пунктів пропуску, що є критично важливим для національної безпеки та економічного розвитку України.

Проблематика. В умовах сучасного розвитку інфраструктурної галузі визначення вартості послуг з комплексного утримування та технічного обслуговування будівель, споруд і прибудинкової території в межах пункту пропуску через державний кордон для автомобільного сполучення набуває особливої важливості. Забезпечення безперебійної та ефективної роботи цих пунктів вимагало системного підходу до оцінювання наданих послуг, а також розроблення методики, що ураховує різноманітні аспекти утримання і технічного обслуговування інфраструктурних об'єктів. Важливим етапом у плануванні та ефективному управлінні ресурсами стає аналіз вартості таких послуг, оскільки від нього залежить якість надання послуг, їх доступність і конкурентоспроможність. У зв’язку із цим виникла нагальна необхідність у розробленні науково обґрунтованої методики визначення вартості послуг, яка враховуватиме специфіку функціонування таких об'єктів.

Мета. Проаналізувати методичні підходи щодо визначення вартості послуг з утримання пунктів пропуску через державний кордон для автомобільного сполучення. Реалізація цього завдання сприятиме покращенню ефективності управління та оптимізації витрат, що у свою чергу приведе до створення сучасних, конкурентоспроможних та високоефективних систем технічного обслуговування і утримання об'єктів інфраструктури при пунктах пропуску через державний кордон для автомобільного сполучення.

Матеріали та методи. Стаття носить оглядовий характер. У статті використовується системний підхід, який представляє собою сукупність загальнонаукових методологічних принципів (вимог), в основі яких лежить розгляд об’єктів як систем.

Результати. Застосування підходів, наведених у цій статті, дозволить встановлювати науково обґрунтовану систему визначення потреби у матеріальних, технічних і трудових ресурсах на надання послуг з комплексного утримування та технічного обслуговування громадських будинків з господарськими (допоміжними) будівлями та спорудами, прибудинкової території в межах пункту пропуску через державний кордон для автомобільного сполучення з урахуванням сучасного світового досвіду.

Висновки. У цій статті на основі вивчення сучасної практики, літературних джерел і положень нормативно-правових актів і нормативних документів було сформовано методичні підходи до визначення вартості послуг з утримання пунктів пропуску через державний кордон для

автомобільного сполучення, які дозволять оптимізувати підхід до витрат на утримання та обслуговування, що, у свою чергу, дозволить оптимізувати витрати ресурсів та ефективно використовувати бюджетні кошти.

Ключові слова: витрати, калькуляційний метод, норми часу, пункт пропуску через державний кордон, служба замовника, статті витрат, утримання.

Вступ

Постановою Кабінету Міністрів України [1] було затверджено загальні вимоги до облаштування пунктів пропуску через державний кордон, які є обов'язковими для урахування під час розроблення технічного завдання на проєктування будівництво та реконструкції пунктів пропуску. Відповідно до [5] пункти пропуску через державний кордон для автомобільного сполучення (далі — пункти пропуску) було передано до сфери управління Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України. Це рішення стало важливим у процесі модернізації та оптимізації управління державними кордонами України.

Стратегію розвитку пунктів пропуску та розширення пропускних спроможностей західного кордону України було презентовано на конференції «Doing Business in Ukraine» у Вашингтоні [3]. Відповідаючи на зростаючі потреби, Україна активно працює над розширенням пропускних спроможностей свого західного кордону.

Протягом 2023 року Агентством відновлення було розпочато тендерні процедури на проєктування та ремонтування пунктів пропуску. У планах — модернізування 15 пунктів пропуску на кордоні з Молдовою, двох пунктів пропуску з Польщею та одного пункту пропуску з Румунією [3].

Залучення ресурсів на модернізування прикордонної інфраструктури здійснюється завдяки співпраці з міжнародними партнерами. Зокрема, у 2023 році було підготовлено перші заявки в рамках програми Європейського Союзу «Connecting Europe Facility» (CEF), які були затверджені Єврокомісією. Ці заявки охоплюють модернізацію п'яти пунктів пропуску в чотирьох областях України: Волинській, Львівській, Закарпатській та Чернівецькій [3].

На початку 2023 року Агентство відновлення та розвитку інфраструктури України отримало можливість залучити фінансування від уряду США через механізми USAID для реалізації програми розбудови пунктів пропуску.

Ураховуючи відсутність нормативного забезпечення для розрахування вартості послуг з комплексного утримування пунктів пропуску, а також той факт, що норми [2] не ураховували весь перелік послуг на обслуговування, виникла необхідність у розробленні ефективної методики для розрахування вартості цих послуг.

Основна частина

На сьогоднішній день управління пунктами пропуску через державний кордон для автомобільного сполучення здійснюють відповідно до [5]. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України відіграє ключову роль у системі центральних органів виконавчої влади, відповідальних за формування та реалізацію державної політики у сфері розвитку, будівництва, реконструкції, ремонту, облаштування та модернізації пунктів пропуску через державний кордон. Одним із центральних органів виконавчої влади, що реалізує цю політику, є Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України (далі — Агентство). Агентство відповідальне за будівництво, ремонт, облаштування та модернізацію пунктів пропуску через державний кордон для автомобільного сполучення, а також їх утримання. У рамках цієї політики було погоджено передачу об’єктів державної власності пунктів пропуску через державний кордон для автомобільного сполучення до сфери управління Агентства.

Для забезпечення ефективної реалізації цього рішення, Державна митна служба України разом із Агентством затвердили план заходів із передачі об’єктів державної власності, надали ці об’єкти з метою розміщення представників Державної прикордонної служби України, Державної митної

служби України та їх відокремлених підрозділів, а також, у разі потреби, представників інших центральних органів виконавчої влади для здійснення визначених законодавством повноважень. При цьому, передача об’єктів державної власності суб'єктам господарювання та підприємствам сфери обслуговування здійснюють відповідно до [6]. Для розрахування чисельності та раціонального завантаження робітників, які зайняті утриманням будинків, споруд і прибудинкових територій, закріплення за ними конкретних об'єктів (дільниць), планування матеріально-технічних ресурсів, необхідних для виконання робіт з утримання будинків, споруд і прибудинкових територій використовувались показники [2].

У зв'язку із цим виникла необхідність у розрахуванні вартості послуг з утримання пунктів пропуску, для чого було розроблено «Методику визначення вартості послуг з утримання пунктів пропуску через державний кордон для автомобільного сполучення» (далі — Методика).

Методика встановлює порядок розрахунку вартості послуг, що надають Служби відновлення та розвитку інфраструктури в областях для утримання цих пунктів пропуску, які перебувають у них на балансі. Ця Методика розроблена на основі чинних нормативно-правових актів і документів [1, 2, 5], що регулюють питання утримання пунктів пропуску, та застосовують у рамках договорів між відповідними службами та виконавцями послуг.

Порядок визначення вартості послуг утримання пунктів пропуску відбувається на таких стадіях (**рис. 1**).

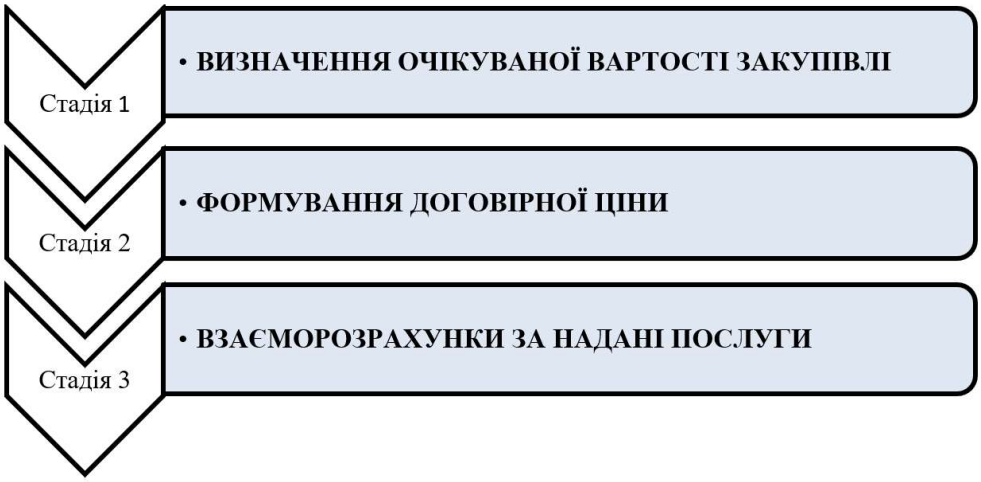


Рисунок 1 — Стадії визначення вартості послуг з утримання пунктів пропуску через державний кордон для автомобільного сполучення

На стадії 1 загальну вартість послуг з утримання пунктів пропуску визначають шляхом застосування калькуляційного методу, який передбачає врахування усіх необхідних статей витрат. До основних складових калькуляції відносять:

- витрати на оплату праці робітників;
- витрати на експлуатацію машин і механізмів;
- прямі матеріальні витрати;
- інші прямі витрати;
- загальновиробничі витрати;
- адміністративні витрати;
- кошторисний прибуток;
- кошти на покриття ризиків;
- кошти на покриття додаткових витрат, пов’язаних з інфляційними процесами;
- кошти на утримання служби замовника.

Під час визначення очікуваної вартості закупівлі, статті витрат розраховують згідно з наступними положеннями.

Зокрема, розмір коштів на утримання Служб відновлення та розвитку інфраструктури в областях визначають на підставі показника, розрахованого Службами, та погоджують Агентством.

Витрати на оплату праці робітників включають основну і додаткову заробітну плату, а також заохочувальні, компенсаційні та інші грошові виплати, відповідно до чинного законодавства. Для обґрунтування рівня заробітної плати, замовнику рекомендують провести аналіз ринку праці в регіоні, використовуючи дані з відкритих джерел, таких як електронна система закупівель «Prozorro» та інші торговельні електронні майданчики, спеціалізовані інформаційно-аналітичні видання, а також інформацію, отриману через ринкові консультації. Витрати праці робітників розраховують за нормами часу. Для робіт, на які норми часу відсутні, необхідно розробити тимчасові норми на основі актів хронометражу або існуючих розрахунків витрат ресурсів. Перелік та обсяги послуг з утримання пунктів пропуску визначають відповідно до їх техніко-економічних показників, таких як загальна площа приміщень, площа адміністративних будівель, кількість поверхів та інші параметри.

Витрати на експлуатацію машин та механізмів ураховують час їхньої експлуатації згідно з нормами часу, відповідно до [7]. Вартість визначають за середніми показниками на поточний період.

Прямі матеріальні витрати включають витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, які безпосередньо використовують для надання послуг з утримання пунктів пропуску. Розмір цих витрат визначають розрахунковим методом. Важливо, що замовник визначає обсяги та кількість витратних матеріалів на основі виробничих норм і вимог нормативних документів.

До статті «Інші прямі витрати» відносять всі виробничі витрати, які не охоплені попередніми категоріями, але безпосередньо пов'язані з наданням послуг з утримання пунктів пропуску. Ці витрати включають відрахування на єдиний соціальний внесок, що нараховують на заробітну плату робітників, витрати на їх відрядження, а також витрати на повне відновлення та капітальний ремонт основних фондів. Останні здійснюють у вигляді амортизаційних відрахувань, які враховують вартість основних виробничих фондів для реконструкції, модернізації та капітального ремонту. Додатково до цієї статті включають витрати на амортизацію основних фондів, що перебувають в користуванні виконавця послуг на умовах оренди або лізингу, а також орендна плата за такі фонди.

Загальновиробничі витрати виконавця послуг включають широкий спектр витрат, пов'язаних із обслуговуванням, управлінням та організуванням надання послуг з утримання пунктів пропуску, які безпосередньо не віднесені до конкретного об’єкта витрат. До них належать витрати на основну та додаткову заробітну плату працівників, включно із заохочувальними та компенсаційними виплатами, а також витрати на службові відрядження. Окремо враховують витрати на амортизацію основних засобів і нематеріальних активів, утримання, експлуатацію, ремонт, страхування та оренду основних засобів, а також витрати на комунальні послуги, транспортне обслуговування, оплату послуг банків та інших фінансових установ. До загальновиробничих витрат також входять витрати на матеріально-технічне забезпечення, утримання протипожежної та сторожової охорони, охорону праці, а також інші витрати, визначені відповідними методичними рекомендаціями.

Адміністративні витрати охоплюють загальногосподарські витрати, пов’язані з обслуговуванням та управлінням виконавця послуг. До складу цих витрат включають витрати на основну та додаткову заробітну плату, заохочувальні, компенсаційні та інші грошові виплати працівників апарату управління разом з відрахуваннями на єдиний соціальний внесок; витрати на службові відрядження і транспортне обслуговування працівників; а також витрати на матеріально-технічне забезпечення апарату управління та інші загальногосподарські витрати, передбачені чинними нормативними документами.

Під час визначення очікуваної вартості закупівлі послуг з утримання пунктів пропуску, за рішенням замовника, можуть бути враховані кошти на покриття ризиків та додаткових витрат,

зумовлених інфляційними процесами. Зокрема, кошти на покриття ризиків призначені для відшкодування витрат, пов'язаних із необхідністю виконання додаткових робіт або надання додаткових послуг, характер і методи яких не можна точно визначити на етапі формування очікуваної вартості закупівлі. Крім того, ці кошти враховують можливе збільшення вартості надання послуг через непередбачувані додаткові витрати або зміну будівельних норм і нормативних документів.

Кошти на покриття додаткових витрат, пов'язаних з інфляційними процесами, призначені для відшкодування збільшення вартості трудових і матеріально-технічних ресурсів, яке може статися внаслідок інфляції з моменту складання очікуваної вартості закупівлі. Вони розраховують з урахуванням строків утримання пунктів пропуску, за умови, що цей строк перевищує шість місяців. Розрахунок коштів базується на прогнозних індексах цін виробників промислової продукції, які встановлює Кабінет Міністрів України. Під час дії воєнного стану розрахунки проводять на основі індексів, визначених прогнозом основних макроекономічних показників економічного і соціального розвитку України. Визначений розмір цих коштів включають до калькуляції кошторисної вартості утримання пунктів пропуску.

На стадії формування договірної ціни та проведення взаєморозрахунків за надані послуги використовують результати розрахунків очікуваної вартості для встановлення конкретної ціни договору, яку погоджують сторони. Договірна ціна уточнює фінансові умови надання послуг і містить узгоджені суми для всіх статей витрат, що дозволяє здійснювати взаєморозрахунки між замовником і виконавцем.

Договірну ціну та ціну пропозиції учасника процедури закупівель визначають на основі укрупнених показників вартості послуг з утримання пунктів пропуску. Ці показники розраховують учасники на власний розсуд, але повинні відповідати вимогам, викладеним у технічному завданні або технічній специфікації, зокрема щодо якості матеріалів. Замовник у тендерній документації або в оголошенні про проведення спрощеної закупівлі повинен вказати суму коштів на покриття ризиків усіх учасників, а також суму коштів на покриття додаткових витрат, пов'язаних з інфляційними процесами, якщо строк надання послуг перевищує 6 місяців.

Порядок погодження договірної ціни визначають замовники у тендерній документації або в оголошенні про проведення закупівлі. Документи та обґрунтування розрахунків укрупнених показників вартості, як правило, не надають під час погодження договірної ціни. Договірна ціна виступає як кошторис вартості послуг з утримання пунктів пропуску та використовують під час проведення взаєморозрахунків. Договірну ціну приймають як тверду за укрупненими показниками вартості.

Для забезпечення контролю за кількісними та якісними характеристиками матеріалів, можливості проведення взаєморозрахунків за надані послуги, замовник може передбачати умови договору, за якими виконавець надає розшифрування укрупнених показників вартості або відомості ресурсів із цінами чи без них. Це також сприяє визначенню об'єктивного розміру компенсації окремих статей витрат.

На стадії 3 взаєморозрахунки за надані послуги проводять відповідно до умов договору. Як правило, вартість послуг з утримання пунктів пропуску визначають на підставі укрупнених показників вартості, зазначених у договірній ціні, без надання підтверджуючих документів. Для цього використовують первинні облікові документи, такі як «Акт приймання наданих послуг» та «Довідка про вартість наданих послуг та витрати».

Під час взаєморозрахунків кошти на покриття додаткових витрат, пов'язаних з інфляційними процесами, та кошти на покриття ризиків враховують в «Актах приймання наданих послуг» у порядку, визначеному договором, та у межах розмірів коштів, передбачених договірною ціною.

Сплату коштів на утримання служби замовника здійснюють за відсотковим показником, встановленим на стадії складання договірної ціни, пропорційно фактично наданим обсягам послуг з утримання пунктів пропуску.

Висновки

Проаналізувавши нормативно-законодавчу базу, щодо регулювання пунктів пропуску через державний кордон, можна сказати про те, що після прийняття [5] виникла необхідність у чіткому регулюванні та ефективному використанні ресурсів управління пунктами пропуску. Ураховуючи це була розроблена та затверджена «Методика визначення вартості послуг з утримання пунктів пропуску через державний кордон для автомобільного сполучення» М 42.1-37641918-789:2024. Розробленя Методики дозволило створити системний підхід щодо розрахування витрат, що ураховує всі необхідні статті витрат, включаючи оплату праці, експлуатацію машин, матеріальні та адміністративні витрати, а також кошти на покриття ризиків і додаткових витрат, спричинених інфляцією.

Застосування Методики забезпечує прозорість у визначенні договірної ціни та взаєморозрахунків між замовниками та виконавцями послуг, що сприяє економічній обґрунтованості та ефективності фінансових операцій. Це дозволяє більш точно планувати витрати на утримання пунктів пропуску, а також забезпечує контролювання за кількісними та якісними характеристиками матеріалів, що використовують під час надання послуг.

Таким чином, впровадження та використання Методики є важливим кроком у напрямку забезпечення ефективного управління пунктами пропуску через державний кордон, що сприяє підвищенню рівня організації та прозорості у сфері надання послуг з їх утримання.

Список літератури

1. Про затвердження загальних вимог до облаштування пунктів пропуску через державний кордон. Постанова Кабінету Міністрів України від 17.08.2002 № 1142 // База даних Законодавство України / Верховна рада Укрїини. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1142-2002-%D0%BF#Text (дата звернення 17.09.2024).

2. Про затвердження Норм часу та матеріально-технічних ресурсів, норм обслуговування для робітників при утриманні будинків, споруд і прибудинкових територій. Наказ Мінрегіону від 25.12.2013 № 603 // База даних Законодавство України / Верховна рада Укрїини. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0151-14#Text (дата звернення 17.09.2024).

3. Агентство відновлення представило у Вашингтоні плани модернізації прикордонної інфраструктури. URL: https://restoration.gov.ua/press/news/57291.html (дата звернення 17.09.2024).

4. Україна стала повноцінною учасницею програми ЄС «Механізм Сполучення Європи». URL: https://mtu.gov.ua/news/34941.html (дата звернення 17.09.2024).

5. Деякі питання управління пунктами пропуску через державний кордон для автомобільного сполучення: Постанова Кабінету міністрів України від 24.03.2023 № 280 // База даних Законодавство України / Верховна рада Укрїини. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ 280-2023-%D0%BF#Text (дата звернення 17.09.2024).

6. Деякі питання оренди державного та комунального майна. Постанова Кабінету міністрів України від 03.05.2020 № 483 // База даних Законодавство України / Верховна рада Укрїини. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2020%D0%BF#Text (дата звернення 17.09.2024).

7. СОУ 42.1-37641918-097 Автомобільні дороги. Норми часу на роботи з експлуатаційного утримання. Київ, 1997. 55 с. (Інформація та документація).

References

1. Pro zatverdzhennia zahalnykh vymoh do oblashtuvannia punktiv propusku cherez derzhavnyi kordon (On the approval of general requirements for the regulation of checkpoints across the state border). Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 17.08.2002 No. 1142 // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukriyny URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1142-2002-%D0%BF#Text (data zvernennia 17.09.2024) [in Ukrainian].

2. Pro zatverdzhennia Norm chasu ta materialno-tekhnichnykh resursiv, norm obsluhovuvannia dlia robitnykiv pry utrymanni budynkiv, sporud i prybudynkovykh terytorii (On the approval of the norms of time and material and technical resources, norms of service of workers in the maintenance of buildings, structures and adjacent territories). Nakaz Minrehionu vid 25.12.2013 No. 603 // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukriyny. URL: https://zakon.rada.gov.ua/ laws/show/z0151-14#Text (data zvernennia 17.09.2024) [in Ukrainian].

3. Ahentstvo vidnovlennia predstavylo u Vashynhtoni plany modernizatsii prykordonnoi infrastruktury (The recovery agency presented plans to modernize the border infrastructure in Washington). URL: https://restoration.gov.ua/press/news/57291.html (data zvernennia 17.09.2024) [in Ukrainian].

4. Ukraina stala povnotsinnoiu uchasnytseiu prohramy YeS “Mekhanizm Spoluchennia Yevropy” (Ukraine became a full participant of the EU program “Mechanism of Connecting Europe”). URL: https://mtu.gov.ua/news/34941.html (data zvernennia 17.09.2024) [in Ukrainian].

5. Deiaki pytannia upravlinnia punktamy propusku cherez derzhavnyi kordon dlia avtomobilnoho spoluchennia (Some issues of management of checkpoints across the state border for road traffic): Postanova Kabinetu ministriv Ukrainy vid 24.03.2023 No. 280 // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukriyny. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/280-2023-%D0%BF#Text (data zvernennia 17.09.2024) [in Ukrainian].

6. Deiaki pytannia orendy derzhavnoho ta komunalnoho maina (Some issues of leasing state and communal property). Postanova Kabinetu ministriv Ukrainy vid 03.05.2020 No. 483 // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukriyny. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2020%D0%BF#Text (data zvernenia 17.09.2024) [in Ukrainian].

7. SOU 42.1-37641918-097 Avtomobilni dorohy. Normy chasu na roboty z ekspluatatsiinoho utrymannia. (Automobile roads. Time standards for maintenance work) Kyiv, 1997. 55 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

Artem Bezuglyi, *Ph.D., Associate Prof., https://orcid.org/0000-0003-3883-7968*
Anatolii Tsynka, *Ph.D., http://orcid.org/0000-0002-0357-2325*
Sergii Illyash, *Ph.D., https://orcid.org/0000-0002-3001-8012*
Yulia Makovska, *Ph.D., https://orcid.org/0000-0003-1107-7727*
Tetiana Stasiuk, *https://orcid.org/0000-0001-5921-4503*
Liudmyla Parasiuk, *https://orcid.org/0000-0002-2482-44064*

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

METHODOLOGICAL APPROACHES TO DETERMINING THE COST OF MAINTAINING BORDER CROSSING POINTS FOR ROAD TRANSPORT

Abstract

Introduction. The article examines the methodology for determining the cost of services for maintaining border crossing points for road transport. The research highlights the importance of establishing effective resource needs to ensure the uninterrupted operation of these points, which is critical for national security and Ukraine’s economic development.

Problem Statement. Given the current development of the infrastructure sector, determining the cost of comprehensive maintenance and technical servicing of buildings, structures, and adjacent areas within a road border crossing point is of particular importance. Ensuring the smooth and efficient operation of these points requires a systematic approach to evaluating provided services and developing a methodology that

takes into account various aspects of maintaining and servicing infrastructure objects. Analyzing the cost of such services becomes a crucial stage in planning and effective resource management, as it affects service quality, availability, and competitiveness. Therefore, there is an urgent need to develop a scientifically sound methodology for determining service costs, considering the specificities of these facilities' operation.

Objective. To analyze methodological approaches to determining the cost of services for maintaining border crossing points for road transport. Achieving this goal will improve management efficiency and optimize expenses, ultimately leading to the creation of modern, competitive, and highly effective systems for the technical servicing and maintenance of infrastructure objects at road border crossing points.

Materials and Methods. The article is of a review nature. A systematic approach is used, representing a set of general scientific methodological principles based on the examination of objects as systems.

Results. The application of the approaches outlined in this article will enable the establishment of a scientifically grounded system for determining the need for material, technical, and labor resources for providing comprehensive maintenance and technical servicing of public buildings with utility (auxiliary) facilities and structures, and the adjacent territory within a road border crossing point, considering modern global practices.

Conclusions. Based on the study of contemporary practices, literature sources, and the provisions of legal acts and regulatory documents, this article has developed methodological approaches to determining the cost of services for maintaining border crossing points for road transport. These approaches will help optimize expenditure on the maintenance and servicing of border crossing points, leading to more efficient resource use and optimal allocation of budget funds.

Keywords: border crossing point, calculation method, expenses, customer service, time standards, cost items, maintenance.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.048

УДК 338.5:625.7/.8

Бондар О. А.[1], *д-р екон. наук, проф., https://orcid.org/0000-0002-5382-2548*
Тесленко П. П.[2], *канд. техн. наук, https://orcid.org/0009-0006-3456-4346*
Чирва Т. Л.[2], *канд. техн. наук, доц., https://orcid.org/0000-0002-6657-5443*
Крикун А. П.[2], *https://orcid.org/0009-0006-5869-9397*

[1]*Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна*
[2]*Київський національний університет будівництва та архітектури (КНУБА), м. Київ, Україна*

ЦИФРОВИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ BIM-МЕНЕДЖМЕНТУ

Анотація

Вступ. У даній статті досліджуються основні цифрові інструменти BIM-менеджменту, їхня функціональність і вплив на процеси управління будівельними проєктами. Розглядаються актуальні тенденції у розвитку BIM-інструментарію, а також його значення для майбутнього будівельної галузі.

Проблематика. Впровадження BIM (Building Information Modeling) стало революційним кроком у будівельній галузі, але разом із цим виникли нові виклики, пов'язані з адаптацією та використанням цифрових інструментів BIM-менеджменту. Однією з ключових проблем є недостатня стандартизація та інтеграція різних програмних продуктів, що призводить до фрагментованості інформації та ускладнення взаємодії між учасниками будівельних проєктів. Багато компаній стикаються із труднощами в інтеграції різних інструментів BIM через відсутність єдиного інформаційного середовища та стандартизованих процесів.

Другою важливою проблемою є відсутність належної кваліфікації та знань у сфері BIM-менеджменту серед фахівців будівельної галузі. Низький рівень цифрової грамотності та недоліки у підготовці спеціалістів уповільнюють процес впровадження інноваційних технологій, а також знижують ефективність використання цифрових інструментів. Це особливо актуально для малих і середніх компаній, які часто не мають ресурсів для навчання персоналу або придбання дорогого програмного забезпечення.

Ще однією проблемою є управління великими обсягами даних, які генеруються в процесі проєктування та будівництва за допомогою BIM. Забезпечення належної координації та управління цими даними є критично важливим для успішного виконання проєктів, але часто стає викликом через складність і різнорідність інформації. Помилки в управлінні даними можуть призвести до затримок, перевищення бюджету та порушення термінів будівництва.

Також варто відзначити проблеми з правовим регулюванням і нормативною базою, яка не завжди встигає за розвитком технологій. Це створює правові прогалини, особливо у сфері відповідальності за використання BIM-моделей та управління інформаційними процесами в будівництві.

Таким чином, хоч цифровий інструментарій BIM-менеджменту відкриває нові можливості для підвищення ефективності будівництва, його впровадження супроводжується низкою проблем. Вирішення цих викликів вимагає як технічних інновацій, так і зміни підходів до управління проєктами, освіти фахівців та вдосконалення нормативної бази.

Це розширене бачення проблематики демонструє ключові виклики, з якими стикається галузь, і допомагає окреслити напрями для подальших досліджень та вирішення проблем.

Мета. Дослідження сучасного цифрового інструментарію BIM-менеджменту, визначення його основних функцій та можливостей, а також оцінка впливу цих інструментів на ефективність управління будівельними проєктами. У статті також аналізуються основні проблеми, з якими

стикаються фахівці під час впровадження BIM-технологій, та пропонуються шляхи їх подолання для оптимізації процесів проєктування, будівництва та експлуатації будівель.

Матеріали та методи. Стаття носить дослідницький характер. У рамках цього дослідження були використані наступні матеріали та методи для аналізу цифрового інструментарію BIM-менеджменту:

Аналіз літератури та нормативних документів. Проведено детальний огляд наукових публікацій, міжнародних стандартів, рекомендацій та нормативної бази щодо використання BIM-технологій. Зокрема, були досліджені документи, що стосуються інтеграції цифрових інструментів в управлінні будівельними проєктами, таких як ISO 19650 та інші національні стандарти.

Метод порівняльного аналізу. Для оцінки ефективності різних інструментів BIM-менеджменту було проведено порівняльний аналіз програмних продуктів (Autodesk Revit, Navisworks, Bentley Systems, Trimble Connect та інших) на основі таких критеріїв, як функціональність, інтеграційні можливості, підтримка стандартів, зручність у використанні та доступність для різних типів проєктів.

Емпіричні дослідження. Проведено опитування серед фахівців у сфері будівництва та BIM-менеджерів для виявлення ключових проблем, пов'язаних із використанням цифрових інструментів у проєктуванні та управлінні. Аналіз результатів опитування допоміг з’ясувати, які інструменти використовуються найчастіше, з якими труднощами стикаються користувачі, та які переваги і недоліки цих інструментів вони відзначають.

Метод кейс-стаді. Було проаналізовано кілька реальних проєктів будівництва, в яких застосовувалися інструменти BIM-менеджменту. Дослідження охоплювало етапи від проєктування до будівництва, з акцентом на використанні цифрових моделей для координації робіт, управління ресурсами та контролю якості.

Метод моделювання. Для оцінки потенційного впливу впровадження нових BIM-інструментів на ефективність проєктів, було використано моделювання процесів будівництва на основі інформаційних моделей. Цей метод дозволив симулювати різні сценарії управління та оцінити їхні результати в умовах реальних будівельних проєктів.

Отримані дані були проаналізовані за допомогою методів статистичного аналізу, що дозволило зробити висновки щодо ефективності використання різних інструментів BIM-менеджменту та запропонувати рекомендації для їх впровадження у практику.

Результати. Цифровий інструментарій BIM-менеджменту має значний потенціал для підвищення ефективності управління будівельними проєктами, але впровадження цих інструментів потребує вирішення ряду проблем, пов’язаних із кваліфікацією фахівців, інтеграцією технологій та нормативно-правовою базою.

Висновки. Дослідження підтвердило, що цифровий інструментарій BIM-менеджменту має значний потенціал для трансформації будівельної галузі, підвищення ефективності управління проєктами та поліпшення координації між учасниками проєктного процесу. Використання таких інструментів дозволяє знизити витрати, скоротити терміни будівництва, мінімізувати кількість помилок та підвищити загальну якість проєктних рішень.

Проте впровадження BIM-технологій і цифрових інструментів управління супроводжується низкою проблем. Найбільшими викликами залишаються недостатня кваліфікація фахівців, складність інтеграції різних програмних продуктів та великий обсяг даних, якими потрібно ефективно управляти. Окрім того, відсутність стандартизованих підходів і нормативно-правових вимог на національному рівні ускладнює широке застосування BIM у практиці будівельних компаній.

Таким чином, для успішного впровадження цифрового інструментарію BIM-менеджменту необхідно забезпечити належну підготовку фахівців, створення єдиних стандартів обміну даними та подальший розвиток правового регулювання. Поступове вирішення цих проблем дозволить розкрити повний потенціал BIM-технологій та суттєво підвищити ефективність будівельних проєктів у майбутньому.

Ключові слова: будівельні дані, BIM, BIM-менеджмент, інтеграція програмного забезпечення, інформаційне моделювання будівель, координація проєктів, стандартизація, управління будівельними проєктами, цифровий інструментарій, 4D моделювання, 5D моделювання.

Вступ

Сучасний розвиток будівельної галузі невід'ємно пов'язаний із впровадженням новітніх технологій, серед яких інформаційне моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM) займає ключову позицію. Використання BIM-технологій дозволяє створювати цифрові моделі об'єктів на всіх етапах життєвого циклу, від проєктування до експлуатації та демонтажу. Це забезпечує більш ефективну взаємодію між учасниками проєкту, зменшує ймовірність помилок, підвищує прозорість процесів і дозволяє оптимізувати витрати.

Одним із важливих аспектів BIM-технологій є BIM-менеджмент — система управління процесами створення, обробки та використання інформаційних моделей. Цифрові інструменти, які використовуються у BIM-менеджменті, відіграють вирішальну роль у забезпеченні успішного виконання проєктів. Завдяки таким інструментам, як програмне забезпечення для координації, контролю, аналізу та прогнозування, можна значно підвищити ефективність управління та якість виконання будівельних робіт.

Основна частина

Визначення та роль BIM-менеджменту. Інформаційне моделювання будівель (BIM) є комплексним процесом, що включає створення і використання цифрових моделей для управління всіма аспектами будівництва, починаючи з концептуального проєктування і закінчуючи експлуатацією будівлі. BIM-менеджмент — це система управління цими процесами, яка включає координацію, контроль і оптимізацію всіх учасників проєкту через використання BIM-технологій. *Основне завдання BIM-менеджменту* — забезпечити ефективну взаємодію між архітекторами, інженерами, будівельниками та власниками, оптимізуючи процес проєктування і будівництва за допомогою цифрових інструментів.

Цифровий інструментарій BIM-менеджменту. На сучасному етапі розвитку BIM є широкий вибір програмного забезпечення для управління інформаційними моделями. Серед них найбільш популярними є:

- Autodesk Revit — система для створення та редагування тривимірних моделей будівель і конструкцій.
- Navisworks — інструмент для виявлення колізій і координації між різними дисциплінами проєктування.
- Bentley Systems — платформа, що забезпечує управління інфраструктурними проєктами, включаючи будівництво та експлуатацію.
- Trimble Connect — хмарна платформа для співпраці між учасниками проєкту в режимі реального часу.

Кожен із цих інструментів має свої сильні сторони, проте їхнє ефективне використання вимагає інтеграції та підтримки міжплатформної сумісності. Зокрема, обмін даними за допомогою стандарту IFC (Industry Foundation Classes) дозволяє об'єднати різні програми та забезпечити єдиний інформаційний простір.

Переваги використання цифрових інструментів BIM-менеджменту. BIM-інструменти дозволяють суттєво покращити якість проєктування та управління будівництвом. Основні переваги включають:

- *Координація та комунікація.* Завдяки BIM, учасники проєкту можуть працювати з єдиною інформаційною моделлю в режимі реального часу, що мінімізує ризик помилок і неузгодженостей. Інструменти, такі як Navisworks, дозволяють виявляти колізії між системами на етапі проєктування, що значно знижує витрати на виправлення помилок під час будівництва.

❖ *Підвищення ефективності управління даними.* Цифрові інструменти BIM дають змогу централізовано зберігати та аналізувати великі обсяги інформації про проєкт. Хмарні платформи, як-от Trimble Connect, забезпечують доступ до актуальних даних для всіх учасників, що знижує затримки в роботі та спрощує координацію.

❖ *Прогнозування термінів і витрат*. Інструменти 4D та 5D моделювання дозволяють додавати до інформаційних моделей час і вартість, що дає змогу точніше прогнозувати терміни виконання робіт і витрати, а також контролювати їх у процесі реалізації проєкту.

Проблеми та виклики впровадження BIM-інструментів. Попри очевидні переваги, впровадження цифрових інструментів BIM-менеджменту супроводжується низкою проблем:

❖ Недостатня підготовка фахівців. Однією з найбільших проблем є відсутність належної кваліфікації у фахівців, що займаються впровадженням BIM-інструментів. Це обмежує ефективність їхнього використання, особливо у випадках малих і середніх будівельних компаній, які не мають ресурсів для навчання персоналу.

❖ Фрагментація програмного забезпечення. Незважаючи на наявність стандартів, таких як IFC, інтеграція між різними BIM-інструментами все ще залишається складним завданням. Відсутність єдиної платформи для координації часто призводить до фрагментації даних і неузгодженостей між різними учасниками проєкту.

❖ Управління великими обсягами даних. Зростання кількості цифрових даних вимагає створення ефективних методів управління та зберігання. Це включає як технічні питання щодо інфраструктури для зберігання даних, так і забезпечення відповідних стандартів безпеки та конфіденційності інформації.

❖ Відсутність регуляторної бази. У багатьох країнах відсутні чіткі законодавчі та нормативні вимоги до використання BIM. Це створює правову невизначеність у питаннях відповідальності за точність інформаційних моделей та управління процесами на основі цифрових даних.

Перспективи розвитку BIM-менеджменту. Незважаючи на існуючі проблеми, перспективи розвитку BIM-менеджменту залишаються надзвичайно позитивними. Останні тенденції вказують на подальше вдосконалення інструментів, спрямованих на забезпечення більшої інтеграції між системами, автоматизацію процесів і використання штучного інтелекту для аналізу даних і прогнозування результатів. У майбутньому важливим етапом стане стандартизація процесів і розвиток нормативної бази, що полегшить впровадження BIM на рівні великих і малих компаній.

Таким чином, підсумовуючи проведене дослідження сформуємо наукову гіпотезу — алгоритм впровадження цифрових інструментів BIM-менеджменту (**рис. 1**).

1. АНАЛІЗ ПОТРЕБ І ВИМОГ ПРОЄКТУ

- Визначте основні вимоги проєкту, його складність, масштаби та ресурси.
- Оцініть необхідність використання BIM-інструментів для різних аспектів проєкту (проєктування, будівництво, експлуатація).
- Розгляньте можливості інтеграції BIM-технологій з існуючими процесами управління проєктом.

2. ФОРМУВАННЯ BIM-СТРАТЕГІЇ

- Розробіть стратегію впровадження BIM, яка включає вибір програмних продуктів, методи обміну даними, стандарти роботи та ключові етапи інтеграції.
- Визначте відповідальних осіб (BIM-менеджера, координаторів) для кожного етапу проєкту.
- Оцініть необхідність навчання співробітників і залучення зовнішніх консультантів для підтримки впровадження.

3. ВИБІР ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ІНСТРУМЕНТІВ

- Проаналізуйте ринок програмних рішень (Autodesk Revit, Navisworks, Bentley Systems, Trimble Connect тощо) для вибору найбільш відповідних інструментів під конкретні вимоги проєкту.
- Забезпечте підтримку обміну даними між різними системами через стандарти, як-от IFC.
- Виберіть хмарні платформи для спільної роботи та централізованого управління даними.

4. НАВЧАННЯ ПЕРСОНАЛУ ТА ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ

- Організуйте навчальні програми для співробітників, які будуть безпосередньо задіяні в роботі з BIM-інструментами.
- Залучіть експертів або сторонніх консультантів для проведення тренінгів і сертифікації фахівців.
- Регулярно оновлюйте знання співробітників відповідно до нових технологій і стандартів у BIM.

5. ПІДГОТОВКА BIM-СТАНДАРТІВ І ПРОТОКОЛІВ

- Розробіть і впровадьте внутрішні стандарти та регламенти щодо використання BIM, включаючи процеси моделювання, управління даними та координації між різними командами.
- Створіть чіткі протоколи обміну даними, які забезпечать єдині формати даних і правила їх використання всіма учасниками проєкту.

6. ІНТЕГРАЦІЯ BIM У РОБОЧІ ПРОЦЕСИ

- Почніть з інтеграції цифрових моделей на ранніх етапах проєктування, зокрема для координації архітектурних, конструктивних та інженерних рішень.
- Використовуйте інструменти для 4D (час) і 5D (вартість) моделювання, щоб відстежувати терміни виконання робіт і витрати під час реалізації проєкту.
- Налагодьте регулярне оновлення моделі, щоб усі учасники мали доступ до актуальної інформації на кожному етапі будівництва.

7. КОНТРОЛЬ І КООРДИНАЦІЯ ПРОЄКТУ

- Використовуйте програмні інструменти для координації роботи між різними дисциплінами та командами, включаючи виявлення колізій у моделях (Navisworks).
- Проводьте регулярні наради з використанням візуалізації моделей для обговорення проблем та оптимізації процесів.
- Створіть систему зворотного зв’язку для вчасного виявлення і вирішення проблем, пов’язаних із цифровими моделями.

8. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ BIM

- Після завершення кожного етапу проєкту проведіть аналіз результатів для оцінки впливу BIM на ефективність робіт (зниження витрат, скорочення часу, якість виконання).
- Проаналізуйте дані щодо кількості виправлених колізій, витрат на координацію та інших показників ефективності.
- Оцініть, як використання BIM вплинуло на загальну продуктивність команди та якість прийнятих рішень.

9. ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ СТРАТЕГІЇ

- На основі отриманих результатів проведіть аналіз виявлених недоліків і проблем під час використання BIM-інструментів.
- Скоригуйте стратегію для подальших проєктів, враховуючи досвід і результати впровадження BIM на поточному проєкті.
- Заплануйте оновлення програмного забезпечення та інструментів, а також підготовку фахівців для подальшого покращення BIM-менеджменту.

Рисунок 1 — Алгоритм впровадження цифрових інструментів BIM-менеджменту

Висновки

Впровадження цифрових інструментів BIM-менеджменту є критично важливим для підвищення ефективності та точності управління будівельними проєктами. Ці інструменти забезпечують інтеграцію різних етапів проєктування, будівництва та експлуатації, покращують координацію між учасниками проєкту, дозволяють оптимізувати витрати та терміни виконання робіт. Використання BIM-інструментів дозволяє зменшити кількість колізій і помилок на етапах проєктування та будівництва, а також підвищити прозорість і контроль над процесами.

Однак для успішного впровадження цифрових технологій BIM-менеджменту необхідно подолати певні виклики. Серед них — необхідність підготовки кваліфікованих фахівців, стандартизація процесів і забезпечення сумісності між різними програмними продуктами. Також важливу роль відіграє розроблення чіткої нормативної бази, яка регулюватиме питання відповідальності за управління даними та інформаційними моделями.

Загалом, застосування BIM-інструментів є ключовим фактором для підвищення ефективності в будівельній галузі, і, з урахуванням розвитку технологій і стандартів, ці інструменти стануть невід'ємною частиною майбутніх проєктів. Подальший розвиток BIM сприятиме більш якісному управлінню будівельними проєктами, скороченню витрат і термінів виконання, а також покращенню загальної якості будівельних процесів.

Отримані такі результати відображають ефективність цифрових інструментів BIM-менеджменту та проблеми, пов'язані з їх використанням, а саме:

1. Порівняльний аналіз програмного забезпечення. Було виявлено, що серед найпоширеніших інструментів BIM-менеджменту (Autodesk Revit, Navisworks, Bentley Systems, Trimble Connect) найбільше переваг надають програмні комплекси, які підтримують міжплатформенну інтеграцію, багатокористувацький режим і можливість обміну інформацією у форматі відкритих даних (IFC). Ці інструменти дозволяють забезпечити кращу координацію між командами та ефективніше управління інформаційними моделями, проте кожен з них має свої специфічні обмеження щодо функціональності.
2. Аналіз опитувань фахівців. Результати опитування показали, що найбільшими викликами при впровадженні BIM-технологій є недостатня підготовка персоналу (64 % респондентів) та складність інтеграції інструментів із традиційними методами управління будівництвом (45 %). Однак, більшість респондентів (78 %) відзначили, що використання BIM значно скорочує час на координацію проєктних робіт і знижує ймовірність помилок.
3. Кейс-стаді реальних проєктів. У досліджених проєктах, де активно використовувалися цифрові інструменти BIM, було зафіксовано зниження витрат на координацію та управління на (15 – 20) % порівняно з традиційними методами. Крім того, застосування інструментів для 4D- та 5D-моделювання (час і вартість) дозволило значно покращити прогнозування термінів виконання робіт і контроль за бюджетом.
4. Управління даними. Було виявлено, що ефективне управління великими обсягами даних є одним із ключових факторів успіху BIM-менеджменту. Інструменти, що використовують для централізованого зберігання та обробки даних (наприклад, хмарні платформи), значно підвищують

доступність інформації для всіх учасників проєкту та сприяють підвищенню продуктивності. Проте, у 32 % випадків спостерігались труднощі з уніфікацією даних і забезпеченням належної сумісності між різними системами.

5. Оцінка ефективності моделювання. Моделювання будівельних процесів на основі BIM дозволило симулювати різні сценарії виконання проєктів та оцінити їхній вплив на терміни та витрати. Цифрові інструменти дозволили скоротити кількість неузгодженостей у проєктуванні на 25 % і покращити контроль над ресурсами. Однак, дослідження також виявило, що для максимізації вигоди від таких інструментів необхідно мати достатню кваліфікацію користувачів і належну стандартизацію процесів.

6. Правові та нормативні аспекти. Було виявлено, що відсутність чітких регуляторних вимог і стандартів на національному рівні часто стає перешкодою для широкого впровадження BIM-інструментів. Зокрема, проблеми виникають у питаннях правової відповідальності за коректність інформаційних моделей та управління процесами, що базуються на цифрових даних.

Список літератури

1. Olena Bondar, S. Bushuyev, S. Onyshchenko, T. Hiroshi Entropy Paradigm of Project-Oriented Organizations Management. ITPM 2020 *IT Project Management 2020, Proceedings of the 1st International Workshop IT Project Management (ITPM 2020),* 2020. Vol. 2565. P. 233–243. (Scopus) ISSN 1613-0073. URL: http://ceur-ws.org/Vol-2565/.

2. Бондар О. А., Єсипенко А. Д., Терентьєв О. О., Веренич О. В., Петренко Г. С. Методичне підґрунтя формування цифрового простору виконання підрядних будівельних робіт. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин,* Вип. 47 (1), технічний, 2021. С. 79–86. URL: https://www.researchgate.net/publication/357265827.

3. Бондар О. А., Поколенко В. А., Пилипчук О. Д., Арзу Халілов. Аналітичний базис діяльності підрядного підприємства в сучасному цифровому середовищі. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. Вип. 47 (1), технічний, 2021. С. 87–95. DOI: https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47(1).87-95.

4. Olena Bondar, Oleksandra Vahonova, Olena Tryfonova, Nina Petrukha, Oksana Kyrychenko, Oleksandr Akimov. Economic justification for strategic decisions to improve the competitiveness of the enterprise. *Journal of interdisc iplinary research, Ad Alta*, P. 198–202. 2022. URL: http://www.magnanimitas.cz/ADALTA/120127/papers/A_36.pdf.

5. Verenych, O., Wolff, C., Bushuyev, S., Bondar, O., Voitenko, O. Hybrid Competencies Model for Managing Innovation Projects. *CEUR Workshop Proceedings*, 2022, 3295. P. 25–37. URL: https://ceur-ws.org/Vol-3295/.

6. Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. Wiley.

7. Kiviniemi, M., & Fischer, M. (2016). The Future of BIM in Construction Management. *Construction Research Congress* 2016. P. 125–134.

8. Bryde, D. J., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The Project Benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 31(7). P. 971–980. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.002.

9. Azhar, S. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 2011. P. 241–252. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127.

10. Liu, R., & Issa, R. The Impact of BIM on Productivity in the Construction Industry. *ASCE Construction Research Congress*, 2013. P. 1–10. DOI: https://doi.org/10.1061/9780784412898.001.

11. RICS. (2019). Building Information Modelling (BIM) in the UK Construction Industry. [Online]. Available: URL: https://www.rics.org/uk/knowledge/research/insights/bim-in-the-uk-construction-industry/.

12. Teicholz, P. (2013). Construction 2020: A Vision for the Next Decade. Construction Industry Institute. P. 1–11.

13. Zhou, Y., & Chen, J. Challenges and Opportunities of BIM in Construction Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2020, 146(3). DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001796.

14. Sacks, R., & Barak, R. Impact of Three-Dimensional BIM on the Quality of Construction Project Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2010, 136(3). P. 353–361.

15. Vico Software. The Role of BIM in the Construction Industry. [Online]. 2010. URL: https://vicosoftware.com/resources/blog/the-role-of-bim-in-the-construction-industry/.

16. Raudelinien, J., & Elskyt, V. Change management: formation of competitive strategic decisions. Information and Communication Technologies in Business, 2010, № 3. P. 710–716.

17. Redchuk, R., & Boretskyi, V. Developing the Competency of Future Physical Education Specialists in Professional Interaction in the Field of Social Communications. *Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala*, 2020, № 12(4). P. 289–309. DOI: https://doi.org/10.18662/rrem/12.4/346.

18. ISO 19650-1:2018. Organization of information about construction works — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles. ISO.

19. ISO 19650-2:2018. Organization of information about construction works — Information management using building information modelling — Part 2: Delivery phase of the assets. ISO.

20. ISO 12006-2:2001. Building construction — Organization of information about construction works — Part 2: Framework for classification. ISO.

21. ISO 16739:2013. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. ISO.

22. ISO 55000:2014. Asset management — Overview, principles and terminology. ISO.

References

1. Olena Bondar, S. Bushuyev, S. Onyshchenko, T. Hiroshi Entropy Paradigm of Project-Oriented Organizations Management. ITPM 2020 *IT Project Management 2020, Proceedings of the 1st International Workshop IT Project Management (ITPM 2020),* 2020. Vol. 2565. P. 233–243. (Scopus) ISSN 1613-0073. URL: http://ceur-ws.org/Vol-2565/ [in English].

2. Bondar O. A., Yesypenko A. D., Terentiev O. O., Verenych O. V., Petrenko H. S. Metodychne pidgruntia formuvannia tsyfrovoho prostoru vykonannia pidriadnykh budivelnykh robit (The methodical foundation of the formation of the digital space for the execution of contracted construction works). *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn,* Vyp. 47 (1), tekhnichnyi, 2021. P. 79–86. URL: https://www.researchgate.net/publication/357265827 [in Ukrainian].

3. Bondar O. A., Pokolenko V. A., Pylypchuk O. D., Arzu Khalilov. Analitychnyi bazys diialnosti pidriadnoho pidpryiemstva v suchasnomu tsyfrovomu seredovyshchi (Analytical basis of the activities of the subcontractor in the modern digital environment). *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, Vyp. 47 (1), tekhnichnyi, 2021. P. 87–95. DOI: https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47(1).87-95 [in Ukrainian].

4. Olena Bondar, Oleksandra Vahonova, Olena Tryfonova, Nina Petrukha, Oksana Kyrychenko, Oleksandr Akimov. Economic justification for strategic decisions to improve the competitiveness of the enterprise. *Journal of interdisc iplinary research, Ad Alta.* P. 198–202. 2022 URL: http://www.magnanimitas.cz/ADALTA/120127/papers/A_36.pdf [in English].

5. Verenych, O., Wolff, C., Bushuyev, S., Bondar, O., Voitenko, O. Hybrid Competencies Model for Managing Innovation Projects. *CEUR Workshop Proceedings*, 2022, 3295. P. 25–37. URL: https://ceur-ws.org/Vol-3295/ [in English].

6. Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. Wiley [in English].

7. Kiviniemi, M., & Fischer, M. (2016). The Future of BIM in Construction Management. *Construction Research Congress* 2016. P. 125–134 [in English].

8. Bryde, D. J., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The Project Benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 31(7). P. 971–980. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.002 [in English].

9. Azhar, S. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 2011. P. 241–252. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127 [in English].

10. Liu, R., & Issa, R. The Impact of BIM on Productivity in the Construction Industry. *ASCE Construction Research Congress*, 2013. P. 1–10. DOI: https://doi.org/10.1061/9780784412898.001 [in English].

11. RICS. (2019). Building Information Modelling (BIM) in the UK Construction Industry. [Online]. Available: URL: https://www.rics.org/uk/knowledge/research/insights/bim-in-the-uk-construction-industry/ [in English].

12. Teicholz, P. (2013). Construction 2020: A Vision for the Next Decade. Construction Industry Institute. P. 1–11 [in English].

13. Zhou, Y., & Chen, J. Challenges and Opportunities of BIM in Construction Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2020, 146(3). DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001796 [in English].

14. Sacks, R., & Barak, R. Impact of Three-Dimensional BIM on the Quality of Construction Project Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2010, 136(3). P. 353–361 [in English].

15. Vico Software. The Role of BIM in the Construction Industry. [Online]. 2010. URL: https://vicosoftware.com/resources/blog/the-role-of-bim-in-the-construction-industry/ [in English].

16. Raudelinien, J., & Elskyt, V. Change management: formation of competitive strategic decisions. Information and Communication Technologies in Business, 2010. No. 3. P. 710–716 [in English].

17. Redchuk, R., & Boretskyi, V. Developing the Competency of Future Physical Education Specialists in Professional Interaction in the Field of Social Communications. *Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala*, 2020, No. 12(4). P. 289–309. DOI: https://doi.org/10.18662/rrem/12.4/346 [in English].

18. ISO 19650-1:2018. Organization of information about construction works — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles. ISO [in English].

19. ISO 19650-2:2018. Organization of information about construction works — Information management using building information modelling — Part 2: Delivery phase of the assets. ISO [in English].

20. ISO 12006-2:2001. Building construction — Organization of information about construction works — Part 2: Framework for classification. ISO [in English].

21. ISO 16739:2013. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. ISO [in English].

22. ISO 55000:2014. Asset management — Overview, principles and terminology. ISO [in English].

Olena Bondar[1], *D.Sc., Prof., https://orcid.org/0000-0002-5382-2548*
Pavlo Teslenko[2], *Ph.D., https://orcid.org/0009-0004-3456-4346*
Tetyana Chyrva[2], *Ph.D., Associate Prof., https://orcid.org/0000-0002-6657-5443*
Andrii Krykun[2], *https://orcid.org/0009-0006-5869-9397*

[1]*State Enterprise "National Institute for Development Infrastructure" (SE "NIDI"), Kyiv, Ukraine*
[2]*Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kyiv, Ukraine*

DIGITAL INSTRUMENTS OF BIM MANAGEMENT

Annotation

Introduction. This article examines the main digital tools of BIM management, their functionality and impact on construction project management processes. Current trends in the development of BIM tools, as well as their importance for the future of the construction industry, are considered.

Problems. The introduction of BIM (Building Information Modeling) was a revolutionary step in the construction industry, but with it came new challenges related to the adaptation and use of digital BIM management tools. One of the key problems is insufficient standardization and integration of various software products, which leads to information fragmentation and complicates interaction between participants in construction projects. Many companies face difficulties in the integration of different BIM tools due to the lack of a unified information environment and standardized processes.

The second important problem is the lack of proper qualifications and knowledge in the field of BIM management among construction industry specialists. The low level of digital literacy and shortcomings in the training of specialists slow down the process of introducing innovative technologies, and also reduce the effectiveness of using digital tools. This is especially true for small and medium-sized companies, which often do not have the resources to train staff or purchase expensive software.

Another challenge is managing the large volumes of data that are generated during the design and construction process using BIM. Ensuring proper coordination and management of this data is critical to successful project execution, but often becomes a challenge due to the complexity and heterogeneity of the information. Mistakes in data management can lead to delays, budget overruns and construction deadlines.

It is also worth noting the problems with legal regulation and the regulatory framework, which does not always keep up with the development of technologies. This creates legal gaps, especially in the area of responsibility for the use of BIM models and management of information processes in construction.

Thus, although the digital toolkit of BIM management opens up new opportunities for increasing construction efficiency, its implementation is accompanied by a number of problems. Solving these challenges requires both technical innovations and changes in approaches to project management, education of specialists, and improvement of the regulatory framework.

This expanded view of the issue demonstrates the key challenges facing the industry and helps outline directions for further research and solutions.

Goal. Research of modern digital tools of BIM management, determination of its main functions and capabilities, as well as assessment of the impact of these tools on the effectiveness of construction project management. The article also analyzes the main problems faced by specialists during the implementation of BIM technologies, and suggests ways to overcome them to optimize the processes of design, construction and operation of buildings.

Materials and methods. The article is research in nature. As part of this study, the following materials and methods were used to analyze the digital tools of BIM management:

Analysis of literature and regulatory documents. A detailed review of scientific publications, international standards, recommendations, and the regulatory framework for the use of BIM technologies was conducted. In particular, documents related to the integration of digital tools in construction project management, such as ISO 19650 and other national standards, were investigated.

Method of comparative analysis. To evaluate the effectiveness of various BIM management tools, a comparative analysis of software products (Autodesk Revit, Navisworks, Bentley Systems, Trimble Connect and others) was conducted based on such criteria as functionality, integration capabilities, standards support, ease of use and accessibility for different types projects

Empirical studies. A survey was conducted among construction professionals and BIM managers to identify key issues related to the use of digital tools in design and management. Analysis of the survey results helped to find out which tools are used most often, what difficulties users face, and what advantages and disadvantages of these tools they note.

Case-stage method. Several real construction projects were analyzed in which BIM management tools were used.

Modeling method. To evaluate the use of the implementation of new BIM tools on the effectiveness of projects, modeling of processes built on the basis of information models was used. This method made it possible to simulate various management scenarios and evaluate their results in the conditions of real construction sites.

The obtained data were analyzed with the help of statistical analysis methods, which made it possible to draw conclusions about the effectiveness of the use of various BIM management tools and to offer recommendations for their implementation in practice.

The results. In the course of the study, the following results were obtained, the results show that the digital toolkit of BIM management has a significant potential to increase the efficiency of construction project management, but the implementation of these tools requires solving a number of problems related to the qualifications of specialists, the integration of technologies and the regulatory and legal framework. .

Conclusions. The study confirmed that digital BIM management tools have significant potential to transform the construction industry, improve project management efficiency, and improve coordination between project process participants. The use of such tools allows you to reduce costs, shorten the construction period, minimize the number of errors and improve the overall quality of project solutions.

However, the implementation of BIM technologies and digital management tools is accompanied by a low problem. The biggest problems remain the insufficient qualification of specialists, the complexity of the integration of various software products, and the large amount of data that needs to be effectively managed. moreover, the issuance of standardized approaches and regulatory requirements at the national level complicates the widespread use of BIM in the practice of construction companies.

Thus, for the successful implementation of digital tools of BIM management, it is necessary to ensure the proper training of specialists, the creation of uniform data exchange standards, and the further development of legal regulation. A gradual solution to this problem will allow us to reveal the full potential of BIM technologies and significantly increase the efficiency of construction objects in the future.

Keywords: BIM, digital toolkit, information modeling of buildings, BIM management, management of construction objects, software integration, building data, 4D modeling, 5D modeling, standardization, project coordination.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.059

UDC 658.7.011.1:001.2

Andrii Ivko, *Ph.D., https://orcid.org/0000-0002-3388-8355*

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kyiv, Ukraine

MODELS AND METHODS OF THE TECHNOLOGICAL MATURITY DEVELOPMENTOF SELF-MANAGED ORGANIZATIONS IN THE CONTEXT OF USING THE SYNCRETIC METHODOLOGY

Abstract

Introduction. Infrastructure restoration projects of Ukraine are being implemented in the difficult conditions of war and many challenges. To increase the effectiveness of their implementation, project-oriented organizations need an effective management system. At the same time, it is necessary not only to apply innovative models and methods of project management developed by the world's leading organizations and companies, but also to create our own scientific developments, taking into account complex environmental conditions. Since restoration projects are related to the construction industry, which is one of the locomotives of the Ukraine's economy development as a whole. Therefore, the development of new models and methods of increasing the effectiveness of project-oriented organizations is an urgent scientific task.

Problem statement. The problems of management systems development of project-oriented organizations implementing restoration projects using modern (including syncretic) project management methodologies are described. The need to improve the efficiency of such management systems is emphasized. The importance of developing a syncretic maturity model for use by project-oriented organizations for the implementation of recovery projects within the syncretic project management methodology is substantiated. The scientific task of developing a model of syncretic maturity in the field of project management for use in the researched type of projects is formulated.

Purpose. Development of the technological maturity model for self-managed organizations in the context of the syncretic methodology use in the implementation of infrastructure restoration projects by such organizations, and models and methods set identification for syncretic technological maturity development in project management.

Materials and methods. To achieve the goal, the following models and methods were used: research of literary sources, methods of analysis and synthesis, models and methods of classification and structuring, models of technological maturity, methods of identification. The materials for the analysis were projects and portfolios of infrastructure restoration projects, the implementation of which is overseen by the State Agency for Reconstruction and Development of Infrastructure of Ukraine (SARDI).

The results. In the further development of Harold Kerzner's technological maturity model, the Syncretic Technological Maturity Model (SMMM) in project management is proposed. The model includes seven levels of technological maturity: syncretic language, syncretic processes, integrated (project and operational) processes, a singular project methodology, a singular integrated methodology, integrated benchmarking (the process of borrowing and implementing best practices), continuous integrated improvements. A graphical view of the model is provided. A set of models and methods are proposed that are required to achieve each level of technological maturity according to the SMMM model. As well as the multitude of models and methods that must be used to stay at the current level of maturity.

Conclusions. The development of new models and methods of improving the efficiency of restoration project management systems is an urgent scientific and practically significant task. Within the proposed syncretic approach, this article has developed a Syncretic Technological Maturity Model in project management for use by self-managed organizations in infrastructure restoration projects in Ukraine. Models and methods of transition to each subsequent level of syncretic maturity are described, as well as models and methods, the use of which allows you to stay at the current level. The use of these models is designed to

streamline and systematize the project management system of project-oriented organizations implementing restoration projects, which can increase the transparency, flexibility, efficiency and effectiveness of such management systems. A SWOT analysis of the proposed models was conducted, which proved the prospects of the studied approaches. Prospects for further research in the chosen direction are outlined.

Keywords: infrastructure restoration projects, program and project management, maturity model, syncretic methodology, self-managed organization.

Introduction

The development of project management remains relevant even in spite of today's tough conditions for the implementation of projects, which are primarily determined by the armed aggression of the russian federation against Ukraine, as well as the chaos of the project environment and accelerated multi-vector digitalization with the increasing dominance of artificial intelligence elements. Moreover, the relevance of such development only increases, and the complex conditions of project implementation only increase the relevance of scientific research in the direction of optimization of the main parameters of the project. The requirements for time, budget, quality, and risks of the project remain as required by the customers, despite all the troubles caused by the increasing entropy of the environment.

In this context, the development of new models, methods, methodological approaches to ensure the survival and success of modern projects — receives a new impetus to relevance. Such developments become even more relevant in the context of application to the infrastructure restoration projects of Ukraine, which in themselves are one of the most relevant for the economy of Ukraine, as they are the locomotive of a many industries development.

However, the project management implemented in project-oriented organizations is often met with resistance, shortcomings of implementation, distortion of the applied models and methods. Companies and organizations implementing projects and project portfolios are evolving in knowledge, skills and abilities regarding effective project activities. Their maturity in the application of effective project management is gradually increasing. However, models of accelerated evolution, faster acquisition of maturity in the field of project management have been developed and exist. The adaptation of such models to project-oriented organizations implementing projects in the field of infrastructure restoration of Ukraine is an urgent scientific task. This article will be devoted to the development of models and methods of increasing the technological maturity of such organizations, taking into account their application of a set of modern approaches and project management methodologies (including syncretism, self-management, value-oriented management, etc.).

Literature review

Methodologies and standards in the field of project management, programs and project portfolios from the beginning of their publication until the latest current versions paid attention to the issue of project management development in companies, organizations and institutions. One of the vectors of such development was the improvement of the organizational management structure. From functional, which is poorly adapted to the implementation of effective project activities, to strong matrix, and later to composite [2]. The goal of this vector of development is the gradual evolution of project management processes in the organization, the spread of corporate culture in the direction of effective coexistence of two aspects of the company's activities — operational (everyday) and project. Another vector is the institutionalization of project management processes, their formalization in the form of guidelines and corporate standards, and further automation (in the form of executed business processes) within the corporate IT system. An example of such institutionalization, in particular, can be considered a new recommended dimension (field of knowledge) in project management – Sustainability, as well as proposed models and methods of its provision [3]. The third vector of development can be defined as the emergence and integration of a standard such as Agile [4] into general project management. This methodology brought insight into the necessary balance between overly formalized project management processes and the necessary adaptability of the management system to the rapidly changing project environment. The fourth determining vector of the development of

project management in organizations should be considered the use of innovative organizational models and methods. This includes, in particular, models of self-managed project teams, the use of which can potentially increase the efficiency of project activities [5]. As well as one that was developed on this basis, the methodological direction of holacratic management [6] and its application to increase the efficiency of organizational management systems [7].

The evolution of the specified development vectors of project management led to the emergence of an understanding of the need for a comprehensive assessment of the development of a project-oriented organization in the field of project management (regarding the management of projects and their aggregates in the form of project programs and project portfolios). In response to this challenge, the concept of Maturity Model appeared, which was initially applied to IT companies and determined the level of maturity of such companies from the point of view of systemic attention to the processes implemented by the IT company [8]. The direction of research that combines (adapts) the taxonomy of technological maturity and the Agile methodology, in particular when applied to its most common framework Scrum [9], draws attention. Recently, another improvement of the CMMI (Capability Maturity Model Integration) model took place, in which new practical fields and practices were added [10]. The emergence of the technological maturity model led to the emergence of scientific research in the field of its application and systematization [11, 12], as well as interpretation in the field of project and program management [13].

The PMMM or P3M (Project Management Maturity Model) model by Harold Kerzner [14, 15] should be considered the most significant methodological development in this context. This model presents five levels of technological maturity of companies in the field of project management: Common language (Level 1), Common processes (Level 2), Singular methodology (Level 3), Benchmarking (Level 4), Continuous improvements (Level 5). The model assumes that the transition between levels should take place: from level 1 to level 2 — through the use of basic knowledge of project management; from level 2 to level 3 — through the identification and description of processes; from level 3 to level 4 — through the process management; from level 4 to level 5 — through the improvement of project management processes in a project-oriented organization. Studies of the PMMM model have an applied nature according to the field of application [16], to a combination with value-oriented management [17] and a general, integral approach to the structuring of project management systems in the organization [18]. Finally, thanks to the synergy from the development of the CMMI and PMMM models, the corresponding standard of the International Organization for Standardization ISO was improved [19].

It is expedient to use the mentioned developments in the context of their introduction into the system of project management and portfolios of infrastructure restoration projects of Ukraine. To manage such projects, the authors propose a syncretic methodology that allows individual projects from the project portfolio to be guided by their own methodology [20], which is important for large-scale projects with a large number of participants, some of whom may represent different countries and, accordingly, different cultures and project management standards. In particular, the syncretic methodology involves its use by self-managed teams, as well as project-oriented organizations that partially or fully use elements of self-management in the management system [21]. Therefore, such a methodology can be considered synthetic, combining project management, a value approach, models of self-management and syncretic principles. The prioritization of relevant projects [22] can be considered an important practical task in the field of infrastructure restoration, since the scale of the destruction caused by the war requires the implementation of a larger number of projects for the available financial capabilities. And therefore, the development of technological maturity of project-oriented organizations that will participate in infrastructure restoration projects will contribute to the improvement of their management system based on the implementation of innovative methodological approaches for a better and faster solution of their tasks and the achievement of their goals, in particular, with regard to obtaining the expected values by all stakeholders.

The conducted analysis substantiates the relevance of conducting research on models and methods of developing the technological maturity of self-managed organizations in the context of using syncretic methodology for projects (portfolios of projects) of infrastructure restoration.

Main part

In the context of syncretic methodology development, Harold Kerzner's Project Management Technology Maturity Model (PMMM) requires interpretation and refinement for use in infrastructure rehabilitation projects. The syncretic methodology involves the improvement of the entire set of processes of a project-oriented organization — both project-related, related to the implementation of projects and their aggregates, and operational, related to the implementation of economic activities and activities related to the provision of a project-oriented organization (including IT processes). Therefore, the PMMM model should be improved taking into account the full spectrum of the organization's processes. We will propose such a model in the form of the Syncretic Management Maturity Model (SMMM). We will propose 7 steps of technological maturity, in particular, we will divide the second and third levels of the PMMM model into two levels in the SMMM model. The structure of the SMMM model and its comparison with Harold Kerzner's model are shown in **Fig. 1**.

According to the proposed SMMM model, technological maturity is proposed to be determined by seven levels, in particular:

— *Level 1. Syncretic language*. At this level, the terminological base of syncretic project management methodology in a project-oriented organization should be formed. Formally, this can be implemented through the creation, agreement, approval and publication of the Syncretic Management Glossary on the company's network resource.

— *Level 2. Syncretic processes*. At this level, project management processes based on the use of syncretic methodology should be described. In the case of the existence of a project office in a project-oriented organization (corresponding to a matrix or composite organizational structure), the implementation of the project portfolio should take place through the core of a syncretic methodology that transforms information flows from and to projects that are governed by their own methodologies. Thus, the processes of interaction of the syncretic core with projects should also be described. Syncretism can also occur between different parts of medium or large projects of a project-oriented organization.

— *Level 3. Integrated P&O processes*. At this level, all processes of a project-oriented organization should be described. That is, in addition to the project management processes described at the previous level, operational management processes should also be formalized. Among such processes, as a rule, the following types are distinguished — financial processes, document flow processes, support processes, HR processes, IT support processes, etc.

— *Level 4. Singular project methodology*. At this level, a syncretic project management methodology in a project-oriented organization should be developed, agreed and approved. Other artifacts of syncretic methodology should be added to the described project management processes — templates, models, methods, tools, corporate culture (as a document), etc.

— *Level 5. Singular integrated methodology*. At this level, a project-oriented organization should develop, agree and approve a comprehensive organization management methodology, taking into account the synergistic interaction of syncretic project management methodology and operational activity management methodology. A unified methodology should describe templates, models, methods, tools, and other artifacts of both areas of activity of a project-oriented organization (operational and project), as well as the relationship and coordination of these areas within the framework of a unified methodology.

— *Level 6. Integrated benchmarking*. This level involves the description and implementation of a separate higher-level process — a process related to the use of best practices for process improvement and other artifacts of a single methodology of a project-oriented organization. At the same time, the corresponding process (benchmarking) should provide for the analysis of best practices (both inside the project-oriented organization and externally — from other participants in the relevant industry, as well as in other industries), its systematization, preparation for implementation in the form of a micro-project, and also directly implementation. It is important that the best experience should be borrowed and implemented in all areas of activity of a project-oriented organization (in all processes) — project processes, IT processes, support processes, etc.

— *Level 7. Continuous integrated improvement*. At this level, continuous improvement of the processes of both syncretic project management and operational management, as well as the interaction between these processes, should take place. Continuous improvement should also be institutionalized as a separate process. Consistency here should be embodied in the established periodicity of the implementation of such improvements. The integration of such improvements implies their implementation in a complex, taking into account the effects on all subsystems of the project-oriented organization. The goal of the improvements is to maximize the positive effect of the introduced influences.

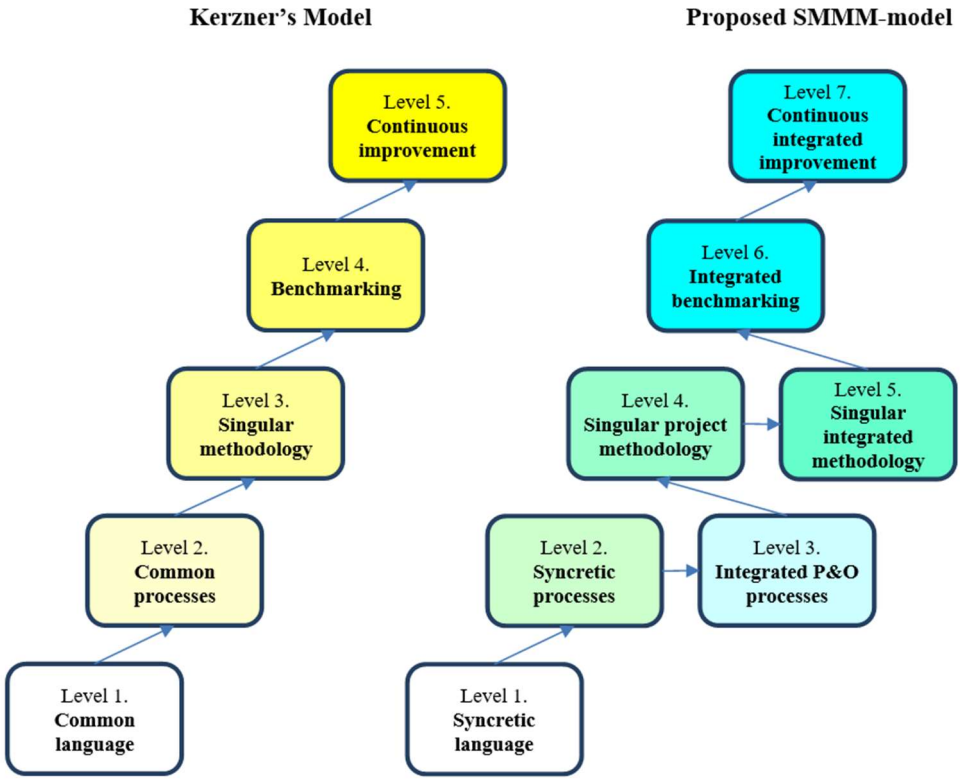


Figure 1 — Comparison of the proposed Syncretic Management Maturity Model and the Kerzner model on the basis of which it is built

The transition between levels can occur sometimes after the acquisition of the previous level, upon fulfillment of a certain set of conditions — which determine being at the next level of technological maturity. As an assumption, it can be noted that the acquisition of each subsequent level of technological maturity can occur no earlier than six months after the acquisition of the previous level.

Next, we will offer a set of models and methods that are needed to acquire each level of technological maturity. As well as a set of models and methods that must be used to stay at the current level of maturity (**Table 1**). It is worth noting that for the last (seventh) level of technological maturity in the field of integrated syncretic management, no models and methods for transition to the next level have been provided. They can be proposed in the further development of these studies, in the context of supplementing and developing the proposed model of technological maturity in the direction of adding the next levels.

Let's conduct a SWOT analysis of the proposed syncretic management maturity model (SMMM) for use in infrastructure restoration projects by self-managed organizations managed by syncretic methodology. Let's highlight their strengths, weaknesses, opportunities arising from their application, and threats that may arise.

Table 1

The set of models and methods that ensure the syncretic maturity in a project-oriented organization

No.	Syncretic maturity level	Models and methods that ensure staying at this level	Models and methods that ensure the transition to the next level
1	Syncretic language	Classification models. Methods of analysis, synthesis and systematization.	Models of project management processes. Models and methods of personnel training and development.
2	Syncretic processes	Process description models. Models of project management processes. Models of syncretism. Process regulation methods.	Models of financial accounting, document flow, other operational management processes. Models and methods of personnel training and development.
3	Integrated P&O processes (project and operational)	Process description models. Models of operational management processes. Models of syncretism. Process regulation methods.	Models of values. Models and methods of personnel training and development.
4	Singular project methodology	Classification models. Methods of analysis, synthesis and systematization. Models of tailoring.	Models of values. Value management methods. Models and methods of personnel training and development.
5	Singular integrated methodology (project and operational)	Classification models. Methods of analysis, synthesis, integration and systematization. Models of tailoring.	Models of self-management. Benchmarking models. Models and methods of personnel training and development.
6	Integrated benchmarking	Benchmarking models. Methods of using artificial intelligence.	Models of self-management. Holacratic management development methods. Methods of using artificial intelligence. Models and methods of personnel training and development.
7	Continuous integrated improvement	Models and methods of holacratic management, value-oriented management, syncretic approach and development of synergism.	–

Strengths

S1. The model is a foundation and a guide for the growth of knowledge, skills and abilities of project-oriented organizations in effective project management, which uses innovative models, methods and methodologies.

S2. Taking into account not only project management, but also operational management. In this way, the growth of maturity occurs evenly, without distortions. At the same time, both subsystems support and stimulate each other's development.

S3. The syncretic nature of the proposed approaches allows you to jointly and effectively use disparate methodologies in one management system of a project-oriented organization. It is an important property for the studied projects of the infrastructure restoration.

Weakness

W1. The model is not tested, during its implementation, additional complications may arise, which will require making changes to the model itself.

W2. Insufficient maturity of the staff of a certain number (estimated, a significant number) of project-oriented organizations in the researched field, for a deep understanding and effective application of this model.

W3. Methodological overload of the model – different in nature, although innovative in essence, approaches and methodologies are used.

Opportunities

O1. The possibility of ensuring the gradual and continuous development of the syncretic technological maturity of the project-oriented organization where SMMM will be implemented.

O2. The proposed model is able to provide conditions for a constant increase in the efficiency of project implementation — not only in terms of the projects' ability to meet limitations in the implementation time, budget and quality of the project's product, but also in terms of the achievement of values by all project stakeholders.

O3. Adaptability by nature, the possibility of improving the model on the one hand, and adjusting it (thanks to tailoring models) to the conditions of the project-oriented organization where the specified model will be implemented — on the other hand.

Threats

T1. The threat of force majeure, as a result of which the use of innovative technologies (in particular, the proposed SMMM model) will be less relevant than crisis management. For example, as a result of the escalation of the war caused by the aggression of the russian federation against Ukraine. In this case, the priority of the infrastructure restoration projects themselves may also be at risk.

T2. Inefficient implementation of the proposed model (due to various reasons, external and internal in nature) may lead to the discrediting of the vector of methodological growth in a syncretic context, which may cause a loss of relevance regarding its application.

T3. The threat of the emergence of more developed analogues of the model, which can be presented by well-known institutions in project management, as a result of which the novelty and innovativeness of the model will be refuted, and the model itself will remain unclaimed.

Based on the results of the SWOT analysis, it can be concluded that when using the capabilities of the proposed syncretic management maturity model (SMMM) in restoration projects (which are implemented by self-managed organizations using syncretic methodology), its threats can be overcome, and its advantages outweigh the corresponding disadvantages.

Conclusions

New complex times and war conditions require new, improved approaches and models of project implementation. Infrastructure restoration projects of Ukraine are one of the locomotives of economic recovery and development, therefore increasing the efficiency of such projects is an important practical task. And the development of new models and methods of their implementation, methodological approaches to improving the activities of project-oriented organizations, which will implement restoration projects, is a relevant and urgent scientific task.

In this article, a scientific task is set, an analysis of literary sources in the chosen direction is carried out, and, in the further development of Harold Kerzner's model of technological maturity, the Syncretic Management Maturity Model (SMMM) is proposed. The model includes seven levels of technological maturity: Syncretic language, Syncretic processes, Integrated P&O processes, Singular project methodology, Singular integrated methodology, Integrated benchmarking, Continuous integrated improvement. A graphical view of the model is provided. A set of models and methods are proposed that are required to achieve each level of technological maturity according to the SMMM model. As well as the set of models and methods that must be used to stay at the current level of maturity. A SWOT analysis of the proposed model was conducted, which confirmed its high potential for implementation.

Let's formulate the prospects for further research in the chosen direction based on the results of the conducted research: formalization and description of models and methods of each level of the SMMM model, formalization of transition processes from each level of the SMMM model to each subsequent level, implementation, approval and adjustment of the model SMMM, preparation of training models for personnel of project-oriented organizations to acquire the necessary competencies of each level of the SMMM model, further improvement of the model.

In general, the use of the proposed model by project-oriented organizations that will implement infrastructure restoration projects can increase their technological maturity in the field of project management, which will potentially contribute not only to the projects' compliance with time constraints, budget and project product quality, but also to the achievement of values by all stakeholders project This, as a multiplier, will contribute to the accelerated development of the economy and, indirectly, to the approaching victory of Ukraine in the war.

References

1. Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 21 kvitnya 2022 №266/2022 «Pitannya Nazionalnoi rady z vidnovlennya Ukrainy vid naslidkiv viyny» (The issue of the National Council for the Recovery of Ukraine from the Consequences of the War). Kyiv, 2022. URL: https://www.president.gov.ua/documents/2662022-42225 [in Ukrainian].

2. The Standard (2021) for Project Management and a Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition. USA, Project Management Institute, 250 p. [in English]

3. PRINCE2® 7 (2023) Managing Successful Projects. Global Best Practice. PeopleCert, 347 p. ISBN 978-9925344604 [in English].

4. Rigby D. (2020) Doing Agile Right: Transformation Without Chaos / Darrell Rigby, Sarah Elk, Steve Berez. Harvard Business Review Press. 256 p. [in English].

5. Frederic Laloux (2014) Reinventing Organisations: A Guide to Creating Organisations Inspired by the Next Stage of Human Consciousness. Nelson Parker. February 9. 382 p. [in English].

6. Mamoli S. (2019) Holacracy for humans. *The InfoQ eMag*, Issue 71, May. P. 10–17 [in English].

7. Brian J. Robertson (2020). How are holacracy-powered organizations different? Holacracy Foundation. URL: https://www.holacracy.org/explore/why-practice-holacracy (Last accessed: 15.08.2024) [in English].

8. CMU/SEI-2002-TR-002 (2002). Capability Maturity Model® Integration (CMMISM), Version 1.1. CMMI for Systems Engineering/Software Engineering, Carnegie Mellon Software Engineering Institute, Pittsburgh, USA. 629 p. [in English].

9. J. Sutherland, C. R. Jakobsen and K. Johnson (2008). Scrum and CMMI Level 5: The Magic Potion for Code Warriors, Proceedings of the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS 2008), Waikoloa, HI, USA. P. 466–466. DOI: https://doi.org/10.1109/HICSS.2008.384 [in English].

10. Potter N. (2024). Changes in CMMI V3. The Process Group. URL: https://processgroup.com/changes-in-cmmi-v3/ [in English].

11. Wendler Roy (2012). The Maturity of Maturity Model Research: A Systematic Mapping Study. *Information and Software Technology*, Vol. 54, No. 12. P. 1317–1339. DOI: https://dx.doi.org/10.1016/j.infsof.2012.07.007. ISSN 0950-5849 [in English].

12. Dos Santos-Neto João Batista Sarmento & Seixas Costa Ana Paula Cabral (2019). Enterprise maturity models: a systematic literature review. *Enterprise Information Systems*, Vol. 13, Issue 5. P. 719–769. DOI: https://dx.doi.org/10.1080/17517575.2019.1575986 [in English].

13. Bushuyev S. D., Bushuyeva N. S., Pokrovnitskaya O. O. (2004) Technological maturity as strategic tool for development in project management. *Eastern Ukrainian National University named after Volodymyr Dal*, Issue 1(9). P. 5–16 [in Ukrainian].

14. Kerzner H. (2015) Project Management 2.0: Leveraging Tools, Distributed Collaboration, and Metrics for Project Success. International Institute for Learning. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc. 316 p. [in English].

15. Kerzner Harold (2019). Using the Project Management Maturity Model: Strategic Planning for Project Management, 3rd Edition. Wiley. 320 p. [in English].

16. Martynyuk O. A. (2018) Diagnostics of the level of managerial and technological maturity of food industry enterprises. *Agrosvit*, No. 3. P. 25–31 [in Ukrainian].

17. Vianaa J. C., De Miranda Motaa C. M. (2016) Enhancing Orgnizational Project Management Maturity: a framework based on the value focused thinking model. *Production*, Vol. 26. No. 2. DOI: https://doi.org/10.1590/0103-6513.169913 [in English].

18. Komadinić V.R., Majstorović V.D. (2017) Maturity model of integrated management system. *International Journal of Advanced Quality*, Vol. 45, No. 3. P. 47–50. [in English].

19. ISO/IEC/IEEE 24765:2017(en). Systems and software engineering. Vocabulary. URL: https://www.iso.org/standard/71952.html [in English].

20. Bushuyev, S. D., Ivko, A. V. (2024) Values Spiral Development Method in the Implementation of Digitalization Projects in Syncretic Methodology. *International Journal of Computing*, 23(2). P. 177–186. DOI: https://doi.org/10.47839/ijc.23.2.3535 [in English].

21. Ivko A. Methods of methodologies hybridization in the management system of development projects of self-managed organizations. *Management of Development of Complex Systems*, Issue 56. 2023. P. 14–23. DOI: https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.56.14-23 [in English].

22. Hansen S., Too E., Le T. (2019). Criteria to consider in selecting and prioritizing infrastructure projects. MATEC Web of Conferences, 270, 06004. DOI: https://doi.org/10.1051/matecconf/201927006004 [in English].

Список літератури

1. Питання Національної ради з відновлення України від наслідків війни : Указ Президента України від 21 квітня 2022 р. № 266/2022 / База даних законодавство України // Верховна рада України. Київ, 2022. URL: https://www.president.gov.ua/documents/2662022-42225 (дата звернення: 24.08.2024).

2. The Standard for Project Management and a Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition. USA, Project Management Institute, 2021. 250 p.

3. PRINCE2® 7 Managing Successful Projects / Global Best Practice. PeopleCert, 2023. 347 p. ISBN 978-9925344604.

4. Rigby D. Doing Agile Right: Transformation Without Chaos / Darrell Rigby, Sarah Elk, Steve Berez // Harvard Business Review Press, 2020. 256 p.

5. Laloux, Frederic. Reinventing Organisations: A Guide to Creating Organisations Inspired by the Next Stage of Human Consciousness. Nelson Parker. 2014. 9. 382 p.

6. Mamoli S. Holacracy for humans. *The InfoQ eMag*, 2019. Issue 71. May. P. 10–17.

7. Brian J. Robertson. How are holacracy-powered organizations different? Holacracy Foundation. – 2020. URL: https://www.holacracy.org/explore/why-practice-holacracy (Last accessed: 16.02.2024).

8. CMU/SEI-2002-TR-002. Capability Maturity Model® Integration (CMMISM), Version 1.1. CMMI for Systems Engineering/Software Engineering / Carnegie Mellon Software Engineering Institute. – Pittsburgh, USA. 2002. 629 p.

9. Sutherland J. Scrum and CMMI Level 5: The Magic Potion for Code Warriors / Sutherland, C. R. Jakobsen and K. Johnson // Proceedings of the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS 2008). Waikoloa, HI, USA. 2008. P. 466–466, DOI: https://doi.org/10.1109/HICSS.2008.384.

10. Potter N. Changes in CMMI V3 / N. Potter. The Process Group. 2024. URL: https://processgroup.com/changes-in-cmmi-v3/.

11. Wendler Roy. The Maturity of Maturity Model Research: A Systematic Mapping Study [Текст] / Roy Wendler // *Information and Software Technology*. 2012. Vol. 54. No. 12. P. 1317–1339. DOI: https://dx.doi.org/10.1016/j.infsof.2012.07.007. ISSN 0950-5849.

12. Dos Santos-Neto João Batista Sarmento. Enterprise maturity models: a systematic literature review [Текст] / João Batista Sarmento dos Santos-Neto & Costa Ana Paula Cabral Seixas // *Enterprise Information Systems*. 2019. Vol. 13, Issue 5. P. 719–769. DOI: https://dx.doi.org/10.1080/17517575.2019.1575986.

13. Бушуєв С. Д. Технологічна зрілість як інструмент стратегічного розвитку компаній на основі управління проектами *Управління проектами та розвиток виробництва*: зб. наук. пр. – Луганськ. 2004. Вип. 1 (9). С. 5–16.

14. Kerzner H. Project Management 2.0: Leveraging Tools, Distributed Collaboration, and Metrics for Project Success / H. Kerzner; International Institute for Learning. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2015. 316 p.

15. Harold Kerzner. Using the Project Management Maturity Model: Strategic Planning for Project Management, 3rd Edition. / Harold Kerzner. Wiley. 2019. 320 p.

16. Мартинюк О. А. Діагностика рівня управлінсько-технологічної зрілості підприємств харчової промисловості. Київ. 2018. № 3. С. 25–31.

17. Vianaa J. C. Enhancing Orgnizational Project Management Maturity: a framework based on the value focused thinking model. Production. 2016. Vol. 26. No. 2. DOI: https://doi.org/10.1590/0103-6513.169913.

18. Komadinić V. R. Maturity model of integrated management system. *International Journal of Advanced Quality*. 2017. Vol. 45. No. 3. P. 47–50.

19. ISO/IEC/IEEE 24765:2017(en). Systems and software engineering – Vocabulary. URL: https://www.iso.org/standard/71952.html.

20. Bushuyev S. D. Values Spiral Development Method in the Implementation of Digitalization Projects in Syncretic Methodology. *International Journal of Computingю* 2024. No. 23(2). P. 177–186. DOI: https://doi.org/10.47839/ijc.23.2.3535.

21. Івко А. В. Methods of methodologies hybridization in the management system of development projects of self-managed organizations. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2023. № 56. С. 14–23. DOI: https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.56.14-23.

22. Hansen S., Too E., Le T. Criteria to consider in selecting and prioritizing infrastructure projects. MATEC Web of Conferences. 2019. 270, 06004. DOI: https://doi.org/10.1051/ matecconf/201927006004.

Івко А. В., *канд. техн. наук, https://orcid.org/0000-0002-3388-8355*

Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА), м. Київ, Україна

МОДЕЛІ І МЕТОДИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЗРІЛОСТІ САМОКЕРОВАНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ В КОНТЕКСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИНКРЕТИЧНОЇ МЕТОДОЛОГІЇ

Анотація

Вступ. Проєкти відновлення інфраструктури України реалізуються у складних умовах війни і багатьох викликів. Для підвищення ефективності їхньої реалізації проєктно-орієнтованим організаціям потрібна ефективна система управління. При цьому необхідно не тільки застосовувати інноваційні моделі і методи управління проєктами, що розроблені у світі провідними організаціями і компаніями, але й створювати власні наукові напрацювання, з урахуванням складних умов навколишнього середовища. Оскільки проєкти відновлення пов'язані з будівельною галуззю, яка є одним з локомотивів розвитку економіки України в цілому. А отже розроблення нових моделей і методів підвищення ефективності діяльності проєктно-орієнтованих організацій є актуальною науковою задачею.

Проблематика. Обґрунтована проблематика розвитку систем управління проєктно-орієнтованих організацій, що реалізують проєкти відновлення з використанням сучасних (у т. ч. синкретичної) методологій управління проєктами описана. Обґрунтована необхідність підвищення ефективності таких систем управління підкреслена. Обґрунтована важливість розроблення моделі

синкретичної зрілості для застосування проєктно-орієнтованими організаціями для реалізації проєктів відновлення в межах синкретичної методології управління проєктами обґрунтована. Наукова задача розроблення моделі синкретичної зрілості у галузі управління проєктами для застосування у досліджуваному типі проєктів сформульована.

Мета. Розроблення моделі технологічної зрілості самокерованих організацій в контексті використання синкретичної методології при реалізації такими організаціями проєктів відновлення інфраструктури та ідентифікація множини моделей і методів розвитку синкретичної технологічної зрілості в управлінні проєктами.

Матеріали та методи. Для досягнення поставленої мети були використані наступні моделі та методи: дослідження літературних джерел, методи аналізу і синтезу, моделі та методи класифікації і структуризації, моделі технологічної зрілості, методи ідентифікації. Матеріалами для аналізу служили проєкти і портфелі проєктів відновлення інфраструктури, реалізацією яких опікується Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України.

Результати. У подальший розвиток моделі технологічної зрілості Гарольда Керцнера, запропонована Модель синкретичної технологічної зрілості в управлінні проєктами. Модель включає сім рівнів технологічної зрілості: синкретична мова, синкретичні процеси, інтегровані (проєктні та операційні) процеси, єдина проєктна методологія, єдина інтегрована методологія, інтегрований бенчмаркінг (процес запозичення і впровадження кращого досвіду), безперервні інтегровані покращення. Надано графічний вигляд моделі. Запропонована множина моделей і методів, які потрібні для набуття кожного рівня технологічної зрілості відповідно до моделі SMMM. А також множина моделей і методів, які необхідно використовувати, щоб залишатися на поточному рівні зрілості.

Висновки. Розроблення нових моделей та методів підвищення ефективності систем управління проєктами відновлення є актуальним науковим і практично значимим завданням. У межах запропонованого, синкретичного підходу, в цій статті розроблено Модель синкретичної технологічної зрілості у управлінні проєктами для використання самокерованими організаціями в проєктах відновлення інфраструктури України. Описані моделі та методи переходу на кожен наступний рівень синкретичної зрілості, а також моделі та методи, використання яких дозволяє залишатися на поточному рівні. Використання зазначених моделей покликано впорядкувати і систематизувати систему управління проєктами проєктно-орієнтованих організацій, що реалізують проєкти відновлення, що здатне підвищити прозорість, гнучкість, ефективність і результативність таких систем управління. Проведено SWOT-аналіз запропонованих моделей, який довів перспективність досліджуваних підходів. Окреслено перспективи подальших досліджень в обраному напрямку.

Ключові слова: проєкти відновлення інфраструктури, управління проєктами та програмами, модель технологічної зрілості, синкретична методологія, самокерована організація.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.070

УДК 338.5:625.7/.8

Комар В. Ю., *https://orcid.org/0000-0002-2634-9257*

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

АНАЛІЗ МІЖНАРОДНОГО ДОСВІДУ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ КОНТРАКТІВ «DESIGN-BUILD» ТА «DESIGN-BUILD-OPERATE»

Анотація

Вступ. У статті розглянуто міжнародний досвід реалізації великих інфраструктурних проєктів в інших країнах світу за методом, коли один підрядник здійснює проєктування та будівництво або проєктування, будівництво та експлуатацію, проаналізовано переваги та недоліки та можливість впровадження даних методів під час будівництва інфраструктурних проєктів в Україні.

Проблематика. Недоліки традиційного методу реалізації проєктів полягають у послідовному виконанні етапів робіт з проєктування і будівництва, часових витратах на організацію торгів для кожного окремого етапу, у координації різних підрядників, розподіл відповідальності між проектантом і будівельником. Також певні додаткові витрати часу можуть виникнути у разі необхідності внесення змін до проєктної документації, необхідність яких виникає в процесі будівництва тощо.

Мета. Провести аналіз міжнародного досвіду реалізації інфраструктурних проєктів за контрактами «Design-Build» та «Design-Build-Operate» Виявити переваги та недоліки, визначити потенціал використання даних контрактів як альтернативи традиційному методу, з метою впровадження в Україні.

Матеріали і методи. Дослідження базується на аналізі міжнародного досвіду впровадження контрактів «Design-Build» і «Design-Build-Operate», а також на прикладах реалізації інфраструктурних проєктів у Сполучених Штатах, Європі та Азії. Основна увага приділяється законодавчим аспектам, процедурі реалізації, оцінці ефективності цих методів аналізу ризиків і формуванню вартості під час їхньої реалізації.

Результати. Використання контрактів «Design-Build дозволяє об'єднати етапи проєктування, будівництва, а при контрактах «Design-Build-Operate» ще і експлуатацію в єдиний контракт. Це знижує витрати на координацію та управління проєктом, мінімізує ризики для замовника і підвищує відповідальність підрядника. У більшості випадків спостерігається підвищення якості робіт і скорочення строків реалізації проєктів порівняно з традиційним методом.

Висновки. Міжнародний досвід демонструє, що контракти «Design-Build» і «Design-Build-Operate» є ефективними під час реалізації великих інфраструктурних проєктів, зокрема в будівництві автомобільних доріг. Їх впровадження в Україні може позитивно вплинути на розвиток інфраструктури, проте необхідні зміни у законодавстві для адаптації цих контрактів до місцевих умов, зокрема зокрема потребує вдосконалення механізм індексації цін у разі зміни ринкових умов.

***Ключові слова*:** будівництво, вартість, ефективність, інфраструктурні проєкти, управління ризиками, реалізація проектів, реформа законодавства, скорочення строків, страхування, традиційний метод, ціна, «Проєктуй – Будуй», «Проєктуй – Будуй – Експлуатуй», Design-Build, Design-Build-Operate.

Вступ

Будівництво інфраструктурних об'єктів є ключовим фактором економічного зростання та соціального розвитку будь-якої країни. Зараз переважна більшість проєктів реалізуються за традиційним методом, в наступній послідовності - торги-проєктування-торги-будівництво (**рис. 1**).

За цим методом реалізація проєкту виконується за певною послідовністю етапів:

- перший етап на якому замовник оголошує торги на розроблення проєктної документації відповідно до технічного завдання;
- другий етап — розроблення проєктної документації;
- третій етап — проведення торгів на будівництво відповідно до затвердженої проєктної документації; завершальний етап — підрядник виконує будівельні роботи.

Замовник здійснює нагляд за ходом будівництва та контролює відповідність робіт проєктним вимогам, термінам та бюджету.

Недоліки, які можуть виникнути під час реалізації проєктів за традиційним методом:

— проєктування та будівництво виконують послідовно, тому вимагає активної участі замовника на кожному етапі процесу, як проєктування, так і будівництва, оскільки він працює окремо з різними командами підрядників;

— значні витрати часу на організацію торгів послуг з проєктування та закупівель послуг з будівництва;

— розроблення та погодження проєктної документації можуть тривати не один рік.

Додаткові витрати та затримки виникають при необхідності внесення змін в проєктну документацію у разі зміни будівельних рішень або відхилень, які можуть виникнути під час будівництва.

Це лише частина аспектів, які повинен контролювати замовник, оскільки вони впливають на терміни і якість реалізації проєкту.

Сучасні тенденції в управлінні будівельними проєктами все частіше вимагають скорочення строків реалізації, підвищення ефективності та зниження витрат. У цьому контексті існують методи реалізації проєкту за якими проєктування та будівництво виконує один підрядник, це контракти типу «Design-Build» (**рис. 2**).

Та більш розвинутий метод за яким роботи з проєктування, будівництва та експлуатаційного утримання реалізує один підрядник – це контракти типу або «Design-Build-Operate» (**рис. 3**).



Рисунок 1 — Схема контракту за традиційним методом



Рисунок 2 — Схема контракту типу «Design-Build»

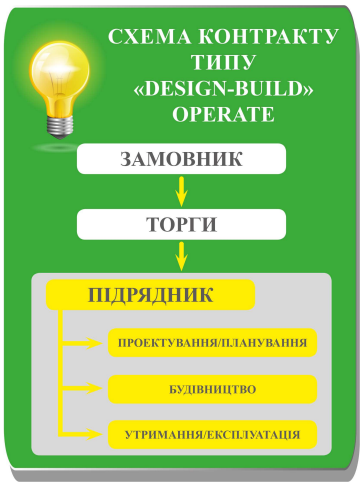


Рисунок 3 — Схема контракту типу «Design-Build-Operate»

Основна частина

Контракти «Design-Build» у світі активно використовують з 90-х років минулого сторіччя під час реалізації великих інфраструктурних проєктів, таких як реконструкція магістралей, будівництво аеропортів та інші.

У 1994 році Конгрес США прийняв «Federal Acquisition Streamlining Act (FASA)» (Закон про спрощення федеральних закупівель) основною ідеєю якого була двофазна процедура відбору підрядників. Перший етап включав оцінку технічної спроможності підрядника на другому етапі підрядники подавали вартісні пропозиції. Такий підхід дозволив замовникам відбирати найбільш кваліфікованих підрядників для комплексного виконання проєкту – від проєктування до будівництва, такі контракти отримали назву «Design-Build». У подальшому такий метод став використовуватись, як альтернатива традиційному методу, використання якого часто призводило до перевищення бюджету і затримками під час реалізації масштабних проєктів.

Контракти за схемами «Design-Build» та «Design-Build-Operate» (далі — Контракти) дозволяють інтегрувати етапи проєктування, будівництва та експлуатації, в один договір, що мінімізує ризики для замовника і підвищує відповідальність підрядника за кінцевий результат. Такі контракти широко застосовують у Сполучених Штатах, Європі та Азії, демонструючи високий рівень успішності їхньої реалізації.

Перші великі проєкти, реалізовані за контрактом «Design-Build», продемонстрували значне скорочення часу на їхню реалізацію та зменшення витрат. Яскравий приклад впровадження такого контракту за новою схемою був проєкт реконструкції автомагістралі I-15 (**рис. 4**) вартість якого склала 1,5 мільярда доларів, який передбачав реконструкцію та розширення існуючої, перевантаженої транспортним рухом ділянки автомагістралі.



Рисунок 4 — Автомагістраль Interstate-15

Головною задачею зазначеного проєкту було у стиснуті строки завершити роботи з реконструкції автомагістралі до відкриття XIX Зимових Олімпійських ігор 2002 року у місті Солт-Лейк-Сіті, штат Юта. Проєкт був розпочатий у 1997 році і був завершений достроково в літку 2001 року. За традиційним методом, реалізація проєкту такого масштабу будівництва зайняла б 9 – 11 років. Використовуючи контракт за схемою «Design-Build», строк реалізації цього проєкту було скорочено до 4 років і вдалось заощадити мільйони доларів. Проблему, яку потрібно було вирішити підряднику, полягала в уникненні перекриття руху транспорту під час реконструкції. Її вирішення вимагало будівництва численних об’їзних доріг і тимчасових транспортних споруд, це було реалізовано шляхом впровадження в рамках Контракту передових

технологій, зокрема ABC (Accelerated Bridge Construction) — метод прискореного будівництва мостів і використання збірних елементів для доріг та інших об'єктів.

У США такі Контракти зараз використовують як стандартний підхід для реалізації великих інфраструктурних проєктів, що мають високий рівень невизначеності та потребують гнучкості під час їхньої реалізації.

Одне з перших масштабних досліджень щодо ефективності Контрактів у США, провели Віктор Санвідо та Марк Кончара [2]. В якому вони підтвердили, що контракти «Design-Build» дозволяють зменшити час реалізації проєктів на 33 % та зменшити витрати на 6 % порівняно з традиційними контрактами. Це досягається за рахунок інтеграції всіх етапів проєкту в єдиному контракті. Важливим фактором успіху є залучення досвідчених команд управління проєктами та використання передових технологій. У своїй праці вони проаналізували вплив ступеня інтеграції проєкту на його результативність за показниками зростання витрат, графіка виконання робіт та якості проєктів. Їхнє дослідження базується на даних 351 реалізованого проєкту за якими розглядаються вартість, терміни та якість виконання. Автори дійшли висновку, що Контракти забезпечують швидше та економічне виконання проєктів порівняно з традиційними методами.

Одним з останніх проєктів, який був реалізований з 2018 року по 2022 рік у США, за контрактом «Design-Build-Operate» є проєкт «Central 70» (**рис. 5**) у Денвері, штат Колорадо [6].

Проєкт включав: реконструкцію 10-мильного відрізка автомагістралі I-70, за яким необхідно було виконати наступні роботи:

— демонтаж старого 2,5-мильного віадуку, який був побудований у 1960-х роках;

— пониження рівня магістралі з будівництвом тунелю;

— будівництво над тунелем зеленого парку, який виконуватиме роль громадського простору для місцевих жителів.

Виконання робіт потрібно було виконати без перекриття руху по автомагістралі I-70 з максимальним використання матеріалів отриманих від розбирання старих споруд і покривів за ретельного дотримання екологічних норм. Попередній розрахунок строків реалізації проєкту за традиційним методом передбачав 15 років, проте проєкт був реалізований протягом 5 років.



Рисунок 5 — Автомагастраль I-70 тунель і парк Central-70 Project (https://www.kiewit.com/projects/central-70)

В Європі Контракти стали популярними у 2000-х роках, особливо у Великобританії, Німеччині та Франції.

У Британії Контракти успішно застосовували під час будівництва автомобільних доріг та інфраструктурних проєктів. Одним із цікавих прикладів реалізації проєкту за контрактом «Design-Build-Operate» є будівництво першої в Англії платної автомагістралі «M6 Toll» (**рис. 6**) в обхід існуючої перенавантаженої трафіком ділянки автомагістралі M6 в районі Бірмінгема [7].



Рисунок 6 — Пункт оплати проїзду, автомагістраль M6 Toll

Будівництво виконували за кошти приватних інвесторів з використанням моделі державно-приватного партнерства, де приватний сектор відповідав за проєктування, будівництво, фінансування та експлуатаційне утримання автомобільної дороги на 53 роки. Особливістю цієї моделі було те, що всі витрати, ризики, пов'язані з будівництвом і експлуатацією, несли приватні інвестори, а основним джерелом доходів були збори за користування дорогою. У цьому випадку, страхування ризиків допомогло уникнути банкрутства підрядника, навіть попри те, що цей проєкт із-за малої кількості користувачів досі залишається збитковим.

У цьому конкретному проєкті, де кількість користувачів стала меншою, ніж очікувалося, і через це він не приносив запланованих доходів, підрядник зміг захистити свої фінансові інтереси завдяки наявності страхування ризиків.

У Німеччині однією з характерних рис будівельної галузі є чітке регулювання процесу реалізації проєктів за допомогою законодавчих актів, таких як «Будівельний кодекс» (BauGB), який визначає правила щодо забудови, зокрема для інфраструктурних проєктів, також «Положення про закупівлю та підряд на виконання будівельних робіт» (Vergabe und Vertragsordnung für Bauleistungen) [8]), які регулюють будівельні контракти та розподіл ризиків та «Правила оплати праці проєктувальників та інженерів» (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure HOAI) [9].

Зважаючи на певну зарегульованість будівельної галузі у Німеччині, Контракти «Проєктуй – Будуй» (Planen und ausführen) використовують для будівництва інфраструктурних об'єктів, житлових і комерційних будівель, промислових об'єктів s громадських споруд

Прикладом цього може служити використання Контрактів під час реалізації проєкту з реконструкції частини ділянки автобану A9 (**рис. 7**) між Нюрнбергом і Мюнхеном протяжністю 170 км, яка потребувала розширення та посилення через постійне перевантаження транспортом, особливо поблизу великих міст.



Рисунок 7 — Автобан А-9 біля міста Мюнхен

Проєкт мав на меті розвантажити транспортну артерію та підвищити безпеку руху на цій ділянці, шляхом розширення проїзної частини до восьми смуг руху з реконструкцією мостів і шляхопроводів.

Загальна вартість проєкту на ділянці автобану А9 склала приблизно 370 млн євро, що включала встановлення сучасних датчиків, камер і електронних табло вздовж автобану для інформування водіїв про дорожню ситуацію в режимі реального часу.

Основна складність проєкту полягала в тому, що він охоплював велику протяжність і великий обсяг робіт, який вимагав чіткої координації дій, оскільки реконструкція проходила на декількох ділянках одночасно. Важливою вимогою було забезпечення безпечного і безперервного проїзду транспорту, що ускладнювало логістику і процес виконання робіт. Ще однією задачею, були складні геологічні умови та необхідність влаштування нових розв'язок, які вимагали високої кваліфікації спеціалістів.

Цей проєкт був реалізований у скорочені строки з 2018 по 2021 рік, завдяки можливості залучення професійних субпідрядників на виконання робіт, необхідність у виконанні яких виявилась після початку робіт з реконструкції. За традиційним методом розрахунковий строк реалізації проєкту був 10-15 років.

Вивчення досвіду Франції показує, що декілька великих інфраструктурних проєктів були реалізовані за контрактами за схемою «Design-Build-Operate». Як приклад наведемо будівництво автомагістралі А65 (**рис. 8**) на південному заході Франції, ця автомобільна дорога відома як «Autoroute de Gascogne», та з'єднує місто Лангон з містом Пау відстаннню 150 км.

Проєкт був ініційований у 2008 році міжвідомчою комісією з територіального планування Франції (Commission Interministérielle d'Aménagement du Territoire CIACT) з метою покращення транспортного сполучення у цій частині та забезпечення зручного доступу для місцевих мешканців і туристів до визначних місць і зон відпочинку.

Фінансування проєкту здійснювала приватна компанія без державних субсидій, для реалізації проєкту було залучено понад мільярд євро. У рамках контракту передбачено, що підрядник буде управляти побудованою автомагістраллю протягом 65 років. Офіційне відкриття автомагістралі відбулося 14 грудня 2010 року. На даний момент об'єкт є прибутковий, вартість проїзду становить 19,70 євро за повну поїздку на легковому автомобілі, що повністю покриває витрати підрядника.



Рисунок 8 — Автомагістраль А-65 будівництво, червень 2010 року

Проєкт будівництва автомагістралі А-65, має декілька унікальних рис. А саме, автомагістраль проходить через Регіональний природний парк Ланди де Гасконь (Parc naturel régional des Landes de Gascogne) та велику кількість приватних угідь, що вимагало ретельного планування та дотримання екологічних норм з врахування інтересів місцевих жителів. У процесі будівництва додалась значна кількість юридичних процедур, таких як викуп ділянок, отримання дозволів від місцевих громад тощо.

Французький досвід залучення приватного капіталу в інфраструктурні проєкти з використанням Контрактів описано у звіті «France: Public-Private Partnerships in Water-Sanitation and Public Transport» [11]. У ньому Контракти розглядають у контексті проблематики, яка виникла під час реалізації проєктів, зокрема фінансові:

— вартість робіт суттєво перевищувала попередні розрахунки, що збільшило витрати обох сторін, переважно замовника;

— різне бачення щодо розміру прибутку підрядника;

— розбіжності в поглядах, ускладнювали управління проєктами;

— непрозорі умови контрактів, у частині тарифів, зміни цін матеріалів, графіка платежів, комісій, штрафи та пені, вирішення спорів, вимог до якості наданих послуг.

Та навіть з урахуванням проблематики автори наголошують про переваги цих Контрактів для довгострокового управління проєктами, що сприяє підвищенню ефективності та скороченню часу їхньої реалізації.

Завдяки швидкому економічному розвитку в Азії контракти за схемою «Design-Build» та «Design-Build-Operate» набули популярності із-за потреби в оперативному будівництві великих інфраструктурних об’єктів. Південна Корея, Китай і Малайзія є провідними країнами, які активно використовують ці Контракти для будівництва доріг, мостів і громадських будівель.

Особливість впровадження Контрактів у Малайзії полягала у використанні їх як для державних, так і для приватних проєктів.

Досвід Малайзії показав яким чином політична ситуація та інші непередбачувані фактори можуть вплинути на вартість реалізації проєкту, збільшивши з 5 мільярдів доларів США до майже 7 мільярдів доларів США в процесі його реалізації. Заручником такої ситуації, стали підрядники проєкту реконструкції Автомагістралі Пан-Борнео (Pan-Borneo Highway) АН-150 (**рис. 9**) на Малайзійському острові Борнео, яка сполучає міста Кучінг та Лутонг біля кордону з Брунеєм.

Реконструкція автомагістралі АН-150 мала за мету, розширення автомобільної дороги до чотирьох смуг руху для збільшення пропускної спроможності ділянки загальною довжиною 2 083 км. Після початку реконструкції у 2015 році в Малайзії відбулася історична зміна влади. Новий уряд переглянув доцільність будівництва ряду великих інфраструктурних проєктів, одним з яких був проєкт автомагістралі АН-150. У результаті чого було припинено його фінансування. У подальшому ситуація ускладнилася через пандемію COVID-19, що загострило проблему нестачі коштів для великих проєктів.



Рисунок 9 — Автомагістраль АН-150 Pan-Borneo Highway

У 2021 році уряд Малайзії погодився на виділення коштів для продовження реконструкції автомагістралі АН-150 з урахуванням подорожчання, на момент написання статі запланований термін здачі проєкту було встановлено літо 2025 року. У Малайзії, як і в інших країнах, існує можливість змінювати ціну контракту в сторону подорожчання у разі зміни ринкових умов або інших непередбачуваних обставин, але за умови достатнього обґрунтування. Це застосовується для сфери державних закупівель і під час реалізації великих інфраструктурних проєктів, будівництво яких може займати великий часовий проміжок. У даному випадку підрядник зміг продовжувати реалізацію проєкту після перерви в майже 3 роки, завдяки ефективному законодавству Малайзії з можливістю перерахування вартості.

Розглянувши досвід Китаю бачимо, що Контракти у цій країні активно використовують майже у всіх галузях будівництва, для нас пріоритетом є огляд інфраструктурних проєктів.

Вплив на реалізацію великих інфраструктурних проєктів у Китаї за схемою «Design-Build» проаналізували Сі Чжен та Лі Юй [13]. Вони зосередились на важливості чіткої організації та контролю під час будівництва високошвидкісних залізничних шляхів наприклад Пекін – Шанхай, одного з найдовших залізничних маршрутів у світі, що з'єднує два найбільших міста Китаю протяжністю 1 318 кілометрів (**рис. 10**).

Будівництво залізничної лінії розпочалося 18 квітня 2008 року, а відкриття відбулось 30 червня 2011 році. Під час реалізації проєкту необхідно було врахувати здатність колії витримувати високі швидкості до 400 км на годину. Для забезпечення таких параметрів більшість довжини залізничної лінії (близько 1 000 км) було запроєктовано на естакадах і мостах. Для забезпечення швидкого будівництва залізниці було залучено 135 тис. робітників, витрати на реалізацію всього проєкту досягли 33 мільярди доларів США з урахуванням будівництва інфраструктури для залізниці.



Рисунок 10 — Естакада високошвидкісної залізниці Пекін – Шанхай

Південно Корейський досвід використання Контрактів описують Хуан Юй та Чень Цянь [15]. Автори аналізують масштабні інфраструктурні проєкти, один з яких будівництво другого терміналу аеропорту Інчхон. Зростання пасажиропотоку аеропорту Інчхон (**рис. 11**) стало важливим сигналом для розширення терміналу та будівництва додаткових злітно-посадкових смуг з метою забезпечення обслуговування пасажиропотоку у 18 мільйонів пасажирів на рік. Метою проєкту була модернізація інфраструктури для автоматизації процесів обслуговування пасажирів і поєднання сучасного дизайну і функціональності.



Рисунок 11 — Другий пасажирський термінал Міжнародного аеропорту Інчхон

Проєкт будівництва Другого пасажирського терміналу Міжнародного аеропорту Інчхон стартував у 2015 році і тривав 3 роки. Для його реалізації взяли участь іноземні підрядні організації з відповідним досвідом. Хоч проєкт коштував уряду Південної Кореї майже 2 мільярда доларів США, проте за ці кошти, був отриманий унікальний досвід реалізації Контрактів такого типу. Цей досвід був впроваджений у наступних проєктах Південної Кореї, які були реалізовані уже місцевими підрядниками.

Висновки

Світовий досвід [1 – 24] при реалізації проєктів за схемою «Design-Build» і «Design-Build-Operate» показує такі переваги:

1. Поєднання проєктування, будівництва та, у деяких випадках, експлуатації в єдиному контракті, що мінімізує затримки, пов'язані з переходом між етапами і в подальшому впливає на скорочення строків реалізації проєктів.
2. Використання єдиного підрядника для всіх етапів реалізації проєкту, знижує загальні витрати на координацію та управління, забезпечує зменшення витрат порівняно з традиційними контрактами.
3. Один підрядник контролює реалізацію проєкту від початку до кінця, що зазвичай забезпечує підвищення якості виконання проєкту.
4. Можливість зміни ціни Контракту за належного обґрунтування, у багатьох країнах.
5. Можливість страхування ризиків для виконання умов Контракту.

З огляду на вищенаведене бачимо, що більшість контрактів за схемою «Design-Build» та «Design-Build-Operate» мали позитивний досвід з підвищення ефективності під час реалізації інфраструктурних проєктів, особливо під час будівництва автомобільних доріг. Вони дозволили скоротити строки та зменшити витрати. Але реалізація великих проєктів пов'язана з ризиками та великою відповідальністю підрядника за кінцевий результат. Як показує досвід реалізованих проєктів більшість ризиків можливо спрогнозувати, але є ризики, які можливо знизити завдяки висококваліфікованої управлінської команди та досвіду, а деякі із них можливо застрахувати.

На думку автора впровадження контрактів «Design-Build» і «Design-Build-Operate» під час будівництва та відновлення інфраструктури України може забезпечити високу якість робіт і мінімізувати строки реалізації проєктів. Міжнародний досвід показує, що ефективне законодавство може враховувати механізми коригування вартості контракту у разі форс-мажорних обставин при належному обґрунтування такої зміни. Це дозволяє забезпечити адаптивність Контрактів до сучасних економічних умов для всіх сторін Контракту. Проте для успіху необхідні відповідні методологічні та регуляторні підходи. Наразі українське законодавство обмежує можливість збільшення вартості контракту після його підписання. Тому для якісного впровадження Контрактів потрібне реформування українського законодавства з урахуванням світового досвіду. У першу чергу, необхідно передбачити механізм індексації цін на роботи та матеріали з урахуванням інфляції у разі настання форс-мажорних обставин або зміни ринкових умов. Цей механізм суттєво підвищить прозорість і стабільність будівельного ринку і сприятиме довірі між державою та бізнесом, що стане основою для подальшого розвитку країни.

Список літератури

1. Federal Acquisition Streamlining Act of 1994. Washington, 1994. URL: https://www.congress.gov/bill/103rd-congress/senate-bill/1587 (дата звернення 10.09.2024).
2. Sanvido, V., & Konchar, M. Comparison of U.S. Project Delivery Systems: Design-Build, Design-Bid-Build, and Construction Management at Risk. *Journal of Construction Engineering and Management*. Reston. 1994, № 124(6). P. 435–444.
3. Lane, C., & Hines, R. Evaluating Design-Build Effectiveness for Transportation Projects. *Transportation Research Record*. ASCE. Vol. 3 (3). July 2003. P. 133–136.
4. Kraus, A., & Levinson, L. The Role of Design-Build-Operate Contracts in the U.S. Water Sector. *Journal of Water Resources Planning and Management*. Philippines. 2003. P. 5–8.
5. Quatman, G. W., & Dhar, R. The Architect's Guide to Design-Build Services. John Wiley & Sons Inc. Danvers. 2003. 450 p.
6. Central 70. USA, 2024. URL: https://www.kiewit.com/projects/central-70/ (дата звернення 10.09.2024).

7. M6TOLL. USA. 2024 URL https://www.m6toll.co.uk (дата звернення 10.09.2024).
8. Vergabe und Vertragsordnung für Bauleistungen. Germany, 2024. URL: https://www.fib-bund.de/Inhalt/Vergabe/VOB/ (дата звернення 10.09.2024).
9. Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI). Germany, 2024. URL: https://www.hoai.de/ (дата звернення 10.09.2024).
10. Barrett, P., & Trimble, D. M6 Toll (BNRR): A PPP Model for Highway Infrastructure. Public-Private Partnerships in Transport: Case Studies and Lessons Learned. Washington, 2003. P. 56–62.
11. Bauby P, Zadra-Veil. C. France: Public-Private Partnerships in Water-Sanitation and Public Transport. 2021. URL: https://hal.science/hal-03419946/document (дата звернення 10.09.2024).
12. Lee, Z. P., Rahman, R. A., & Doh, S. I. Critical success factors for implementing design-build: analysing Malaysian public projects. *Journal of Engineering*, Design and Technology. 20(5). 2021. P. 1041–1056.
13. Zheng, X., & Yu, L. Impact of Design-Build Contracts on High-Speed Rail Projects in China. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2018, 144(6), 04018043.
14. Guo K., Zhang L. Multi-objective optimization for improved project management: Current status and future directions. *Journal of Construction Management and Economics*. 2022, 40(5). P. 720–736
15. Huang, Y., & Chen, Q. (2020). Challenges and Opportunities of Design-Build Contracts in South Korea. *Built Environment Project and Asset Management*. 2020, 10(4). P. 512-524.
16. American Society of Civil Engineers (ASCE). Design-Build: How it Works & Why it's Better. ASCE Press. 2020. URL: https://www.asce.org/ (дата звернення 10.09.2024).
17. Odeh, I., Alzarrad, O., & Alzahrani, N. Comparative analysis of design/build and design/bid/build project delivery systems in Lebanon. *International Journal of Project Management*. 1 Ind Eng Int 15 (Suppl 1), P. 147–152 (2019). DOI: https://doi.org/10.1007/s40092-019-00323-1.
18. Nakamura, H., Nagasawa, K., & Hasegawa, A. (2019). Design-Build and Public-Private Partnership in Japan. *International Journal of Project Management*. 2019. 37(3). P. 510-525.
19. DLA Piper Realworld. General construction law in Germany. 2024. URL: https://www.dlapiperrealworld.com (дата звернення 10.09.2024).
20. Construction Industry Institute (CII). Project Delivery Systems Comparison. URL: https://www.construction-institute.org/project-delivery-systems-cm-at-risk-design-build-design-bid-build (дата звернення 10.09.2024).
21. World Construction Network (2024). Changi Corridor Enhancements, URL: https://www.worldconstructionnetwork.com/ (дата звернення 10.09.2024).
22. Klein, K., & Stott, R. (2024). NUS School of Design & Environment, URL: https://www.archdaily.com/ (дата звернення 10.09.2024).
23. Asian Development Bank (ADB). (2019). Principles of Infrastructure: Case Studies and Best Practices. URL: https://www.adb.org/ (дата звернення 10.09.2024).
24. The architect's guide to design-build services" By G. William Quatman & Ranjit Dhar, published in 2003 by John Wiley & Sons Inc. USA ISBN 0-471-21842-1, URL: https://planningtools.transportation.org/290/view-case-study.html?case_id=34 (дата звернення 10.09.2024).

References

1. Federal Acquisition Streamlining Act of 1994. Washington, 1994. URL: https://www.congress.gov/bill/103rd-congress/senate-bill/1587 (data zvernennia 10.09.2024) [in English].
2. Sanvido, V., & Konchar, M. Comparison of U.S. Project Delivery Systems: Design-Build, Design-Bid-Build, and Construction Management at Risk. *Journal of Construction Engineering and Management*. Reston. 1994. No. 124(6). P. 435–444 [in English].
3. Lane, C., & Hines, R. Evaluating Design-Build Effectiveness for Transportation Projects. *Transportation Research Record*. ASCE, Vol. 3 (3) July, 2003. P. 133–136 [in English].

4. Kraus, A., & Levinson, L. The Role of Design-Build-Operate Contracts in the U.S. Water Sector. *Journal of Water Resources Planning and Management*. Philippines, 2003. P. 5–8 [in Germany].

5. Quatman, G. W., & Dhar, R. The Architect's Guide to Design-Build Services. John Wiley & Sons Inc. Danvers, 2003. 450 p. [in Germany].

6. Central 70. USA, 2024. URL: https://www.kiewit.com/projects/central-70/ (data zvernennia 10.09.2024) [in English].

7. M6TOLL. USA. 2024 URL https://www.m6toll.co.uk (data zvernennia 10.09.2024) [in English].

8. Vergabe und Vertragsordnung für Bauleistungen. Germany, 2024. URL: https://www.fib-bund.de/Inhalt/Vergabe/VOB/ (data zvernennia 10.09.2024) [in Germany].

9. Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI). Germany, 2024. URL: https://www.hoai.de/ (data zvernennia 10.09.2024) [in Germany].

10. Barrett, P., & Trimble, D. M6 Toll (BNRR): A PPP Model for Highway Infrastructure. Public-Private Partnerships in Transport: Case Studies and Lessons Learned. Washington. 2003. P. 56–62 [in English].

11. Bauby P, Zadra-Veil. C. France: Public-Private Partnerships in Water-Sanitation and Public Transport. 2021. URL: https://hal.science/hal-03419946/document (data zvernennia 10.09.2024) [in English].

12. Lee, Z. P., Rahman, R. A., & Doh, S. I. Critical success factors for implementing design-build: analysing Malaysian public projects. *Journal of Engineering, Design and Technology*. 20(5), 2021. P. 1041–1056 [in English].

13. Zheng, X., & Yu, L. Impact of Design-Build Contracts on High-Speed Rail Projects in China. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2018, 144(6). 04018043 [in English].

14. Guo K., Zhang L. Multi-objective optimization for improved project management: Current status and future directions. *Journal of Construction Management and Economics*. 2022, 40(5). P. 720–736 [in English].

15. Huang, Y., & Chen, Q. (2020). Challenges and Opportunities of Design-Build Contracts in South Korea. *Built Environment Project and Asset Management*. 2020, 10(4). P. 512–524 [in English].

16. American Society of Civil Engineers (ASCE). Design-Build: How it Works & Why it's Better. ASCE Press. 2020. URL: https://www.asce.org/ (data zvernennia 10.09.2024) [in English].

17. Odeh, I., Alzarrad, O., & Alzahrani, N. Comparative analysis of design/build and design/bid/build project delivery systems in Lebanon. *International Journal of Project Management*. 1 Ind Eng Int 15 (Suppl 1). P. 147–152 (2019) https://doi.org/10.1007/s40092-019-00323-1 [in English].

18. Nakamura, H., Nagasawa, K., & Hasegawa, A. (2019). Design-Build and Public-Private Partnership in Japan. *International Journal of Project Management*. 2019. 37(3). P. 510–525 [in English].

19. DLA Piper Realworld. General construction law in Germany. 2024. URL: https://www.dlapiperrealworld.com (data zvernennia 10.09.2024) [in English].

20. Construction Industry Institute (CII). Project Delivery Systems Comparison. URL: https://www.construction-institute.org/project-delivery-systems-cm-at-risk-design-build-design-bid-build (data zvernennia 10.09.2024) [in English].

21. World Construction Network (2024). Changi Corridor Enhancements, URL: https://www.worldconstructionnetwork.com/ (data zvernennia 10.09.2024).

22. Klein, K., & Stott, R. (2024). NUS School of Design & Environment. URL: https://www.archdaily.com/ (data zvernennia 10.09.2024) [in English].

23. Asian Development Bank (ADB). (2019). Principles of Infrastructure: Case Studies and Best Practices. URL: https://www.adb.org/ (data zvernennia 10.09.2024) [in English].

24. The architect's guide to design-build services" By G. William Quatman & Ranjit Dhar, published in 2003 by John Wiley & Sons Inc., USA ISBN 0-471-21842-1. URL: https://planningtools.transportation.org/290/view-case-study.html?case_id=34 (data zvernennia 10.09.2024) [in English].

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

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

ANALYSIS OF INTERNATIONAL EXPERIENCE IN IMPLEMENTING "DESIGN-BUILD" AND "DESIGN-BUILD-OPERATE" CONTRACTS

Abstract

Introduction. The article examines the international experience of implementing large infrastructure projects in various countries using the "Design-Build" and "Design-Build-Operate" methods. It analyzes the advantages and disadvantages of these approaches and explores the possibility of applying them in infrastructure projects in Ukraine.

Problem Statement. The shortcomings of the traditional project implementation method involve sequential completion of design and construction phases, time spent on organizing tenders for each stage, coordinating various contractors, and the distribution of responsibilities between the designer and the builder. Additional time costs may also arise if changes need to be made to the project documentation during construction.

Objective. To analyze international experience in implementing infrastructure projects using "Design-Build" and "Design-Build-Operate" contracts. The goal is to identify the advantages and disadvantages of these contracts and determine their potential as an alternative to the traditional method for possible implementation in Ukraine.

Materials and Methods. The research is based on analyzing international experiences with "Design-Build" and "Design-Build-Operate" contracts, as well as examples of infrastructure project implementation in the United States, Europe, and Asia. The study focuses on legislative aspects, implementation procedures, and the effectiveness of these methods, risk analysis, and cost formation during their execution.

Results. The "Design-Build" method allows for the combination of design and construction stages, while "Design-Build-Operate" also integrates operation into a single contract. This reduces coordination and project management costs, minimizes risks for the client, and increases the contractor's responsibility. In most cases, there is an improvement in the quality of work and a reduction in project timelines compared to the traditional method.

Conclusions. International experience shows that "Design-Build" and "Design-Build-Operate" contracts are effective in implementing large infrastructure projects, particularly in road construction. Their introduction in Ukraine could positively impact infrastructure development, but legislative changes are required to adapt these contracts to local conditions, particularly improving the price indexation mechanism in case of market changes.

Keywords: construction, cost, efficiency, infrastructure projects, risk management, project implementation, legislative reform, timeline reduction, insurance, traditional method, price, Design-Build, Design-Build-Operate.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.083

UDC 625.7/.8

Zsolt Bencze, *Ph.D., https://orcid.org/0000-0003-2130-7864*
László Gáspár, *D.Sc., Prof., https://orcid.org/0000-0002-0574-4100*

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

LIFETIME ENGINEERING PRINCIPLES IN HIGHWAY ASSET MANAGEMENT

Abstract

Introduction. An important tendency of our time is sustainability, good value for money and long-term planning. These are also the goals of the recently developed discipline, lifetime engineering. Although the principles of the science were originally developed for buildings and engineering structures, they can also be adapted to public roads. The article — through a case study in Hungary — presents the applicability of life engineering science to public road asset management. Besides, examples of pavement structure design, durability, maintenance-operation and environmental protection are also presented.

Problem Statement. The typical lifetime engineering science principles used in the presentation were: increasing (pavement) life cycle; complex, multi-disciplinary design methodology; modular design; effective, quality insurance methods; high level satisfaction of the customers' needs; minimisation of lifetime costs; sustainable, end-of-life strategies. It is emphasized that lifetime engineering is based on specific basic principles that effectively promote an up-to-date approach to any discipline related to engineering infrastructure. The paper shows that the efficacy of a road asset management. can be considerably increased if some elements of lifetime engineering are utilized.

Purpose. Road asset management is a vital tool to the traffic management of every country in preserving the value of their highway network and to satisfy continuously the needs of road users at a high level.

Materials and Methods. The main principles of lifetime engineering and the major ambitions of road asset management are considered as starting point ("material") of the paper. A case study is shown on the possible combination of the previous two sciences.

Results. The article — through a case study in Hungary — presents and proves the applicability of lifetime engineering science to public road asset management. This very fact is supported by several examples of pavement structure design, durability, road maintenance-operation and environmental protection.

***Keywords*:** road asset management, lifetime engineering, pavement structural design, road maintenance, environmental protection.

Introduction

Among the general trends of our time, sustainability, good value for money and long-term planning can be highlighted. Obviously, these priorities can also be seen in the field of road engineering. Lifetime engineering, which was developed about 35 years ago, can be regarded as one of the important achievements in the direction of attaining the mentioned goals [1-2]. In Finland, this discipline was first developed for buildings and engineering facilities [3], primarily by innovating the design methodology of the facilities, by looking ahead to the entire expected life cycle, requiring the optimisation of technical-economic (financial)-environmental-cultural-human aspects, in the long term. It covers construction, quality control, maintenance, operation, management, and even end-of-life strategies. In the meantime, the basic principles of lifetime engineering were extended to other types of facilities, such as public roads [4-5]. In the following, with the help of a Hungarian case study, there will be outlined how certain basic principles of life engineering science can be utilized in the further development of road asset ma-nagement and certain road sub-activities [6].

Some basic principles of lifetime engineering science

In the 1990s, a Finnish research group (led by Professor Asko Sarja) started from the assumption the traditional planning (and design) technique, which — focusing on construction costs and short-term performance — mainly concentrates on the construction phase, needs further development. The demand for sustainable development is integrated, so-called it requires lifetime planning, which aims to opti-mize the entire operational lifetime of the building. A challenge facing the designers is to ensure the performance and durability of the facility throughout its entire operational life. For this purpose, it is advisable to expand the traditional "design for resistance (reaction)" to "durability design", which re-quires a new type of approach to the design process and the application of other types of calculations. This design methodology, based on the principles of life-cycle engineering, also covers health and safe-ty issues and prioritizes the examination of the reusability of building materials. Integrated planning focusing on quality during the entire life cycle is the main elements: costs, ecology, human factors and culture-related characteristics (**Table 1**) [8]. The new structural design process also cover the fields of mathematics, physics, system organization and other engineering or natural science disciplines [7].

Table 1

Classified requirements of a structure [3]

1. Human requirements
• functionality in use
• safety
• health
• comfort
	2. Economic requirements
	• investment economy
	• construction economy
	• lifetime economy in:
	  ○ operation
	  ○ maintenance
	  ○ repair
	  ○ rehabilitation
	  ○ renewal
	  ○ demolition
	  ○ recovery and reuse
	  ○ disposal

3. Cultural requirements • building traditions • life style • business culture • aesthetics • architectural styles and trends	4. Ecological requirements • raw materials economy • energy economy • environmental burdens economy • waste economy • biodiversity

Life cycle design deals with financial and environmental costs. Lifetime costs are either discounted pre-sent values for the first year or discounted annual costs from manufacturing, construction, mainte-nance, repair, conversion, modernization, renovation, reuse, recycling and disposal. Environmental costs can be: use of non-renewable natural resources (materials and energy), air pollution, water pollu-tion, soil pollution. One of the important objectives is the limitation and minimization of environmental costs.

The innovative approach also assumes the operation of an effective quality assurance system (e.g. ISO 9000 and ISO 14000 family of standards).

The main phases of detailed design are: traditional, mechanically based design; durability design; final planning. The purpose of durability planning is to ensure that the intended design life is achieved in the operating environment of the structure. The detailed durability design elements are [2]:

— determination of the target service life and the design service life;
— analysis of environmental effects;
— determination of durability factors and failure mechanisms;
— choosing a durability calculation model for failure mechanisms;

— calculation of durability parameters;
— possible clarification of the calculations of traditional, mechanically based design;
— transferring the durability parameters into the final design.

Life cycle design deals with financial and environmental costs. Lifetime costs are either discounted present values for the first year or discounted annual costs from manufacturing, construction, maintenance, repair, conversion, modernization, renovation, reuse, recycling and disposal. Environmental costs can be: use of non-renewable natural resources (materials and energy), air pollution, water pollution, soil pollution. One of the important objectives is the limitation and minimization of environmental costs.

The innovative approach also assumes the operation of an effective quality assurance system (e.g. ISO 9000 and ISO 14000 family of standards).

The main phases of detailed design are: traditional, mechanically based design; durability design; final planning. The purpose of durability planning is to ensure that the intended design life is achieved in the operating environment of the structure. The detailed durability design elements are [2]:

— determination of the target service life and the design service life;
— analysis of environmental effects;
— determination of durability factors and failure mechanisms;
— choosing a durability calculation model for failure mechanisms;
— calculation of durability parameters;
— possible clarification of the calculations of traditional, mechanically based design;
— transferring the durability parameters into the final design.

Elements and main objective of highway asset management

The responsibility of the owner and manager of public roads is to manage the huge mass of assets efficiently in the long term, taking into account the aspects of the national economy. Asset management is a scientifically based, coordinated activity. The actual practice of road asset management is not consi-dered definitively (finally) established in any country, which no longer requires further development [9]. The importance of road asset management is shown by the fact that one of the Technical Committees of the World Road Association has been dealing with this topic for decades ("Asset Management" Committee). The Committee distinguishes four main elements [10]:

— owner requirements and user needs;
— "business" elements of asset management;
— administrative decisions, especially regarding organizational issues;
— the technical decision support elements (including various management systems).

Owner expectations draw attention to the great responsibility of the owners of public roads in preserving the assets of the network at their disposal and in continuously ensuring that it is able to meet the needs of users at a high level. At the same time, it is essential to continuously assess the needs of road users and utilize the information collected as a result when taking new owner-operator measures.

Road asset management cannot be successful if the various stakeholders cannot be involved in some form in the efforts to achieve the common goal. In this regard, its greatest importance lies in the national economic orientation of performing various construction, renovation and maintenance activities. Thus, the importance of realistic designation of performance-based specifications and, of performance criteria, is to be stressed.

Road asset management also requires solving many organizational issues. The road manager's responsibility (ensuring ownership, achieving stability of financing, management responsibility, and even commercial management of roads) should be clearly recorded. A main goal is the efficiently functioning road quality control system, here the independent quality control institutions have an important role.

Technical decision support elements constitute the "heart" of efficient road asset management. In this context, the Hungarian road industry has the most successful history, some of which started to operate at the international level relatively early and at a high level. The regular sufficiency assessment of the Hungarian national highway network starting in 1979, which provides the opportunity to create valuable condition time series, deserves special attention. In 1981, the gross and net asset values of national roads and bridges were

calculated for the first time. Since then, this nationwide activity has been repeated every 4-5 years, only with a slightly changed methodology. In particular, the time series of the ratio of net/gross value in % provides useful information regarding the sufficiency or insufficiency of the road funding level of the previous period. From the point of view of road asset management, it is essential to create road data banks that store a wide range of reliable road-related information. Among the technical decision support tools, the pavement management system (PMS) has the greatest direct effect on ensuring that road decisions are optimal also in the long term. Several Hungarian PMSs have already been developed, and several successful foreign systems have been adapted to Hungarian condi-tions. The Hungarian bridge management system (BMS) is currently the domestic adaptation of the American PONTIS system, but it relies heavily on management elements that have already been develo-ped and proved successful in the country. Even in the long term, optimal road owner or operator de-cisions are increasingly made on the basis of forecast of the costs incurred during the entire lifetime of road pavement structures (Life Cycle Costs, Whole Life Costs). Ensuring the correct development/ maintenance ratio of the national road network is an important element of the road asset management policy.

The major up-to-date directions of highway asset management are as follows: performance indicators, climate change adaptation, resilience, rejuvenation of aging infrastructure, risk management, disaster management.

A manual of World Road Association (PIARC, AIPCR) [11] gives advice: on how asset management principles may be used to support a more efficient approach to maintain road infrastructure assets — road organizations' most valuable assets, and on the implementation and continuous development of road infrastructure asset management. The asset management framework presented in the Manual addresses short- and long-term condition and performance managing for the whole assets life, including ti-preservation actions and considerations of risk and risk management.

Asset Management is not a "high level" discipline addressed exclusively to strategic management; it should be "lived" at every workplace in the organization, so that the managed asset can be optimally operated, maintained and expanded [12]. The basic principles of Asset Management are documented in the ISO 55000 standard [13].

Influence of lifetime engineering science to Hungarian road asset management

It is clear that the principles of lifetime engineering can naturally be applied to the especially high-value road network, since in this case, too, it is aimed directly or indirectly at the planning (design) phase to meet the complex social needs during the entire life of the road. Since the lifetime engineering science is gradually becoming known in individual countries, more and more signs can be seen that the basic principles of the science appear in some elements of the road engineering, including road asset management. In the following, an example of this will be presented, focusing primarily on Hungarian practice.

Pavement structural design

Even in its main objective, the pavement structural design seeks to implement the basic principle of the lifetime engineering, which is to prove the successful satisfaction of the customers' (in this case also the road users') needs.

For the design of Hungarian flexible and rigid pavement structures, standardised pavement structures are basically used [14]. During the design phase, the appropriate pavement structure type can be selected based on the basic data and construction characteristics. The wearing course can be replaced once during the design lifetime — supposing that the necessary maintenance work is performed. The stresses generated at the bottom of the asphalt layers as a result of repeated traffic loads cannot exceed the fatigue strength. The lowest layer of the pavement structure does not transfer stress causing perma-nent deformation to the earthworks.

The following aspects of the selection follow the principles of life engineering science outlined in point 2 of the paper [15] to a greater or lesser extent:

— climatic and hydrogeological conditions;
— availability of local materials;
— network aspects;

— environmental protection and energy management aspects;
— the method and schedule of maintenance work;
— the road manager's expectations regarding the properties of the pavement structure.

For the alternative dimensioning of asphalt road pavement structures, a Hungarian procedure [16] has recently been developed, which also implements several basic principles of the lifetime engineering science. It was started from the fact that, in Hungarian practice, it often happens that the layer thick-nesses of the standardised pavement structure types did not meet the subsoil modulus recommended by the applicable technical specification [15]. According to their proposal, by carefully designing the subsoil and the improved soil layer, the bearing capacity of the pavement structure and thus its lifespan can be significantly lengthened. (Thus, the principle of „design of modular elements" of the lifetime engineering [17] has been utilized here). It causes often difficulty that, in the case of a given traffic load class, for economic reasons, the minimum wearing course thickness of 25 mm and binder course thick-ness of 50 mm are chosen. However, according to calculations, these layer thicknesses very often lead to material fatigue before the end of design life. This statement is especially true for unbound bases. Using WESLEA for Windows mechanical pavement analysis software, it was shown that the alternative, flexible pavement structure design method offers technically and economically more favourable pave-ment structures in the whole service life than the version designed using the national specification [15].

Road pavement duration

A Hungarian patent concerns the production of chemically stabilized rubber bitumen [18]. The wi-despread distribution of this new binder has played an important role in Hungary in recent years. This type of rubber bitumen represents, among the basic principles of lifetime engineering, mainly the longer pavement lifetime and the recycling of products among the end-of-life strategies. Laboratory testing of asphalt mixtures with different compositions bound with chemically stabilized rubber bitumen [19] and the long-time behaviour of asphalt layers under traffic [20] provided fairly favourable results.

In the laboratories of MOL and the Budapest University of Technology and Economic several bitumen and asphalt tests were made [21]. DSR (dynamic shear rheometer) bitumen tests were carried out for the comparison and assessment of the performance of unmodified binder, PmB binder and RmB (chemically stabilized rubber modified bitumen).

The wheel tracking tests — for the characterisation of asphalt plastic deformation — were carried out in accordance with EN 12697-22 standard at 60 °C [22]. It could be concluded that the wheel tracking test results of rubber bitumen modified mixtures prove their excellent plastic deformation characteristics having much smaller wheel tracking depths than those for polymer-modified or conventional B50/70 bitumen mixtures (**Figure 1**).

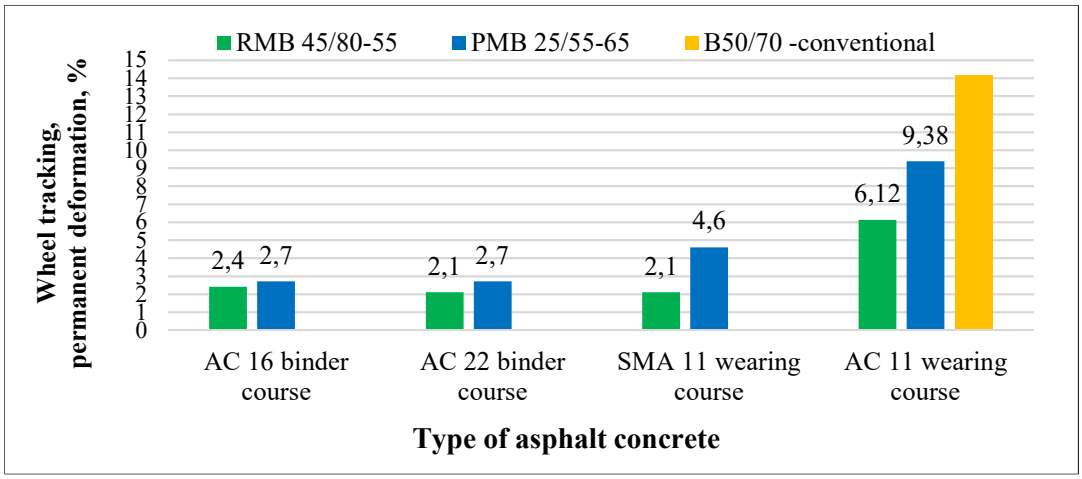


Figure 1 — Rut depths of asphalt types measured by wheel tracking tests [20]

Fatigue resistance of asphalt mixtures AC 16 (mI) base, AC 22 binder (mI), and SMA 11 wearing (mI) was tested, while in the 2019 research SMA 11 wearing asphalt mixtures were tested (**Figure 2**). In all cases, the tests were carried out at a test temperature of 20 °C and a frequency of 30 Hz, according to the relevant Hungarian road technical regulation [23], in the analysis of test results the deformation value corresponding to the load repetition number of 106 was considered.

Although the specification for the requirements of mixtures of asphalt paving [23] does not contain a value to be achieved for the fatigue of stone mastic asphalt, the minimum values in the specification are 110 and 130 μstrain, respectively. Regarding the test results of fatigue resistance,it can be clearly stated that for all asphalt mixtures of different types, binder mixtures modified with rubber bitumen achieved better results and longer fatigue life than polymer-modified binder mixtures.

Compared to earlier fatigue tests carried out on other asphalt mixtures, it is observed that in 2019 the fatigue resistance of the rubber modified bitumen (RMB binder) SMA 11 wearing asphalt mixture turned out to be extremely high, namely 328 μstrain [24].

One of the main ambitions of lifetime engineering is to forecast the deterioration trend and expected lifetime of the road pavement as exactly as possible during its design phase. There are several options for this forecast shown in **Table 2** [25]. It can be seen that section monitoring can give the most reliable results, but it takes too much time. In this case, the compromise can be that pavement performance models (average deterioration curves for pavements with given structure, traffic load and subgrade type) are developed, and utilized for pavement design.

Table 2

Road pavement performance forecasting options [25]

Forecasting option	Time need	Reliability
Computerized performance models	days	rather limited
Laboratory test series	weeks	limited
Accelerated loading tests	months	appropriate
Trial (experimental) section monitoring	(10) years	excellent

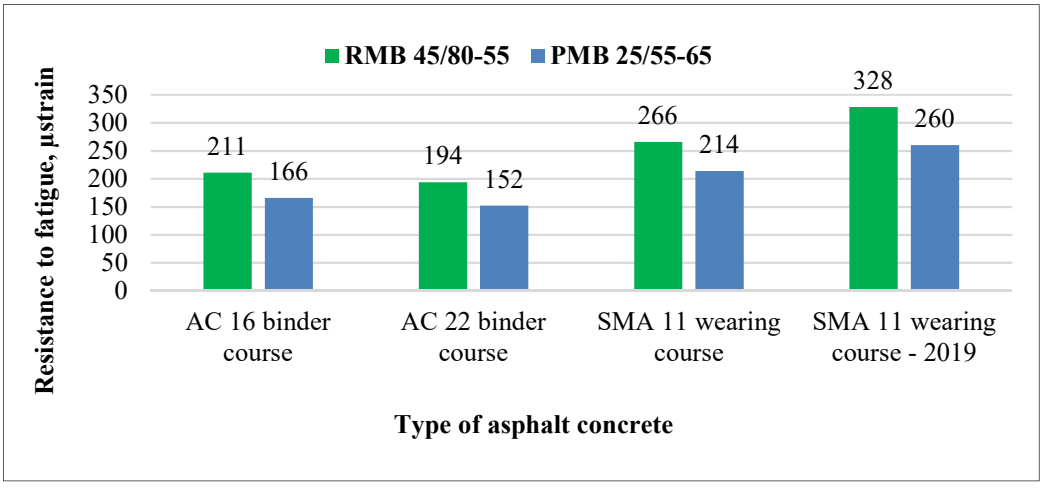


Figure 2 — Fatigue resistance of asphalt mixtures tested [24]

In Hungary, 60 sections of the public road network of “normal” traffic have been yearly monitored since 1991. The time data series of several condition parameters obtained from the test sections, made it possible to develop highway performance models for several pavement structural, traffic and environ-mental variants [26]. Semi-rigid, flexible and super-flexible (macadam-type, unbound base) structure categories,

three traffic categories and three environmental (subsoil type or bearing capacity) classes were considered. The realistic variants (combinations) of the parameters mentioned were represented by 4-6 test sections. The following condition parameters of the 500-m long trial sections have been evaluated, and ana-lysed: longitudinal unevenness (IRI, International Roughness Index using Swedish laser RST); rut depth (using laser RST); macro texture (using laser RST); micro texture (using laser RST); pavement bearing capacity (using KUAB falling weight deflectometer); surface defects (visual eva-luation aided by a special keyboard apparatus "Road Master)". Besides, the traffic parameters of, and the major maintenance (rehabilitation) actions on all sections have been collected. The major goal of trial section monitoring is the development of pavement performance models, the average (typical) deterioration curves in a structure-traffic-subsoil type combination. The performance models of the road categories can be attained by putting regression curves on the points representing condition parameter levels as a function of time. (Similar curves are determined as a function of the traffic passed). The function types applied in the development of the HDM-III model organised by the World Bank [27] were selected for the condition parameters. (Exponential functions were chosen for unevenness and rut depth, while linear functions for the other condition parameters monitored). The performance models for each road category and each condition parameter have been determined, every monitoring year, utilising also the latest condition information (**Table 3**).

Table 3

Example for pavement performance model

Flexible pavement structure, AADT = 1501-3000 veh.unit/day; subgrade CBR = max 7 %		
Condition parameter	Performance model as a function of	
	pavement age	traffic passed
Surface defects (note)	1.47+0.09 AGE	1.44+0.11 TRAF
Unevenness, IRI (m/km)	1.74 exp (0.12 AGE)	1.79 exp (0.13 TRAF)
Rut depth (mm)	2.09 exp (0.10 AGE)	2.15 exp (0.09 TRAF)
Micro texture	0.29-0.009 AGE	0.34-0.011 TRAF
Macro texture	0.54-0.014 AGE	0.61-0.014 TRAF

Note AGE — pavement age in years;
TRAF — number of vehicles passed expressed in vehicle units during pavement age.

Figure 3 presents an example for the deterioration curves of a trial section monitored between 1999 and 2014 [28]. No determined trends could be found for bearing capacity parameters (deflection value or stiffness modulus) yet as a function of time or traffic passed. The seasonal and the yearly strength fluctuations due to environmental reasons seem to be more pronounced than the fatigue of pavement structures [29].

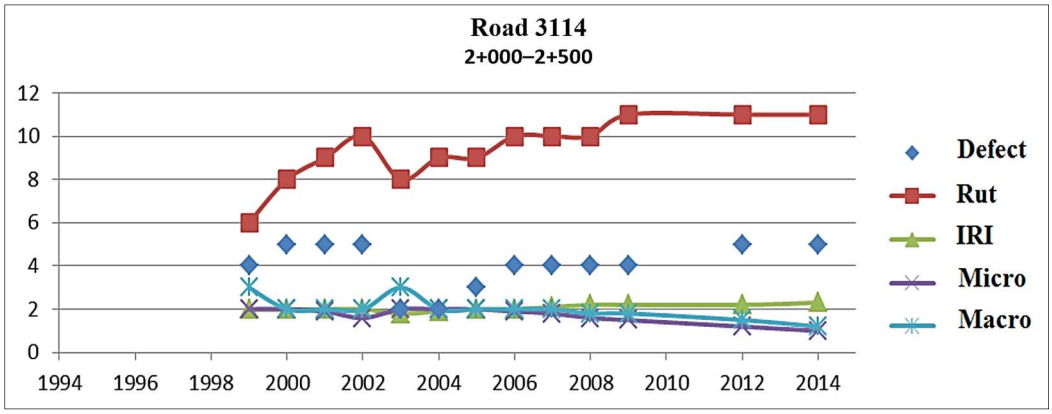


Figure 3 — Deterioration curves of a trial section monitored between 1999 and 2014

The trial section monitoring in Hungary has been performed since 1991. During this long period, a high share of the monitored trial sections deteriorated to such an extent that some kind of rehabilitation (surface dressing, resurfacing or strengthening) was needed. It was decided to go on with the regular condition evaluation since the additional survey could provide other kinds of useful information. The condition parameter levels in the years before and after the intervention can be utilised for the deter-mination of the actual condition improving effect of various major maintenance techniques. Further-more, the continuation of trial section monitoring for several more years can provide information about the deterioration trends after the intervention which can be compared to the tendencies during the former life cycle or life cycles. It is obvious that the information types mentioned can be also readily used in the lifetime engineering making the prediction of pavement deterioration more reliable [26]. The effects of strengthening on surface defects, unevenness, rut depth, macro texture and micro texture were analysed. In the group "resurfacing using thin asphalt layers", the consequences of the same condition parameters were evaluated as in pavement strengthening group. For the surface dressed trial sections, mainly the changing in pavement surface defects, macro and micro-textures were evaluated.

There is here another important fact to be considered: the deterioration speeds of various pavement condition parameters are usually not identical. When the "most rapid" of them, the critical parameter reaches its intervention level – and thereby necessitates pavement rehabilitation — other parameters are still at a relatively appropriate level, at which the condition improving rehabilitation actions are not needed yet. (However, the typical rehabilitation techniques improve the actual condition of all parame-ters including the ones that are still at an acceptable level [30]). The analysis of trial section perform-ance data makes it also possible together information on the critical condition parameters of different road types that can be considered as a basic knowledge for the further development of national pavement design theory and practice. Similarly, the actual levels of critical parameters before the condition improving actions coming from trial section monitoring are important piece of knowledge.

Before and after surface dressing, all of the condition parameters mentioned before were collected, and evaluated. The changing of texture parameters was considered of high importance [6].

Figure 4 shows the effect of pavement strengthening on the visual condition state (characterisation of surface defects), rut depth and IRI [6].

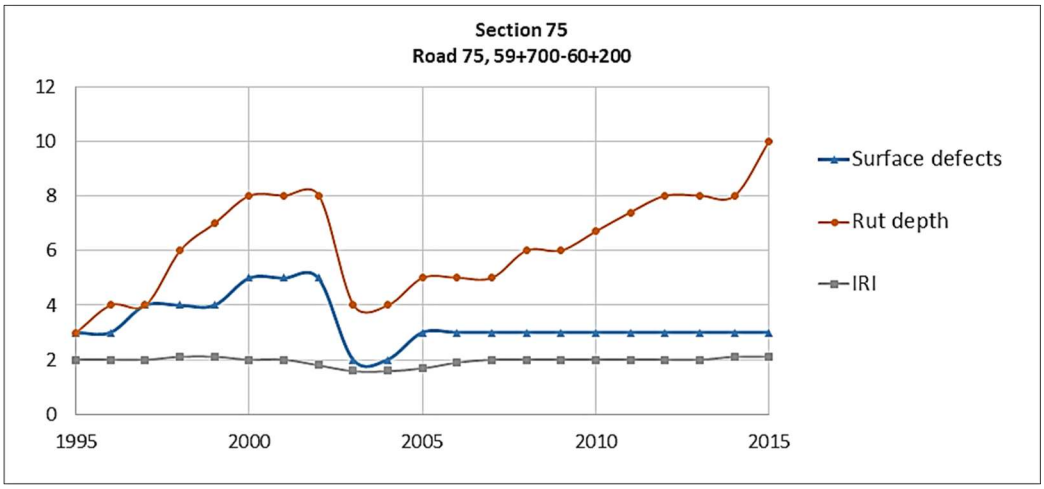


Figure 4 — Deterioration curve of 3 condition parameters on a trial section before and after a pavement strengthening in 2002 [6]

The private sector and pavement performance

A lot of countries all over the world are making increasing use of the private sector for highway maintenance and operation activities. The United Kingdom can provide a good example of this since it has a considerable background of this kind of change process. A TRL research report has shown that the method

when the service provider and manager are from separate organisations is more efficient by reducing the need for repetition activities [31]. This statement is based on the outcome of the comparison with the methodology of combining managers and service providers in one organisation. The separation of the functions for highway maintenance and operation activities can be recommended, sincet here is a danger of maintenance becoming driven by the available resources of the organisation in question than the actual needs of the road network.

In Hungary — driven by a basic lifetime engineering goal, the minimisation of whole life costs — started to involve the private sector in the maintenance of expressway network [32]. MKIF (Magyar Koncessziós Infrastruktúra Fejlesztő Zrt., Hungarian Concession Infrastructure Development Limited Liability Company) is active since 2022. Based on a 35-year concession contract with the Hungarian State, it operates and maintains the already built expressway network (1 237 km motorway + 636 km expressway), as well as the planning, development, and construction of newly constructed sections. In the following 10 years, 272 km new expressways will be built, and more traffic lanes will be added to existing motorways in 273 km.

A Hungarian research work concentrated on the possibility of the "objective" evaluation of highway contractors' past performance for using this information in the evaluation of construction tender bids [33]. The trial calculation has proved the applicability of this methodology for making distinction between the quality parameters (performances) of various highway contractors. Actually, this kind of information could be used in the evaluation of road construction tender bids if these indicators are based on reliable, detailed calculation. The idea of the whole approach is that the eventual some % savings in construction cost are not acceptable from national economy viewpoint if the poor performance of the project causes much higher additional expenditures because of its early and/or increased maintenance and rehabilitation needs. (This goal of the novel methodology is obviously practically identical to one of the major principles of lifetime engineering, namely of the long life and favourable performance of road pavements). Another positive consequence of the general use of the proposed project quality analysis methodology can be that increased competition between pavement contractors can lower prices and save public money. At the same time, stimulating competition between pavement industries is a win-win for everyone — taxpayers, public authorities and industry! The following steps could be recommended for the development of this project evaluation method [34]:

a) involvement of many pavement sections with possibly long history for the characterization of a road pavement contractor's performance (general contractor and main sub-contractors are to be included);

b) widened data gathering for the sections on its pavement condition parameters before rehabilitation, traffic evolution during investigation period, design information, quality management system during construction, pavement qualification outcome, guarantee period, condition improving activities during and/or at the end of guarantee period;

c) detailed information on the repair and non-structural maintenance carried out on the pavement sections during the period investigated;

d) detailed information on the structural maintenance performed on each pavement section during the period investigated;

e) identification of the performance-influencing factors that can be considered independent on the activities of contractor, these are, typically, client-, design- or operator-related mistakes or overweighted vehicles, serious financial constraints at the time of construction, eventually, natural catastrophes;

f) estimation of the synergistic effect of the factors mentioned before, then considering it at the evaluation of contractor's performance OR if it cannot be done reliably, exclusion of this section from the analysis;

g) consideration of actual (mainly heavy) traffic evolution rate of the road sections which could also modify the life cycle considered if the changing in traffic is significantly different from the forecasted one in the design phase; thus, a "modified life cycle" can be calculated in the determination of the pavement deterioration rate;

h) gathering all pavement condition data time series in the period in question, from the opening of the section on;

i) characterization of some of the condition parameters by non-linear deterioration trends as e.g. the condition evolution of longitudinal and the transversal unevenness of pavement surface is modelled by exponential functions in the Hungarian trial section monitoring [30];

j) decision about the list of pavement condition parameters to be used in the deterioration rate analysis for a given pavement section;

k) selection of weighing factors for the condition parameters to be considered in the calculation of the "complex deterioration rate" of a pavement section (e.g. bearing capacity 5, surface defects 2, unevenness 1, rut depth 3).

The systematic collection and analysis of road contractors' performance information characterized by the relative deterioration rates of the pavement sections constructed by them several years ago would provide with a useful tool for the Clients in their selection of road-related public procurement bids. In such a way, the Client would be able to represent the long-term national economy interests in their decisions by heavily considering also the actual "quality references" of bidders, in addition to bid prices. It is obvious that a contractor would build a project by an increased national economy level risk if its past projects have been constructed at a below-average quality level [35].

Environmental sustainability issues

A new design methodology was developed in Hungary for durable pavement structure rehabilitation (overlaying, strengthening with site recycling, strengthening by local repair) that can be connected with at least two basic ambitions of lifetime engineering principles, namely increasing of pavement life cycle and the complexity of pavement structural design [37 – 38]. The main steps of the methodology are as follows:

— client's data supply and disposition;
— data processing and site condition evaluation;
— selecting pavement deflection measuring points, carrying out the measurement, evaluation of result;
— laboratory tests;
— further correction of deflection data;
— selection of pavement structure strengthening methods;
— choosing design subsections;
— correction of the equivalent thickness of new asphalt course;
— calculation of the thickness of new asphalt layer;
— calculation of strains in wearing course.

Environmental effects considered in the methodology. The actual strength of a bituminous bound road pavement structural layer is influenced by its temperature. The properties of other pavement structural layers are practically not dependent on their temperature, except for the strength increase coming from the freezing of layers (mainly subgrade) with high moisture content. Reference temperatures are chosen to be used in the conversion of measured deflection values and in the mechanical calculation. 20 °C happened to be the most common temperature, so it was selected as reference temperature. In Hungary, the pavement deflection values have been adjusted to the "critical" (early-spring) ones since the 1950s [39] using a correction factor as a function of the month of measurement. This useful methodology cannot used in the present, due to the rather variable (unsteady) climate anymore [40].

Conclusions

Some 35 years ago, a new science branch, the so-called lifetime engineering was developed in Finland. The main idea was to create various infrastructure types of lifetime planning in order to optimise the entire operational lifetime of the facility. The traditional "design for resistance (reaction)" was expanded to "durability design". It requires the optimisation of technical-economic- environmental-cultural-human aspects, in the long term. It covers construction, quality control, maintenance, operation, management, and even end-of-life strategies. Typically, some elements of the facility have shorter life cycle than that of the entire infrastructure; that is why, a so-called modular design is suggested considering the appropriate special load, material and life cycle of a given facility module. However, this discipline was first developed for buildings and engineering facilities, primarily by innovating the design methodology of the facilities. In the

meantime, the basic principles of lifetime engineering were extended to ot-her types of facilities, such as public roads.

A Hungarian case study was outlined how certain basic principles of life engineering science can be utilized in the further development of road asset management and certain road sub-activities. The most important findings shown in the paper (lifetime engineering aspects in brackets) were:

— standardised pavement structures (availability of local materials; environmental protection and energy management aspects; road manager's expectations on the properties of the pavement structure);

— alternative dimensioning of asphalt road pavement structures (design of modular elements);

— chemically stabilized rubber bitumen (longer pavement lifetime; recycling of products among the end-of-life strategies);

— pavement performance models (more reliable prediction of pavement deterioration);

— pavement maintenance by private firms (longer pavement lifetime; minimisation of lifetime costs);

— "objective" evaluation of contractors' past performance (longer pavement life);

— durable pavement structure rehabilitation (increasing of pavement life cycle; complex pavement structural design).

References

1. Sarja A. Principles and Solutions of the New System Building Technology (TAT). Research Report 662, 1989, Technical Research Centre of Finland, Espoo [in Englich].

2. Sarja A., Vesikari E.: Durability Design of Concrete Structures. RILEM Report Series 14, E&FN Spon. London. 1996. 143 p. [in Englich].

3. Sarja A. Integrated Life Cycle Design of Structures. Spon Press, London and New York, 1996, 142 p. [in Englich].

4. Gáspár L. Lifetime Engineering for Roads. *Acta Technica Jaurinensis.* 1 (1), 2008. P. 37–46 [in Englich].

5. Gáspár L. Lifetime Engineering in Road Asset Management. In Proceedings of the 3rd European Pavement and Asset Management Conference, Coimbra (Portugal), CD-ROM Proceedings, 2008. 10 p. [in Englich].

6. Gáspár L. Lifetime engineering principles and durable roads. *The International Journal of Pavement Engineering and Asphalt Technology*. 17(1), 2016. P. 58–72 [in Englich].

7. Gáspár L., Horvát F. and Lublóy L.: Life-time of transportation facilities. UNIVERSITAS-Győr Non-profit Kft., Győr, Hungary, 2011. 324 p. [in Hungarian].

8. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Quality_function_deployment. 2019 [in Englich].

9. Gáspár L. Highway asset management. KTI Non-Profit Ltd. Publication Series No. 50. Buda-pest, 2012. 232 p. [in Hungarian].

10. PIARC Technical Committee 4.1 Management of Road Infrastructure Assets. Activity Report. PIARC 23rd World Road Congress Paris. 2007. 20 p. [in Englich].

11. Asset Management Manual. A Guide for Practitioners. World Road Association, 2017. URL: https:// www.piarc.org/en/knowledge-base/road-assets-management/Road-Asset-Management-Manual.

12. General Concept and Requirements for Asset Management Training Courses Technical Committee D. 1 Asset Management. 2019. 64 p. [in Englich].

13. ISO 55000:2014 Standard Asset management — Overview, principles and terminology. 2014. 19 p. [in Englich].

14. Toth Cs., Petho L, Rosta Sz. Rheological characterisation of bituminous binder blends for the design of asphalt mixes containing high recycled asphalt content. *Acta Technica Jaurinensis*. 16(2). 2023. P. 62–74 [in Englich].

15. e-UT 06.03.13 Asphalt pavement structure design and strengthening. Road Technical Inst-ructions, Hungarian Road Society, Budapest. 2005. 36 p. [in Hungarian].

16. Juhász G Alternative asphalt pavement design methodology and its comparison with the standadised Hungarian design method. *Útügyi Lapok*. 11(17). 2023. DOI: https://doi.org/10.36246/UL.2023.1.02 [in Hungarian].

17. Gáspár L. Lifetime engineering for roads (Keynote lecture). In Proceedings of CETRA 2012 (2nd International Conference on Road and Rail Infrastructure), Dubrovnik, 2012. P. 25–34 [in Englich].

18. Bíró Sz., Geiger A. et al. Chemically stabilized asphalt rubber compositions and a mechano-chemical method for preparing the same. European patent application 1960472 B1. 2009 [in Englich].

19. Almássy K., Gáspár L. Szentpéteri I. Complex evaluation of Hungarian road pavement layers with chemically stabilized rubber modified binders. *Az Aszfalt*. 27(1). 2020. P. 32–39 [in Hungarian].

20. Almássy K., Geiger, A. Use of rubber bitumen worldwide – MOL rubber modified bitumen in international comparison. *Az Aszfalt*. 27(2). 2020. P. 33–39 [in Hungarian].

21. Toth Cs., Petho L., Geiger A. Soós Z. Performance assessment of hot mix asphalt with chemically stabilized rubber bitumen. In Proceedings of 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Prague, 2016. 10 p. DOI: https://doi.org.10.14311/EE.2016.110 [in Englich].

22. EN 12697-22. Bituminous mixtures: test methods for hot mix asphalt: part 22: Wheel tracking, 2020. 29 p. [in Englich].

23. e-UT 05.02.11 Requirements for road asp halt mixtures. Road Technical Instructions, Hungarian Road Society, Budapest. 2018. 53 p. [in Hungarian].

24. Gáspár L, Tóth Cs, Almássy K, Szentpéteri I, Primusz P and Hunyadi D (2019) Complex performance evaluation of Hungarian road pavement layers with chemically stabilized rubber modified binders. Re-search report of KTI Institute for Transport Sciences Non-Profit Ltd. and Department of Road and Railway Construction, Budapest University of Technology and Economics. 148 p. [in Hungarian].

25. Gáspár L and Bencze Zs (2014) Experimental sections in the Hungarian road management. In Pro-ceedings of CETRA 3rd International Conference on Road and Railway Infrastructure, Split, Croatia. P. 183–188 [in Englich].

26. Gáspár L (2016) Actual efficiency of road pavement rehabilitation. In Proceedings of CETRA 4th In-ternational Conference on Road and Railway Infrastructure, Sibenik. Croatia. P. 181–186 [in Englich].

27. Paterson WDD (1986) Prediction of Road Deterioration and Maintenance Effects: Theory and Quan-tification, Volume II, World Bank, Washington, D. C. [in Englich].

28. Gáspár L (project manager) (2014) Evaluation of trial section monitoring results for road manage-ment purposes. Project report 2161-001-5-4, KTI Non-Profit Ltd., Budapest, Hungary. 96 p. [in Hungarian].

29. Gáspár L (2008) Factors influencing the reliability of pavement performance models. In CD-ROM Proceedings of 3rd European Pavement and Asset Management Conference, Coimbra Portugal. 10 p. [in Englich].

30. Gáspár L and Bencze Zs (2018) Long-life Pavements – European and American Perspectives. NBM&CW (New Building Materials & Construction World) 24(3). P. 122–135 [in Englich].

31. Parkman C. C. (1999) Transferring road maintenance to the private sector. Examples of UK experience TRL Project Report PR/OSC/157/99. 20 p. [in Englich].

32. file:/Desktop/Rólunk – MKIF – Magyar Koncessziós Infrastruktúra-Fejlesztő Zrt.htm [in Hungarian].

33. Gáspár L (2015) "Objective" Evaluation of a Highway Contractor's Performance. *International Journal of Constructive Research in Civil Engineering*. 1(1). P. 34–46.

34. Gáspár L (2012) Evaluation of highway contractors based on the actual performance of their past projects. In Proceedings of TRA Transportation Research Arena Europe 2012. Athens. 12 p. [in Englich].

35. Merrill D, van Dommelen A, Gaspar L (2006) A review of practical experience throughout Europeon deterioration in fully-flexible and semi-rigid long-life pavements. *International Journal of Pavement Engineering, Special Issue Long-Life Pavements*, 2(7). P. 101–109 [in Englich].

36. Bencze Zs and Gáspár L (2021) Blast furnace slag in road construction and maintenance. *Dorogi i mosti* [Roads and bridges]. Issue 10(23). P. 53–59. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti 2021.23.053 [in Ukrainian].

Жолт Бенце, *канд. техн. наук, https://orcid.org/0000-0003-2130-7864*
Гаспар Ласло, *д-р техн. наук, проф., https://orcid.org/0000-0002-0574-4100*

KTI Угорський інститут транспортних наук та логістики, некомерційна ТОВ, Будапешт, Угорщина

ПРИНЦИПИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ В УПРАВЛІННІ АКТИВАМИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація

Вступ. Важливою тенденцією нашого часу є стійкість, ефективність використання коштів та довгострокове планування. Ці ж цілі переслідує й нова дисципліна — інженерія життєвого циклу. Хоча принципи цієї науки були спочатку розроблені для будівель і інженерних споруд, їх також можна адаптувати до автомобільних доріг. У статті, на прикладі угорського кейсу, показано можливість застосування інженерії життєвого циклу в управлінні активами автомобільних доріг. Також представлені приклади проєктування дорожнього покриття, його довговічності, технічного обслуговування та охорони довкілля.

Постановка проблеми. Основними принципами інженерії життєвого циклу, що використовуються в даній роботі, були: збільшення життєвого циклу (дорожнього покриття); комплексна, міждисциплінарна методологія проєктування; модульне проєктування; ефективні методи забезпечення якості; високий рівень задоволення потреб клієнтів; мінімізація витрат протягом життєвого циклу; стійкі стратегії завершення життєвого циклу. Підкреслено, що інженерія життєвого циклу базується на конкретних базових принципах, які ефективно сприяють сучасному підходу до будь-якої дисципліни, пов'язаної з інженерною інфраструктурою. У статті показано, що ефективність управління активами автомобільних доріг може значно підвищитися за рахунок використання деяких елементів інженерії життєвого циклу.

Мета. Управління активами автомобільних доріг є важливим інструментом у забезпеченні ефективного дорожнього руху в кожній країні, зберігаючи вартість своєї мережі автомобільних доріг та постійно задовольняючи потреби користувачів доріг на високому рівні.

Матеріали та методи. Основні принципи інженерії життєвого циклу та головні завдання управління активами автомобільних доріг розглядаються як початкові точки («матеріал») даної роботи. У статті наводиться кейс на прикладі можливої комбінації цих двох наук.

Результати. У статті, на прикладі угорського кейсу, показано та доведено можливість застосування інженерії життєвого циклу в управлінні активами автомобільних доріг. Це підтверджено низкою прикладів проєктування дорожніх покриттів, їхньої довговічності, технічного обслуговування доріг та охорони навколишнього середовища.

Ключові слова: управління активами автомобільних доріг, інженерія життєвого циклу, проєктування дорожнього покриття, технічне обслуговування доріг, охорона довкілля.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.096

УДК 330.341:351.811

Соколова Н. М., *канд. екон. наук, доц. https://orcid.org/0000-0003-0678-8882*
Конча П. А., *https://orcid.org/0000-0001-6867-0172*

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

МОДЕЛЮВАННЯ СЦЕНАРІЇВ РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ ДОРОЖНЬОЇ ГАЛУЗІ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХНЬОГО ПОТЕНЦІАЛУ

Анотація

Вступ. Моделювання сценаріїв розвитку підприємств дорожньої галузі в умовах нестабільності є актуальною проблемою, оскільки галузь відіграє ключову роль у розвитку інфраструктури та економіки України. Без належного моделювання та планування розвиток галузі може стати некерованим, що поглибить економічну кризу. Дослідження цієї проблеми має значний науковий і практичний інтерес, оскільки результати можуть бути використані для відновлення та подальшого розвитку галузі в складних умовах.

Проблематика. Особливий стан, який почалася в 2022 році, суттєво вплинув на стан підприємств, що призвело до руйнування інфраструктури, скорочення кількості підприємств і зниження їх рентабельності. У зв'язку з цим виникає необхідність оцінки потенціалу підприємств і розробки сценаріїв їх подальшого розвитку. Розробка сценаріїв дозволить підготуватися до можливих варіантів розвитку подій і забезпечити стійкість підприємств у майбутньому.

Мета. Розробити моделі, які враховують різні макроекономічні фактори, такі як інфляція, безробіття та девальвація гривні. Змоделювати сценарії розвитку підприємств дорожньої галузі на основі аналізу їхнього потенціалу в умовах кризових і післякризових ситуацій.

Матеріали та методи. В статті використовуються наступні методи наукового пізнання, як аналізування, синтезування та порівняння, а також основні методи моделювання.

Результати. Було визначено три основні сценарії розвитку галузі: песимістичний, реалістичний та оптимістичний. Песимістичний сценарій передбачає подальше погіршення ситуації з можливим зниженням кількості підприємств та рентабельності через продовження війни та подальшу економічну кризу. Реалістичний сценарій передбачає поступове відновлення галузі після стабілізації економіки та завершення бойових дій, хоча цей процес буде тривалим і потребуватиме значних зусиль з боку держави та бізнесу. Оптимістичний сценарій передбачає швидке завершення війни та активне відновлення економіки за допомогою міжнародної підтримки, що сприятиме швидкому відновленню інфраструктури та підприємств галузі.

Висновки. Аналіз динаміки кількості підприємств дорожньої галузі, їх розмірів, обсягу реалізації продукції, фінансових результатів та рентабельності за період 2016-2022 років виявив суттєві виклики, з якими зіткнулася галузь. Модель залежності рентабельності від економічних показників показала високу кореляцію, що підтверджує її ефективність для прогнозування розвитку галузі. Важливість підготовки до різних сценаріїв є очевидною для забезпечення стійкого розвитку дорожньої галузі в умовах кризових ситуацій.

Ключові слова: автомобільна дорога, аналіз потенціалу, дорожня галузь, економетрична модель, макроекономічні фактори, моделювання сценаріїв, потенціал підприємства.

Вступ

Сучасні наукові дослідження показують, що розвиток дорожньої галузі в Україні потребує комплексного підходу, який враховує фінансові, екологічні та організаційні аспекти, а також активного залучення інвестицій і співпраці між державою та приватним сектором.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про значний науковий інтерес до проблем розвитку дорожньої галузі України. Бойко С. В. досліджує прагматичні аспекти податкового фінансування дорожнього господарства, підкреслюючи необхідність удосконалення податкової

політики для забезпечення стабільного фінансування галузі [1]. Деділова Т. В. та Юрченко О. В. розглядають перехід дорожнього господарства на ринкові методи господарювання, з акцентом на дотримання екологічної безпеки, що стає важливим елементом стійкого розвитку [2]. Дяченко П. В. та Басько А. С. аналізують стан і перспективи розвитку проєктів дорожнього будівництва, підкреслюючи важливість інвестицій у модернізацію інфраструктури [3]. Кизима С. С. та Лихоступ М. М. досліджують довгострокове планування дорожнього господарства, зосереджуючись на стратегічному підході до розвитку галузі [4]. Кононов С. О. аналізує зарубіжний досвід функціонування дорожньої галузі, пропонуючи адаптацію кращих світових практик для підвищення ефективності вітчизняної галузі [5]. Криворучко О. П. розглядає розвиток дорожньої галузі через реалізацію інвестиційно-інфраструктурних проєктів, підкреслюючи важливість залучення інвестицій для економічного зростання [6]. Купалова Г. В. досліджує конкурентоспроможність підприємств дорожньої галузі в умовах реформ та економічної нестабільності, акцентуючи на необхідності адаптації підприємств до нових умов [7]. Мельник В. І. та Назаркевич О. Б. аналізують фінансування дорожньої галузі та механізми управління в умовах децентралізації, звертаючи увагу на проблеми ефективного розподілу ресурсів на місцевому рівні [8, 9]. Филюк Г. М. та Шмалій Н. А. розглядають державно-приватне партнерство як ключову перспективу розвитку дорожнього господарства, що може забезпечити стабільність і розвиток галузі в умовах обмежених бюджетних ресурсів [10].

Основна частина

Вивчення розвитку дорожнього господарства України в умовах кризових ситуацій, зокрема війни, є надзвичайно важливим для розуміння змін, які відбуваються в галузі. Проаналізуємо динаміку кількості підприємств дорожньої галузі (**рис. 1**).

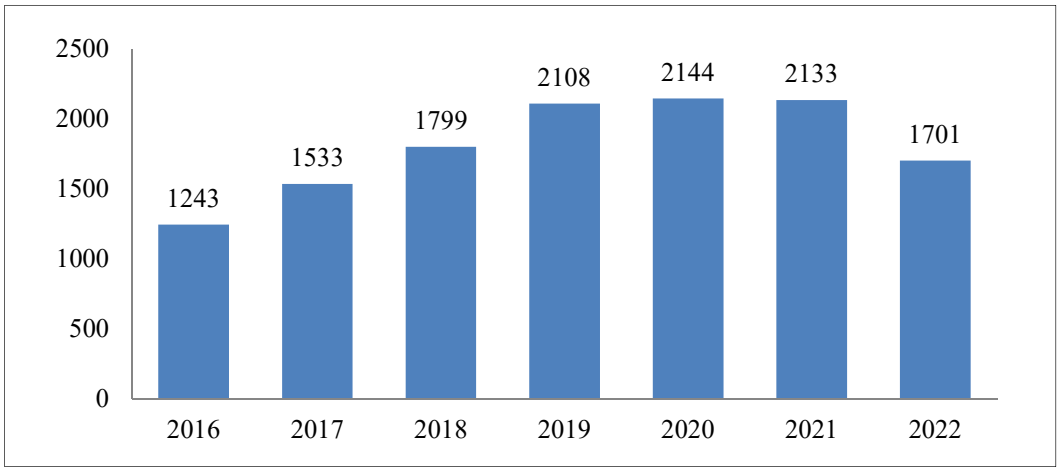


Рисунок 1 — Динаміка кількості підприємств дорожньої галузі в Україні за 2016-2022 рр.

Джерело: сформовано на основі [11]

У 2017-2019 роках спостерігалося стабільне зростання кількості підприємств, що пояснюється збільшенням інвестицій та активністю в будівництві і ремонті автомобільних доріг. Однак, з 2020 року темп приросту значно знизився, що пов'язано з макроекономічними труднощами та пандемією COVID-19. Незначне скорочення у 2021 році свідчить про поступове насичення ринку та перехід до більш ефективних бізнес-моделей. Найбільш різке зниження кількості підприємств у 2022 році обумовлено початком війни, що призвело до руйнування інфраструктури та скорочення економічної активності. Військові дії спричинили закриття багатьох підприємств, особливо в регіонах, де велись активні бойові дії. Окрім цього, міграція населення та втрата робочих місць також вплинули на зменшення кількості підприємств. Економічна невизначеність та труднощі з фінансуванням стали додатковими факторами скорочення.

Динаміка кількості підприємств дорожньої галузі за їх розмірами наведена в **табл. 1**.

Таблиця 1

Динаміка кількості підприємств дорожньої галузі за їх розмірами в Україні за 2016-2022 рр.

Рік	Великі дорожні підприємства		Середні дорожні підприємства		Малі дорожні підприємства	
	Кількість, од.	Частка, %	Кількість, од.	Частка, %	Кількість, од.	Частка, %
2016	1	0,08	55	4,42	1187	95,49
2017	3	0,20	72	4,70	1458	95,11
2018	3	0,17	74	4,11	1722	95,72
2019	4	0,19	79	3,75	2025	96,06
2020	9	0,42	91	4,24	2044	95,34
2021	12	0,56	95	4,45	2026	94,98
2022	5	0,29	78	4,59	1618	95,12

Джерело: сформовано на основі [11]

Динаміка кількості підприємств дорожньої галузі за їх розмірами в Україні за 2016-2022 роки відображає тенденцію до збільшення частки великих та середніх підприємств до 2021 року, що свідчить про консолідацію ринку та підвищення ролі масштабних проєктів та є наслідком державних ініціатив щодо модернізації доріг та залучення великих компаній для реалізації інфраструктурних проєктів. Зростання кількості малих підприємств у період до 2020 року вказує на активізацію підприємницької діяльності та участь малого бізнесу в дорожній галузі. Однак, у 2022 році спостерігається значне зменшення кількості великих та малих підприємств, що можна пояснити впливом війни. Зниження частки великих підприємств є результатом знищення активів або втрати інвестицій. Середні підприємства продемонстрували відносно стабільну частку на ринку, що свідчить про їх адаптацію до умов воєнного часу. Натомість значне скорочення кількості малих підприємств вказує на їхню вразливість до економічних та соціальних потрясінь. Загальна тенденція до зменшення кількості підприємств у 2022 році відображає загальний вплив військових дій та економічної кризи. Відновлення ринку можливе лише після стабілізації ситуації та надання підтримки постраждалим підприємствам.

Динаміка обсягу реалізації продукції та фінансових результатів підприємств дорожньої галузі наведена в **табл. 2**.

Таблиця 2

Динаміка обсягу реалізації продукції та фінансових результатів підприємств дорожньої галузі за їх розмірами в Україні за 2016-2022 рр.

Рік	Обсяг реалізованої продукції дорожніх підприємств, млн грн	Зміна		Фінансовий результат дорожніх підприємств, млн грн	Зміна	
		Абсолютний приріст, млн грн	Темп приросту, %		Абсолютний приріст, млн грн	Темп приросту, %
2016	25 115	–	–	–275	–	–
2017	33 932	8 817	35,11	346	621	–225,82
2018	47 763	13 831	40,76	793	447	129,19
2019	56 565	8 802	18,43	877	84	10,59
2020	104 428	47 863	84,62	3 680	2 803	319,61
2021	130 652	26 224	25,11	1 560	–2120	–57,61
2022	51 422	–79 230	–60,64	–621	–2181	–139,81

Джерело: сформовано на основі [11]

У 2017-2019 роках відбувалося поступове збільшення обсягів реалізації продукції та поліпшення фінансових показників, що пояснюється збільшенням фінансування інфраструктурних проєктів. Різке зростання у 2020 році пов'язане з активізацією дорожніх робіт на тлі пандемії, коли уряд стимулював економіку через інвестиції в інфраструктуру. Однак, у 2021 році відбулося помітне зниження фінансового результату, що свідчить про завершення низки великих проєктів та зменшення обсягів фінансування. Крах у 2022 році обумовлений військовими діями, що призвели до різкого зниження обсягів реалізації продукції та перетворення багатьох підприємств на збиткові. Війна викликала серйозні труднощі у логістиці, постачанні матеріалів та забезпеченні робочою силою, що вплинуло на рентабельність підприємств. Масові руйнування інфраструктури в активних бойових зонах також стали причиною втрат та зупинки багатьох підприємств.

Розподіл підприємств дорожньої галузі за прибутковістю / збитковістю наведений на **рис. 2**.

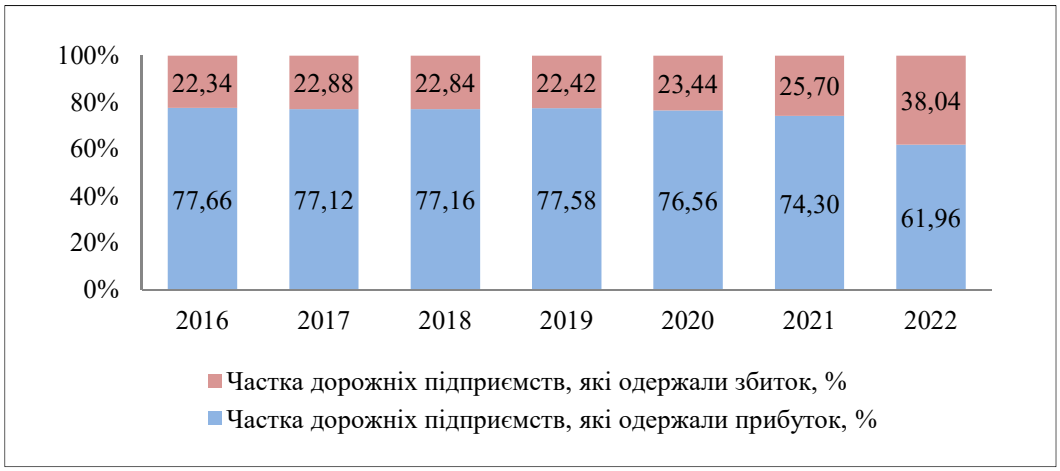


Рисунок 2 — Розподіл підприємств дорожньої галузі за прибутковістю / збитковістю в Україні за 2016-2022 рр.

Джерело: сформовано на основі [11]

У період з 2016 до 2020 роки більшість підприємств залишалися прибутковими, що свідчить про стабільність галузі та наявність замовлень на дорожні роботи. Однак, поступове збільшення частки збиткових підприємств у 2020-2021 роках пов’язане зі зниженням ефективності та завершенням великих проєктів. Найбільш значне зростання збитковості підприємств у 2022 році пояснюється руйнівним впливом війни. Втрата ринків збуту, руйнування інфраструктури та значні витрати на забезпечення безпеки стали ключовими причинами цього погіршення. Частка прибуткових підприємств суттєво зменшилась, що відображає загальну кризу в галузі. Військові дії змусили багато компаній призупинити діяльність або повністю згорнути бізнес, що вплинуло на загальний баланс між прибутковими та збитковими підприємствами.

Динаміка показників рентабельності підприємств дорожньої галузі наведена на **рис. 3**.

У 2016 році рентабельність операційної діяльності залишалася низькою, а рентабельність всієї діяльності була від’ємною, що свідчить про проблеми з ефективністю. У 2017 році спостерігається покращення, особливо в рентабельності всієї діяльності, що пов’язано з покращенням макроекономічних умов та зростанням інвестицій. Протягом 2018-2019 років тенденція до покращення зберігалася, що свідчить про стабілізацію ринку та підвищення попиту на дорожні роботи. У 2020 році рентабельність досягла піку, відображаючи успіх у реалізації масштабних проєктів та сприятливі економічні умови. Однак, у 2022 році через війну відбулося різке зниження обох показників, що пояснюється руйнуванням інфраструктури та зменшенням обсягів робіт. Військові дії спричинили суттєві витрати на відновлення, що негативно вплинуло на прибутковість підприємств.



Рисунок 3 — Динаміка показників рентабельності підприємств дорожньої галузі в Україні за 2016-2022 рр.

Джерело: сформовано на основі [11]

Побудуємо економетичну модель залежності рентабельності всієї діяльності підприємств дорожньої галузі від основних економічних показників. Вихідні дані для побудови моделі наведені в **табл. 3**. Модель побудована за допомогою функції ЛІНЕЙН.

Таблиця 3

Економетрична модель залежності рентабельності всієї діяльності підприємств дорожньої галузі від основних економічних показників в Україні за 2017-2022 рр.

Рік	Рівень безробіття, %	Рівень інфляції, %	Девальвація гривні по відношенню до долара, %	Рентабельність всієї діяльності дорожніх підприємств, %
t	*X*1	*X*2	*X*3	*Y*
2017	9,9	113,7	104,5	0,42
2018	9,1	109,8	99,3	1,07
2019	8,6	104,1	85,5	0,93
2020	9,9	105,0	119,4	2,78
2021	10,3	110,0	96,5	0,91
2022	21,1	126,6	134,1	-1,62

	*a*3	*a*2	*a*1	*a*0
	0,06	-0,15	-0,18	13,21
	0,01	0,04	0,09	4,14
R^2	0,98	0,29	#Н/Д	#Н/Д
F	38,59	2,00	#Н/Д	#Н/Д
	9,86	0,17	#Н/Д	#Н/Д

Джерело: сформовано на основі [11-14]

Отримуємо модель:

$$Y = 13{,}12 - 0{,}18X1 - 0{,}15X2 + 0{,}06X3, \quad (1)$$

де Y — рентабельність всієї діяльності дорожніх підприємств, %;
$X1$ — рівень безробіття, %;
$X2$ — рівень інфляції, %;
$X3$ — девальвація гривні по відношенню до долара, %.

Модель залежності рентабельності всієї діяльності підприємств дорожньої галузі від основних економічних показників в Україні за 2017-2022 роки показує високий рівень залежності рентабельності від зовнішніх факторів. Високий коефіцієнт детермінації ($R^2 = 0{,}98$) свідчить про те,

що модель добре пояснює коливання рентабельності через зміни рівня безробіття, інфляції та девальвації гривні. Зменшення рівня безробіття та інфляції має позитивний вплив на рентабельність, тоді як девальвація гривні помірно підвищує її. Найбільш значний негативний вплив має рівень безробіття, що свідчить про важливість зайнятості для стабільного розвитку галузі. Інфляція також має негативний вплив, що пояснюється зростанням витрат на матеріали та послуги. Позитивний вплив девальвації пов'язаний зі збільшенням обсягу експорту або зниженням вартості внутрішніх робіт у доларовому еквіваленті. Війна у 2022 році викликала різке зростання інфляції та безробіття, що вплинуло на рентабельність негативно, як і передбачає модель. Отже, модель демонструє важливість стабільності макроекономічних показників для рентабельності галузі.

Для кращого розуміння можливих напрямів розвитку були розроблені три сценарії: песимістичний, реалістичний та оптимістичний. Кожен із них враховує різні умови розвитку та фактори, які впливатимуть на галузь у найближчі роки. Ці сценарії є основою для планування стратегій відновлення та розвитку дорожньої галузі в умовах невизначеності та складних викликів.

Песимістичний сценарій розвитку дорожньої галузі в Україні передбачає продовження війни ще на декілька років, що призведе до подальшого руйнування інфраструктури та зниження економічної активності. Умови цього сценарію включають високий рівень безробіття, гіперінфляцію та девальвацію гривні, що робить дорожні проєкти майже неможливими. Значна частина підприємств залишатиметься збитковою або взагалі припинить свою діяльність, що призведе до зниження рентабельності галузі до мінімальних показників. Фінансування з державного бюджету буде обмеженим, а іноземні інвестори не зможуть надавати підтримку через нестабільність та високі ризики. Втрата робочої сили та руйнування виробничих потужностей ще більше ускладнять реалізацію інфраструктурних проєктів. Відновлення доріг буде можливим лише після завершення бойових дій, але значна частина інфраструктури залишиться в аварійному стані. Зменшення рентабельності та активності в галузі стане довготривалою проблемою. Зростання збиткових підприємств і подальше скорочення ринку будуть головними характеристиками цього сценарію. Загальна криза в економіці та відсутність стабільності призведуть до глибокого занепаду галузі, а відновлення можливо лише через кілька років після завершення конфлікту за умови значних інвестицій.

Реалістичний сценарій передбачає продовження війни протягом найближчого року з поступовим зниженням активних бойових дій та стабілізацією економіки через два-три роки. Умови цього сценарію включають помірне зростання рівня безробіття та інфляції, проте з поступовим їх скороченням після завершення основних бойових дій. Державне фінансування інфраструктурних проєктів буде відновлено частково, а іноземні інвестиції почнуть повертатися після стабілізації ситуації. Багато підприємств зможуть адаптуватися до нових умов та відновити свою діяльність, хоча рівень рентабельності залишиться на низькому рівні у перші роки після війни. Логістичні труднощі та дефіцит матеріалів будуть поступово вирішуватися, що дозволить відновити дорожні проєкти. Відновлення інфраструктури відбуватиметься нерівномірно, залежно від регіонів та наявності фінансування. Зростання ринку буде поступовим, зі стабільним відновленням рентабельності підприємств у середньостроковій перспективі. Частка збиткових підприємств зменшуватиметься, однак деякі з них можуть не відновитися повністю. Реалістичний сценарій передбачає стабільний, але повільний розвиток галузі протягом найближчих п'яти років, однак повне відновлення ринку потребуватиме значних зусиль та підтримки з боку держави і міжнародних партнерів.

Оптимістичний сценарій передбачає завершення війни протягом наступних двох років з подальшим швидким відновленням економіки та інфраструктури. Умови цього сценарію включають зниження рівня безробіття, контрольовану інфляцію та стабілізацію гривні, що створить сприятливі умови для розвитку дорожньої галузі. Державні програми з відновлення інфраструктури будуть активними, а міжнародні партнери нададуть значну фінансову підтримку. Велика частина підприємств швидко відновить свою діяльність і навіть збільшить рентабельність завдяки високому попиту на відновлювальні роботи. Інвестиції у нові технології та модернізацію дозволять підвищити

ефективність галузі. Логістичні труднощі будуть швидко вирішені, а постачання матеріалів відновиться в повному обсязі. Значне зростання обсягів робіт призведе до збільшення прибутковості підприємств та скорочення частки збиткових компаній до мінімуму. Оптимістичний сценарій також передбачає появу нових гравців на ринку, що стимулюватиме конкуренцію та підвищення якості робіт. Розвиток галузі відбуватиметься стрімко, з перспективою повного відновлення та виходу на докризовий рівень упродовж трьох-п'яти років.

Важливо, щоб у будь-якому із цих сценаріїв галузь отримала належну підтримку з боку держави та іноземних партнерів, що дозволить мінімізувати втрати та прискорити процес відновлення. Вибір стратегії для реалізації буде залежати від того, який зі сценаріїв стане найбільш ймовірним у реальних умовах. Однак, підготовка до різних варіантів розвитку подій є необхідною для забезпечення стійкості галузі в умовах непередбачуваності.

Висновки

Аналіз динаміки кількості підприємств дорожньої галузі, їх розмірів, обсягу реалізації продукції, фінансових результатів та рентабельності за період 2016-2022 років виявив суттєві виклики, з якими зіткнулася галузь. Зокрема, війна, що розпочалася в 2022 році, значно ускладнила умови функціонування підприємств, що призвело до зниження кількості підприємств, скорочення обсягів реалізації продукції та падіння рентабельності.

Інфляція, безробіття та девальвація гривні є критичними факторами, які впливають на рентабельність і загальну стабільність галузі. Модель залежності рентабельності від економічних показників показала високу кореляцію, що підтверджує її ефективність для прогнозування розвитку галузі. Важливість підготовки до різних сценаріїв є очевидною для забезпечення стійкого розвитку дорожньої галузі в умовах кризових ситуацій. Відповідно, для покращення ситуації необхідно розробити та реалізувати стратегічні плани, які враховують різні можливі сценарії розвитку.

Песимістичний сценарій передбачає подальше погіршення ситуації через продовження бойових дій, що призведе до зниження рентабельності та часткового виходу підприємств з ринку. Реалістичний сценарій, в свою чергу, вказує на можливе поступове відновлення галузі після стабілізації ситуації, проте процес відновлення буде тривалим і потребуватиме значних зусиль. Оптимістичний сценарій є найбільш сприятливим і передбачає швидке завершення війни та активне відновлення економіки з допомогою міжнародної підтримки. Важливою умовою реалізації будь-якого сценарію є ефективне державне регулювання та залучення іноземних інвестицій для відновлення інфраструктури.

Подальші дослідження повинні фокусуватися на деталізації впливу макроекономічних чинників на рентабельність дорожньої галузі та розробленні практичних рекомендацій для відновлення.

Список літератури

1. Бойко С. В. Прагматика податкової компоненти фінансування дорожнього господарства в Україні. *Проблеми системного підходу в економіці*. 2019. № 2(2). С. 66–73.

2. Деділова Т. В., Юрченко О. В. Перехід дорожнього господарства на ринкові методи господарювання при дотриманні екологічної безпеки. *Проблеми і перспективи розвитку підприємництва*. 2018. № 1. С. 51–63.

3. Дяченко П. В. Басько А. С. Стан та перспективи розвитку проєктів дорожнього будівництва. *Управління розвитком складних систем*. 2023. № 54. С. 12–21.

4. Кизима С. С., Лихоступ М. М. Розвиток системи довгострокового планування дорожнього господарства. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво.* 2016. № 97. С. 103–112.

5. Кононов С. О. Зарубіжний досвід функціонування дорожньої галузі. *Економіка та держава*. 2021. № 7. С. 95–100.

6. Криворучко О. П. Розвиток дорожньої галузі України через реалізацію інвестиційно-інфраструктурних проектів. *Вісник Національного університету водного господарства та*

природокористування. 2018. № 2. С. 79–87.

7. Купалова Г. В. Конкурентоспроможність підприємств дорожньої галузі в період реформ та економічної нестабільності. *Вісник Хмельницького національного університету.* 2022. № 5. С. 316–321.

8. Мельник В. І. Особливості фінансування галузі дорожнього господарства України в умовах децентралізації. *Інфраструктура ринку.* 2020. № 42. С. 91–96.

9. Назаркевич О. Б. Механізм управління дорожнім господарством України в умовах децентралізації. *Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України.* 2018. № 4. С. 27–32.

10. Филюк Г. М., Шмалій Н. А. Державно-приватне партнерство як ключова перспектива розвитку дорожнього господарства України. *Актуальні проблеми економіки*. 2021. № 2. С. 67–78.

11. Державна служба статистики України. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/.

12. Рівень безробіття в Україні. URL: https://index.minfin.com.ua/ua/labour/unemploy/ (дата звернення 01.09.2024).

13. Індекс інфляції в Україні. URL: https://index.minfin.com.ua/ua/economy/index/inflation/ (дата звернення 01.09.2024).

14. Девальвація гривні по відношенню до долара. URL: https://index.minfin.com.ua/ua/economy/index/devaluation/ (дата звернення 01.09.2024).

References

1. Boiko S. V. Prahmatyka podatkovoi komponenty finansuvannia dorozhnoho hospodarstva v Ukraini (Pragmatics of the tax component of road sector financing in Ukraine). *Problemy systemnoho pidkhodu v ekonomitsi*. 2019. No. 2(2). P. 66–73 [in Ukrainian].

2. Dedilova T. V., Yurchenko O. V. Perekhid dorozhnoho hospodarstva na rynkovi metody hospodariuvannia pry dotrymanni ekolohichnoi bezpeky (Transition of the road sector to market methods of management while ensuring environmental safety). *Problemy i perspektyvy rozvytku pidpryiemnytstva*. 2018. No. 1. P. 51–63 [in Ukrainian].

3. Diachenko P. V. Basko A. S. Stan ta perspektyvy rozvytku proiektiv dorozhnoho budivnytstva (Current state and prospects of road construction project development). *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system. 2023*. No. 54. P. 12–21 [in Ukrainian].

4. Kyzyma S. S., Lykhostup M. M. Rozvytok systemy dovhostrokovoho planuvannia dorozhnoho hospodarstva (Development of the long-term planning system for the road sector). *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. 2016. No. 97. P. 103–112 [in Ukrainian].

5. Kononov S. O. Zarubizhnyi dosvid funktsionuvannia dorozhnoi haluzi (Foreign experience in the functioning of the road sector). *Ekonomika ta derzhava*. 2021. No. 7. P. 95–100 [in Ukrainian].

6. Kryvoruchko O. P. Rozvytok dorozhnoi haluzi Ukrainy cherez realizatsiiu investytsiino-infrastrukturnykh proektiv (Development of the road sector in Ukraine through the implementation of investment and infrastructure projects). *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia*. 2018. No. 2. P. 79–87 [in Ukrainian].

7. Kupalova H. V. Konkurentospromozhnist pidpryiemstv dorozhnoi haluzi v period reform ta ekonomichnoi nestabilnosti. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*. 2022. No. 5. P. 316–321 [in Ukrainian].

8. Melnyk V. I. Osoblyvosti finansuvannia haluzi dorozhnoho hospodarstva Ukrainy v umovakh detsentralizatsii (Features of road sector financing in Ukraine under decentralization conditions). *Infrastruktura rynku*. 2020. No. 42. P. 91–96 [in Ukrainian].

9. Nazarkevych O. B. Mekhanizm upravlinnia dorozhnim hospodarstvom Ukrainy v umovakh detsentralizatsii (Mechanism of road sector management in Ukraine under decentralization). *Sotsialno-ekonomichni problemy suchasnoho periodu Ukrainy*. 2018. No. 4. P. 27–32 [in Ukrainian].

10. Fyliuk H. M., Shmalii N. A. Derzhavno-pryvatne partnerstvo yak kliuchova perspektyva rozvytku dorozhnoho hospodarstva Ukrainy (Mechanism of road sector management in Ukraine under decentralization). *Aktualni problemy ekonomiky*. 2021. No. 2. P. 67–78 [in Ukrainian].

11. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy (Mechanism of road sector management in Ukraine under decentralization). URL: https://www.ukrstat.gov.ua/ (data zvernennia 01.09.2024) [in Ukrainian].
12. Riven bezrobittia v Ukraini (Unemployment rate in Ukraine) URL: https://index.minfin.com.ua/ua/labour/unemploy/ (data zvernennia 01.09.2024) [in Ukrainian].
13. Indeks infliatsii v Ukraini (Inflation index in Ukraine) URL: https://index.minfin.com.ua/ua/economy/index/inflation/ (data zvernennia 01.09.2024) [in Ukrainian].
14. Devalvatsiia hryvni po vidnoshenniu do dolara (Hryvnia devaluation against the dollar). URL: https://index.minfin.com.ua/ua/economy/index/devaluation/ (data zvernennia 01.09.2024) [in Ukrainian].

Nanalia Sokolova, *Ph.D., Associate Prof., https://orcid.org/0000-0003-0678-8882*
Pavlo Koncha, *https://orcid.org/0000-0001-6867-0172*

National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

MODELING SCENARIOS FOR THE DEVELOPMENT OF ROAD INDUSTRY ENTERPRISES BASED ON THE ANALYSIS OF THEIR POTENTIAL

Abstract

Introduction. Modeling scenarios for the development of road industry enterprises in conditions of instability is an urgent problem, since the industry plays a key role in the development of infrastructure and the economy of Ukraine. Without proper modeling and planning, the development of the industry can become unmanageable, deepening the economic crisis. The study of this problem is of significant scientific and practical interest, as the results can be used for the recovery and further development of the industry in difficult conditions.

Problems. The special state, which began in 2022, significantly affected the state of enterprises, which led to the destruction of infrastructure, a reduction in the number of enterprises and a decrease in their profitability. In this connection, there is a need to assess the potential of enterprises and develop scenarios for their further development. Development of scenarios will make it possible to prepare for possible options for the development of events and ensure the sustainability of enterprises in the future.

Goal. Develop models that take into account various macroeconomic factors, such as inflation, unemployment and devaluation of the hryvnia. Simulate development scenarios of road industry enterprises based on the analysis of their potential in crisis and post-crisis situations.

Materials and methods. The article uses the following methods of scientific knowledge, such as analysis, synthesis and comparison, as well as basic modeling methods.

The results. Three main scenarios of the development of the industry were defined: pessimistic, realistic and optimistic. The pessimistic scenario predicts further deterioration of the situation with a possible decrease in the number of enterprises and profitability due to the continuation of the war and further economic crisis. A realistic scenario envisages a gradual recovery of the industry after the stabilization of the economy and the end of hostilities, although this process will be long and will require significant efforts on the part of the state and business. The optimistic scenario foresees a quick end to the war and an active recovery of the economy with the help of international support, which will contribute to the rapid recovery of the infrastructure and enterprises of the industry.

Conclusions. The analysis of the dynamics of the number of enterprises in the road industry, their size, volume of product sales, financial results and profitability for the period 2016-2022 revealed significant challenges faced by the industry. The model of the dependence of profitability on economic indicators showed a high correlation, which confirms its effectiveness for forecasting the development of the industry. The importance of preparing for different scenarios is obvious to ensure the sustainable development of the road industry in crisis situations.

***Keywords*:** road industry, scenario modeling, potential analysis, econometric model, macroeconomic factors, highway, enterprise potential.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.105

УДК 625.7/.8

Цинка А. О., *канд. техн. наук, http://orcid.org/0000-0002-0357-2325*
Зеленовський В. А., *https://orcid.org/0000-0001-5834-5456*
Райковський В. Ф., *канд. техн. наук, https://orcid.org/0000-0002-6391-7647*
Гамеляк І. П., *д-р техн. наук, проф., https://orcid.org/0000-0001-9246-7561*
Рибальченко С. А., *https://orcid.org/0000-0002-4628-9546*

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

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ПІД ЧАС БУДУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДХОДІВ ДО ЙОГО КОНСТРУЮВАННЯ І РОЗРАХУВАННЯ

Анотація

Вступ. У статті розглядається питання щодо удосконалення методів конструювання та розрахування жорсткого дорожнього одягу, викладених у проєкті ДСТУ «Настанова з проєктування жорсткого дорожнього одягу» (далі — проєкт ДСТУ). Зазначені методи були розроблені на підставі вітчизняного і світового досвіду проєктування автомобільних доріг із жорстким дорожнім одягом, аналізу чинних нормативно-правових актів, будівельних норм, нормативних документів, технічної літератури за напрямком об'єкта стандартизації, з урахуванням наявності сучасних дорожньо-будівельних матеріалів і технологій, щільності транспортного потоку, різноманітності ґрунтів земляного полотна, у тому числі у складних інженерно-геологічних умовах, особливостей дорожньо-кліматичних районів України тощо.

Проблематика. Потреба в удосконаленні та уніфікуванні підходу до проєктування жорсткого дорожнього одягу, ураховуючи особливості його роботи, з визначенням відповідних параметрів залежно від вихідних даних та ефективного використання матеріально-технічних ресурсів.

Мета статті. Інформування фахівців дорожнього господарства про нові тенденції та розробки у сфері проєктування доріг з цементобетонним покривом та обґрунтування потреби в розробленні відповідного нового національного стандарту.

Матеріали і методи. У статті використано напрацювання ДП «НІРІ» та Національного транспортного університету за досвідом надання послуг, чинні будівельні норми та національні стандарти, закордонні нормативні документи і технічна література щодо проєктування жорсткого дорожнього одягу, вітчизняний і світовий досвід, здобутий під час виконання робіт з його улаштування. Під час розроблення ДСТУ ураховані також результати лабораторних досліджень з визначення розрахункових характеристик дорожнього цементобетону, зокрема армованого сталевою чи композитною арматурою.

Результат. З метою впровадження сучасних методів проєктування автомобільних доріг із жорстким дорожнім одягом розроблено проєкт ДСТУ та Довідник № 1 «Розрахункові характеристики ґрунтів, матеріалів дорожнього одягу та навантаг від транспортних засобів», вимоги яких поширюються на конструювання та розрахування жорсткого дорожнього одягу із цементобетонним дорожнім покривом із штировим з'єднанням плит, з армуванням і штировим з'єднанням плит, з безперервним армуванням і з використанням укочуваних цементобетонних сумішей.

Висновки. Запропонована методика проєктування жорсткого дорожнього одягу на автомобільних дорогах удосконалює наявні та встановлює нові науково обґрунтовані вимоги до параметрів конструювання і розрахування, що сприятиме підвищенню міцності, надійності та довговічності дорожніх конструкцій з цементобетонним покривом.

Ключові слова: автомобільна дорога, безперервне армування, деформаційні шви, дорожній покрив, жорсткий дорожній одяг, конструювання дорожнього одягу, розрахування дорожнього одягу, цементобетон, штирове з'єднання плит.

Вступ

У результаті військової агресії проти нашої країни наразі утворився дефіцит власної сировини та існує обмеженість потужностей для виробництва дорожнього бітуму для його використання під час будування автомобільних доріг з нежорстким дорожнім одягом. Також внаслідок чутливості обсягів постачання продукції імпортного походження до змін курсу валют її вартість є значно завищеною. Проте одним з варіантів виходу із ситуації, яка склалась, є будування автомобільних доріг із місцевих матеріалів, зокрема з жорстким дорожнім одягом.

У нашій країні більшість автомобільних доріг мають асфальтобетонний дорожній покрив (орієнтовно 98 %). Строк експлуатування дорожнього одягу з таким покривом регламентується ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво» та за практикою навіть на автомобільних дорогах державного значення значно нижче встановленого чинними нормами ((6 – 8) років). У розвинених країнах світу кількість автомобільних доріг із жорстким дорожнім одягом становить (35 – 40) %, а середній фактичний строк служби — (25 – 26) років.

У Європейських країнах, Сполучених Штатах Америки, країнах Азії вже давно найбільш вантажонапружені ділянки автомобільних доріг будують із цементобетонним покривом та за досвідом застосування цементобетону у дорожньому будуванні розуміють, що навіть дорожній покрив з безперервним армуванням у результаті є більш економічним порівняно із асфальтобетонним. До того ж в умовах стрімкого збільшення інтенсивності руху на автомобільних дорогах зростають і навантаги, тому сучасний дорожній покрив повинен мати високі експлуатаційні показники і водночас бути досить економічним.

На сьогодні, як ніколи, актуальними питаннями сучасного будування є питання покращення конструкцій жорсткого дорожнього одягу та вдосконалення методів їх розрахування. Крім того проєктувальник зобов'язаний відслідковувати інновації у дорожньому будівництві та застосовувати нові матеріали і, відповідно, нові технології.

Отже, ця стаття має оглядовий характер, має науково-дослідницьку спрямованість та містить пропозиції щодо вдосконалення методів проєктування жорсткого дорожнього одягу.

Виклад основного матеріалу

Запропонована методика в проєкті ДСТУ поширюється на проєктування жорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг, майданчиків та автостоянок для транспортних засобів, який може мати такі види дорожнього покриву:

— цементобетонний дорожній покрив із штировим з'єднанням (ЦП-Ш);
— цементобетонний дорожній покрив з армуванням та штировим з'єднанням плит (ЦП-АШ);
— цементобетонний дорожній покрив з безперервним армуванням (ЦП-БА);
— цементобетонний дорожній покрив з безперервним армуванням у два пояси (ЦП-БА2);
— цементобетонний дорожній покрив з використанням сумішей цементобетонних укочуваних (ЦП-У).

Кожен вид дорожнього покриву, що визначений у проєкті ДСТУ, має свої особливості, переваги і недоліки, і вибір конкретного варіанту для проєктування і подальшого будування залежить від вимог до жорсткого дорожнього одягу, наявного бюджету та умов експлуатаційного утримування.

Вибір конструкції жорсткого дорожнього одягу і виду дорожнього покриву здійснюють на основі техніко-економічного порівняння варіантів, розроблених для кожної конкретної ділянки автомобільної дороги окремо, з урахуванням початкової вартості та ефективності капітальних вкладень.

У проєкті ДСТУ встановлено вимоги до:

— конструювання основи дорожнього одягу;
— конструювання дорожнього покриву;
— визначання параметрів розрахункових навантаг;
— розрахування цементобетонного дорожнього покриву за відповідним видом.

Методика включає такі етапи конструювання жорсткого дорожнього одягу:

— призначення виду дорожнього покриву залежно від кількості прикладань розрахункової навантаги за проєктний строк експлуатування дорожнього одягу і категорії автомобільної дороги;

— вибір матеріалів для шарів основи жорсткого дорожнього одягу, визначення кількості шарів та їх товщин з урахуванням навантаги від руху технологічного будівельного транспорту під час раннього набору міцності;

— вибір заходів із забезпечення морозостійкості, корозійної стійкості дорожнього покриву і шарів основи жорсткого дорожнього одягу.

Під час визначення конструкції жорсткого дорожнього одягу потрібно передбачати широке використання місцевих матеріалів і відходів промисловості, а також застосування сучасних дорожньо-будівельних матеріалів і прогресивних технологій.

У ході роботи з удосконалення методики проєктування під час розроблення проєкту ДСТУ оновлено та вдосконалено Довідник № 1 «Розрахункові характеристики ґрунтів, матеріалів дорожнього одягу та навантаг від транспортних засобів», який рекомендовано до застосування під час розроблення проєктної документації на будування автомобільних доріг, майданчиків та автостоянок для транспортних засобів, альбомів типових конструкцій та програмного забезпечення для розрахування конструкцій дорожнього одягу.

У Довіднику № 1 наведено інформацію щодо:

— розрахункових характеристик ґрунту робочого шару для розрахування конструкції дорожнього одягу;

— розрахункових характеристик будівельних матеріалів для основи дорожнього одягу та дорожнього покриву;

— параметрів для визначення загальної кількості прикладань розрахункової навантаги за строк експлуатування дорожнього одягу;

— граничних значень моментів у розрахунковому перерізі конструкції жорсткого дорожнього одягу від дії *i*-го колеса.

У проєкті ДСТУ встановлено алгоритм розрахування жорсткого дорожнього одягу відповідно за вищенаведеними видами дорожнього покриву, який наведено на **рис. 1**. Алгоритмом встановлено, які саме вихідні дані та параметри потрібно мати для початку конструювання варіантів дорожнього одягу, регламентовано порядок дій під час розрахування жорсткого дорожнього одягу за вибраним видом дорожнього покриву та визначено його результати, які повинні задовольняти критеріям міцності.

У проєкті ДСТУ детально наведено особливості конструювання жорсткого дорожнього одягу, а саме:

— встановлено мінімальні товщини цементобетонних плит;

— застосування сталевої та композитної арматури (довжина штирів та їх положення, крок влаштування арматурних стрижнів, відсоток армування, влаштування напусків тощо);

— геометричні параметри розміру плити за різних видів цементобетонного дорожнього покриву;

— параметри деформаційних швів (схеми улаштування, ширини та глибини пазу нарізування, відстані між швами).

Запропонована методика в проєкті ДСТУ ураховує такі основні параметри і особливості жорсткого дорожнього одягу:

— параметри транспортної навантаги (розрахункова інтенсивність руху, розрахункова навантага) відповідно до Європейської класифікації ЄВРО-19;

— параметри проїзної частини (ширина, проєктний строк експлуатування дорожнього одягу тощо);

— дорожньо-кліматичне районування території України за умовами роботи цементобетону;

— параметри земляного полотна та умови його роботи (тип місцевості за зволоженням, різновид ґрунту тощо);

— розрахункові характеристики будівельних матеріалів для конструктивних шарів;

— коефіцієнти постелі для шарів жорсткого дорожнього одягу із неукріплених матеріалів.

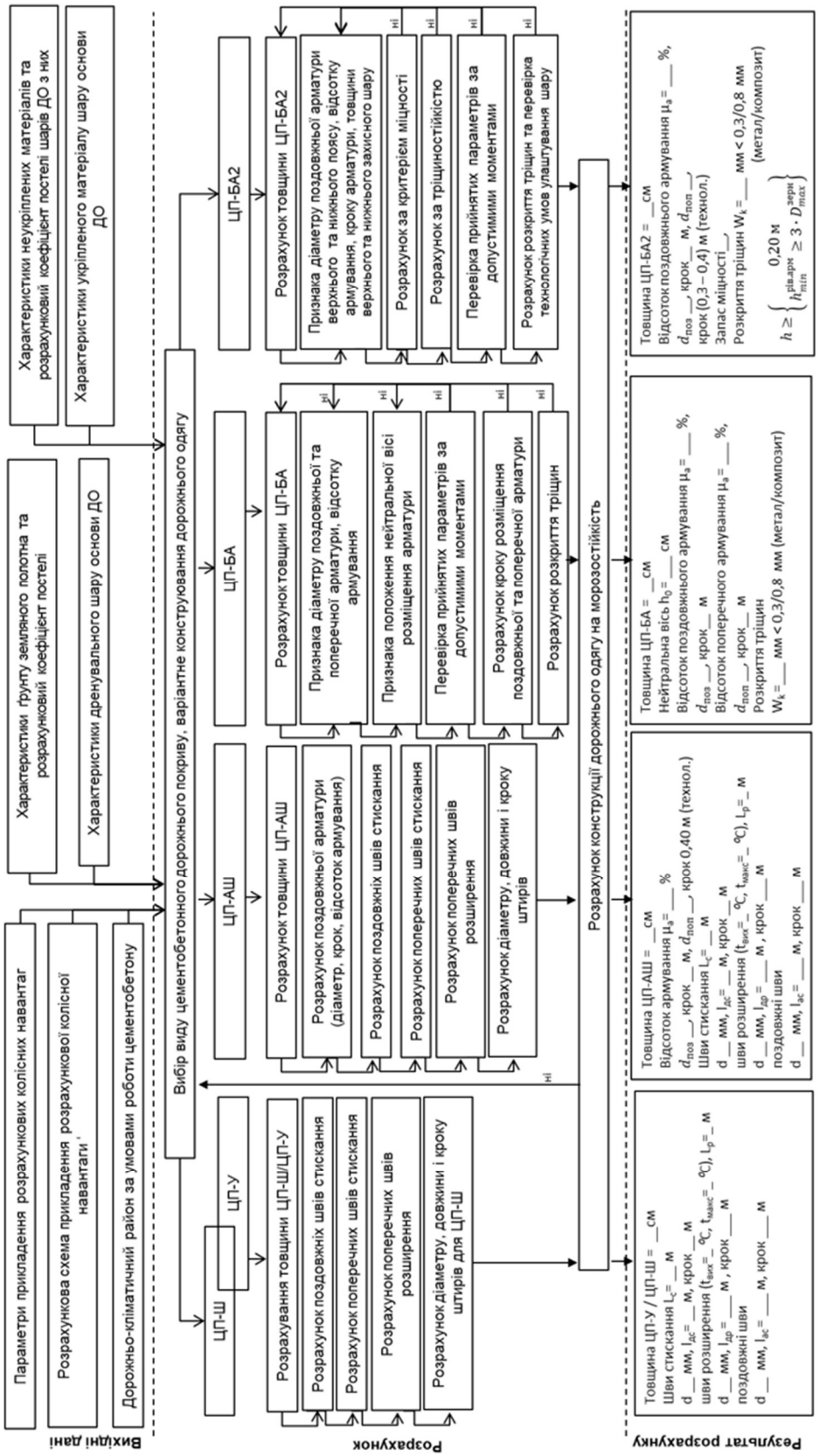


Рисунок 1 — Алгоритми розрахування жорсткого дорожнього одягу

Методика розрахування дозволяє визначати товщину цементобетонного покриву за визначеним його видом, товщину шарів основи дорожнього одягу відповідно до прийнятих матеріалів, відстані між швами стискання та розширення, глибину закладання сталевої чи композитної арматури та параметри стрижнів чи штирів (діаметр, довжина, крок влаштування, відсоток армування тощо).

У методиці встановлено вимоги до відстаней між швами стискання, які приймають за розрахунком у таких межах, але не більше ніж:

— для неармованих плит усіх товщин – 6,5 м;
— для плит із армуванням товщиною понад 170 мм до 200 мм включно – 12,0 м;
— для плит із армуванням товщиною більше ніж 200 мм – 14,0 м.

На віражах відстані між швами стискання для неармованих плит приймають 3,0 м, а для плит із армуванням із радіусами у плані понад 700 м – у два рази менше від розрахункового значення. У разі меншого радіусу відстань між швами стискання зменшують у три рази від розрахункового значення.

Відстані між швами розширення приймають у таких межах, але не більше ніж:

— для неармованих плит усіх товщин плит – 140,0 м;
— для плит із армуванням під час будування у літній період року – 120,0 м;
— для плит із армуванням у весняний та осінній періоди року – 60,0 м.

Очікувану інтенсивність руху транспортних засобів приводять до рівноцінної інтенсивності впливу розрахункової навантаги на одну смугу проїзної частини за проєктний строк експлуатування жорсткого дорожнього одягу з урахуванням особливостей транспортного потоку згідно з оновленою формулою (1). Отже, розрахункова кількість прикладення нормативних статичних навантаг за проєктний строк експлуатування жорсткого дорожнього одягу розраховують таким чином:

$$N_p = 365 \cdot \sum_{i=1}^{k}(S_i \cdot N_i) \cdot \frac{(1+N_{\text{прир.інт}})^T - 1}{N_{\text{прир.інт}}} \cdot f_{\text{смуги}}, \quad (1)$$

де k — приймають згідно з розрахунковою колісною схемою;

N_i, $N_{\text{прир.інт}}$ — приймають за даними багаторічних спостережень.

Коефіцієнт приведення колісної групи до розрахункового транспортного засобу з проєктом ДСТУ розраховують за формулою:

$$S_i = \sum_{i=1}^{k}\left(\frac{Q_{\text{факт}}}{Q_{\text{розр}}}\right)^{4,4}, \quad (2)$$

де $Q_{\text{факт}}$ — фактична статична навантага на вісь, кН, приймають за даними натурних досліджень (пунктів зважування WIM за класифікацією ЄВРО-19);

$Q_{\text{розр}}$ — розрахункова статична навантага на вісь (для одиночної осі приймають 100 кН; для здвоєної осі – 176,5 кН (18 т) або 186,3 кН (19 т) і строєної осі – 235,4 кН (24 т) за відстані між осями понад 1,3 м до 1,4 м);

N_i, $N_{\text{прир.інт}}$ — середньодобова річна інтенсивність i-ої колісної групи транспортних засобів та інтенсивність приросту, приймають за даними багаторічних спостережень;

T — проєктний строк експлуатування дорожнього покриву приймають згідно з додатком Е ДБН В.2.3–4:2015 [2];

$f_{\text{смуги}}$ — коефіцієнт, що враховує число смуг і розподілення проїздів по них, приймають згідно з таблицею 7.1 проєкту ДСТУ.

Для прикладу на **рис. 2** наведено порівняльний розрахунок жорсткого дорожнього одягу з різними видами покриву та арматури.

Автомобільна дорога: Н-23, ІІ категорія				Дорожньо-кліматичний район за умовами роботи цементобетону: ЦБ-3 (південь)		
Фактична статична навантага на одиночну вісь: 115 кН				Дорожній район за ґрунтовими умовами: ІІІ-Г15		
Кількість прикладань розрахункової навантаги: 9 075 418 прикладань				Розрахунок за ГБН В.2.3-37641918-557:2016: 7 839 796 прикладань; товщина 26 см; $K_{мц}$=1,45; +4 %		
ПОРІВНЯЛЬНИИ РОЗРАХУНОК ЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ						
№ шару	Матеріал	Розрахункова товщина шару, м	Коефіцієнт постелі на поверхні шару, K_s, МН/м^3	**ЦП-Ш**	**ЦП-АШ**	**ЦП-БА**
				Сталева арматура		
1	Дорожній цементобетон FS4.C30/37 (E_{cm} = 33000 МПа)	див. далі	-	26 (25,5) см	24 (23,3) см	22 (21,7) см
2	Щебенево-піщана суміш С5	0,21	121	Поперечні шви стискання: прокат А240С, L_c = 5,30 (5,74) м, Ø 16, $l_{дс}$ = 0,50 м, крок 0,30 м Ø 25, $l_{дс}$ = 0,55 м, крок 0,50 м Ø 25, $l_{дс}$ = 0,55 м, крок 0,75 м Ø 32, $l_{дс}$ = 0,69 м, крок 1.00 м Поперечні шви розширення: прокат А240С, ($t_{вих}$ = 22 °С, $t_{макс}$ = 46 °С), $L_р$ = 62,60 м, ($t_{вих}$ = 28 °С, $t_{макс}$ = 46 °С), $L_р$ = 83,50 м, ($t_{вих}$ = 24 °С, $t_{макс}$ = 39 °С), $L_р$ = 100,30 м ($t_{вих}$ = 10 °С, $t_{макс}$ = 46 °С), $L_р$ = 41,70 м Ø 18, $l_{кр}$ = 0,50 м, крок 0,30 м Ø 28, $l_{др}$ = 0,66 м, крок 0,50 м Ø 28, $l_{др}$ = 0,66 м, крок 0,75 м Ø 36, $l_{др}$ = 0,82 м, крок 1,00 м Поздовжні шви стискання: прокат А400С, Ø 20, $l_{ас}$ = 0,75 м, крок 0,50 м (Ø 28, $l_{ас}$ = 1,0 м, крок 1,0 м)	Арматурна сітка: поздовжні стрижні: μ_a = 0,50 %, прокат А400С, Ø 16, крок 0,18 м; поперечні стрижні (технологічні): прокат А400С, Ø 8, крок 0,40 м. Поперечні шви стискання: прокат А240С, L_c = 13,40 м, Ø 20, $l_{др}$ = 0,45 м, крок 0,50 м. Поперечні шви розширення: прокат А240С, $L_р$ = 100,30 м Ø 22, $l_{др}$ = 0,54 м, крок 0,50 м. Поздовжні шви стискання: прокат А400С, Ø 18, $l_{ас}$ = 0,68 м, крок 0,50 м (Ø 14, $l_{ас}$ = 0,54 м, крок 0,3 м) (Ø 28, $l_{ас}$ = 1,0 м, крок 1,0 м)	Арматурна сітка: глибина закладання h_0=11,6 см; поздовжні стрижні: μ_a=0,60 %, прокат А400С, Ø 12, крок 0,18 м; поперечні стрижні: μ_a=0,50 %, прокат А400С, Ø 12, крок 0,23 м. Розкриття тріщин: W_k=0,27 мм < 0,31 мм
3	Пісок середньої крупності	0,20	64			
4	Суглинок важкий пилуватий	-	40			
ЦП-Ш	**ЦП-АШ**	**ЦП-БА**				
Базальтокомпозитна арматура АКБ-800/45				**ЦП-БА зі склокомпозитною арматурою АКС-1000/50**		
26 (25,5) см	24 (23,3) см	22 (21,7) см		26 (25,5) см	24 (23,3) см	22 (21,7) см
Поперечні шви стискання: L_c = 5,30 (5,74) м, Ø 25, $l_{ас}$ = 0,54 м, крок 0,50 м. Поперечні шви розширення: $L_р$ = 100,30 м, Ø 28, $l_{др}$ = 0,61 м, крок 0,50 м. Поздовжні шви стискання: Ø 14, $l_{ас}$ = 0,54 м, крок 0,50 м (Ø 18, $l_{ас}$ = 0,68 м, крок 1,0 м)	Арматурна сітка: поздовжні стрижні: μ_a = 0,50 %, Ø 14, крок 0,13 м; поперечні стрижні (технологічні): Ø 8, крок 0,40 м. Поперечні шви стискання: L_c = 9,10 м, Ø 20, $l_{др}$ = 0,50 м, крок 0,50 м. Поперечні шви розширення: $L_р$ = 100,30 м, Ø 22, $l_{др}$ = 0,54 м, крок 0,50 м. Поздовжні шви стискання: Ø 12, $l_{ас}$ = 0,68 м, крок 0,50 м	Арматурна сітка: глибина закладання h_0 = 11,0 см; поздовжні стрижні: μ_a = 0,90 %, Ø 16, крок 0,23 м; поперечні стрижні: μ_a = 0,90 %, Ø 16, крок 0,23 м. Розкриття тріщин: W_k = 0,77 мм < 0,80 мм		Поперечні шви стискання: L_c = 5,30 (5,74) м, Ø 25, $l_{ас}$ = 0,55 м, крок 0,50 м. Поперечні шви розширення: $L_р$ = 100,30 м, Ø 28, $l_{др}$ = 0,66 м, крок 0,50 м. Поздовжні шви стискання: Ø 12, $l_{ас}$ = 0,50 м, крок 0,50 м (Ø 16, $l_{ас}$ = 0,60 м, крок 1,0 м)	Арматурна сітка: поздовжні стрижні: μ_a = 0,50 %, Ø 14, крок 0,13 м; поперечні стрижні (технологічні): Ø 8, крок 0,40 м. Поперечні шви стискання: L_c = 9,40 м, Ø 20, $l_{др}$ = 0,50 м, крок 0,50 м. Поперечні шви розширення: $L_р$ = 100,30 м, Ø 22, $l_{др}$ = 0,54 м, крок 0,50 м. Поздовжні шви стискання: Ø 12, $l_{ас}$ = 0,68 м, крок 0,50 м	Арматурна сітка: глибина закладання h_0=10,9 см; поздовжні стрижні: μ_a = 0,78 %, Ø 14, крок 0,23 м; поперечні стрижні: μ_a = 0,78 %, Ø 14, крок 0,23 м. Розкриття тріщин: W_k = 0,77 мм < 0,80 мм

Примітка. Синім кольором наведені варіантні значення окремих параметрів

Рисунок 2 — Порівняльний розрахунок жорсткого дорожнього одягу з різними видами покриву та арматури

Збірник наукових праць «ДОРОГИ І МОСТИ» www.dorogimosti.org.ua
ISSN 2524-0994 (Print), ISSN 2786-488X (Online). Dorogi i mosti, 2024. Issue 30

Висновки

Під час проєктування жорсткого дорожнього одягу багато параметрів залежать від рівня обґрунтованості розрахункових методик, закладених у розрахункові моделі, рекомендацій і припущень, прийнятих у них. Крім того недостатнє урахування природно-кліматичних, ґрунтово-геологічних умов призводить до помилок конструювання та розрахування. Порушення технології будування та недотримання правил експлуатаційного утримування також ведуть до зниження його довговічності. З огляду на це можна відзначити, що питання проєктування жорсткого дорожнього одягу наразі вирішені не повністю та вимагають негайного удосконалення, ураховуючи високу потребу у відновленні об'єктів інфраструктури.

Запропонована методика проєктування жорсткого дорожнього одягу удосконалює наявні та встановлює нові науково обґрунтовані, сучасні вимоги та підходи щодо параметрів його конструювання та розрахування, забезпечує значну економію матеріальних ресурсів і засобів та одночасно сприятиме підвищенню міцності, надійності та довговічності дорожніх конструкцій з цементобетонним покривом. Такі аргументи на користь використання жорсткого дорожнього одягу дозволяють виключити майже всі негативні моменти, що гальмують широке використання дорожнього цементобетону.

Список літератури

1. Про автомобільний транспорт: Закон України від 23.02.2006 № 3492-IV, в редакції від 28.06.2024 № 3778-IX // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14#Text (дата звернення 23.09.2024).
2. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015. 48 с. (Інформація та документація).
3. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. Київ, 2015. 68 с. (Інформація та документація).
4. ДБН В.2.3-15:2007 Споруди транспорту. Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів. Київ, 2007. 53 с. (Інформація та документація).
5. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Київ, 2009. 62 с. (Інформація та документація).
6. ГБН В.2.3-37641918-544:2014 Автомобільні дороги. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги. Київ, 2014. 48 с. (Інформація та документація).
7. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Автомобільні дороги. Нежорсткий дорожній одяг. Проектування. Київ, 2019. 43 С. (Інформація та документація).
8. Довідник № 1 розрахункових характеристик ґрунтів, матеріалів дорожнього одягу та навантаг від транспортних засобів. Харків. 2017. 45 с. (Інформація та документація).
9. Довідник № 5 Кліматичні характеристики та кліматичне районування території України для розрахунку нежорсткого дорожнього одягу. Харків. 2019. 49 с. (Інформація та документація).
10. СОУ 42.1-37641918-091:2013 Будівельні матеріали. Бетони дорожні, армовані базальтовою фіброю. Загальні технічні вимоги. Київ, 2013. 53 с. (Інформація та документація).
11. ACI 440.1R-15. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. American Concrete Institute, 2006. 40 p.
12. ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012 Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу. Київ, 2012. 73 с. (Інформація та документація).

References

1. Pro avtomobilnyi transport: Zakon Ukrainy (On road transport: Law of Ukraineov) vid 23.02.2006 No. 3492-IV, v redaktsii vid 28.06.2024 No. 3778-IKh // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14#Text (data zvernennia 23.09.2024) [in Ukrainian].

2. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo (Motor roads. Part I. Design. Part II. Construction). Kyiv, 2015. 48 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
3. DBN V.2.3-5:2018 Vulytsi ta dorohy naselenykh punktiv (Streets and roads of settlements). Kyiv, 2015. 68 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
4. DBN V.2.3-15:2007 Sporudy transportu. Avtostoianky i harazhi dlia lehkovykh avtomobiliv (Transport structures. Parking lots and garages for cars). Kyiv, 2007. 53 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
5. DBN V.2.6-98:2009 Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii (Structures of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions.). Osnovni polozhennia. Kyiv, 2009. 62 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
6. HBN V.2.3-37641918-544:2014 Avtomobilni dorohy. Zastosuvannia heosyntetychnykh materialiv u dorozhnikh konstruktsiiakh. Osnovni vymohy (Motor roads. Application of geosynthetic materials in road structures. Basic requirements.). Kyiv, 2014. 48 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
7. HBN V.2.3-37641918-559:2019 Avtomobilni dorohy. Nezhorstkyi dorozhnii odiah. Proektuvannia (Automobile roads. Soft road clothing. Designing.). Kyiv, 2019. 43 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
8. Dovidnyk No. 1 rozrakhunkovykh kharakterystyk gruntiv, materialiv dorozhnoho odiahu ta navantah vid transportnykh zasobiv (Handbook No. 1 of calculated characteristics of soils, road surface materials and vehicle loads.). Kharkiv. 2017. 45 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia). [in Ukrainian].
9. Dovidnyk N0. 5 Klimatychni kharakterystyky ta klimatychne raionuvannia terytorii Ukrainy dlia rozrakhunku nezhorstkoho dorozhnoho odiahu (Handbook No. 5 Climatic characteristics and climatic zoning of the territory of Ukraine for the calculation of non-rigid road wear.). Kharkiv. 2019. 49 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
10. SOU 42.1-37641918-091:2013 Budivelni materialy. Betony dorozhni, armovani bazaltovoiu fibroiu. Zahalni tekhnichni vymohy (Building materials. Road concrete reinforced with basalt fiber. General technical requirements). Kyiv, 2013. 53 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
11. ASI 440.1R–15. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. American Concrete Institute, 2006. 40 p. [in English].
12. DSTU-N B V.2.6-185:2012 Nastanova z proektuvannia ta vyhotovlennia betonnykh konstruktsii z nemetalevoiu kompozytnoiu armaturoiu na osnovi bazalto- i sklorovinhu (Guidelines for the design and manufacture of concrete structures with non-metallic composite reinforcement based on basalt and glass roving). Kyiv 2012. 73 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

Anatolii Tsynka, *Ph.D., http://orcid.org/0000-0002-0357-2325*
Volodymyr Zelenovsky, *https://orcid.org/0000-0001-5834-5456*
Vitaliy Raykovskiy, *Ph.D., https://orcid.org/0000-0002-6391-7647*
Ihor Gamelyak, *D.Sc., Prof., https://orcid.org/0000-0001-9246-7561*
Sergii Rybalchenko, *https://orcid.org/0000-0002-4628-9546*

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

PROSPECTS FOR THE USE OF RIGID PAVEMENT IN ROAD CONSTRUCTION AND IMPROVEMENT OF APPROACHES TO ITS DESIGN AND CALCULATION

Abstract

Introduction. This article examines the issue of improving the methods of designing and calculating rigid road surfaces, outlined in the DSTU project "Guidelines for the Design of Rigid Road Surfaces" (hereinafter referred to as the DSTU project). The specified methods were developed on the basis of domestic

and global experience in the design of highways with rigid road surfaces, analysis of current legal acts, regulatory documents, technical literature related to the object of standardization, taking into account the availability of modern road construction materials and technologies. density of traffic flow, diversity of subsoil, including in complex engineering and geological conditions, peculiarities of road and climatic regions of Ukraine, etc.

Problem statement. The need for improvement and a unified approach to the design of rigid road clothing, taking into account the peculiarities of its operation, with the determination of the appropriate parameters depending on the initial data and the effective use of material and technical resources.

Materials and methods. The article uses the work of SE "NIDI" and the National Transport University based on the experience of providing services, current building regulations and national standards, information materials of foreign normative documents and technical literature on the design of rigid road surfaces, domestic and international experience gained during the execution of construction works . During the development of DSTU, the results of laboratory studies on determining the calculated characteristics of road cement concrete, including those reinforced with steel or composite reinforcement, were also taken into account.

Results. In order to implement modern methods of designing highways with rigid road surfaces, the DSTU project and Handbook No. 1 "Calculation characteristics of soils, road surface materials and vehicle loads" were developed, the requirements of which apply to the design and calculation of rigid road surfaces with a cement concrete road surface with a pin with by connecting plates, with reinforcement and pin connection of plates, with continuous reinforcement and using rolled cement-concrete mixtures.

Conclusions. The proposed method of designing rigid road surfaces on highways improves the existing ones and establishes new, scientifically based, modern requirements for design and calculation parameters, which will contribute to increasing their strength, reliability and durability.

Keywords: highway, rigid road surface, road surface, construction of road surface, calculation of road surface, cement concrete, pin joint of slabs, continuous reinforcement, expansion joints.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.114

УДК 625.7/.8

Ілляш С. І., *канд. техн. наук, https://orcid.org/0000-0002-3001-8012*
Стасюк Т. О., *https://orcid.org/0000-0001-5921-4503*

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

ОГЛЯД МЕТОДИЧНИХ ПІДХОДІВ ДО ПЛАНУВАННЯ РОБІТ З ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО УТРИМУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація

Вступ. Особливістю розвитку автомобільних доріг України в сучасних умовах є обмежене фінансування дорожнього господарства. Водночас визначення обсягів і переліків робіт з урахуванням фактичного експлуатаційного стану автомобільних доріг є надзвичайно важливим, адже це суттєво впливає на безпеку та комфорт учасників дорожнього руху, ефективність експлуатації автомобільного транспорту. Для визначення планових обсягів робіт використовують встановлений норматив, що є усередненим для автомобільних доріг відповідної категорії. Це спрощує розрахунки, проте такий підхід не зовсім чітко встановлює річні планові обсяги робіт з експлуатаційного утримування ділянки, оскільки не ураховує її експлуатаційний стан. Беручи до уваги сучасний рівень фінансування, актуальним є розроблення методології визначення планових обсягів та переліків робіт з експлуатаційного утримування, яка б була достатньо точною, проте не потребувала б значних коштів на обстеження ділянок доріг.

Проблематика. Визначення обсягів робіт з експлуатаційного утримування здійснюють на основі комплексного аналізу стану дорожнього покриву, прогнозуванні транспортного навантаження та розподілі бюджетних ресурсів. Проте в умовах воєнного стану пріоритети країни змінились, і на перше місце виходять питання забезпечення обороноздатності держави, надання гуманітарної допомоги тощо. Виходячи із сучасних тенденцій розвитку дорожньої галузі України, головним завданням є раціональне використання обмежених фінансових ресурсів і збереження автомобільних доріг у належному експлуатаційному стані.

Нормативи обсягів робіт з експлуатаційного утримування затверджують відповідно до Методики визначення обсягу фінансування будівництва, реконструкції, ремонту та утримування автомобільних доріг (далі — Методика) [1] та приймають усереднено для України. Відповідно до зазначеного нормативу встановлені чіткі перелік та обсяги робіт для 1 км автомобільної дороги загального користування державного значення ІІ категорії, який приводять коригувальними коефіцієнтами та протяжністю ділянок відповідної категорії до потрібної мережі, проте не ураховують їхній фактичний експлуатаційний стан. Дороги державного значення зазвичай мають вищу інтенсивність руху порівняно з місцевими дорогами. Також суттєво відрізняються за експлуатаційним станом щойно відремонтовані дороги від тих, на яких протягом тривалого періоду часу не виконували ремонтні роботи. Тому встановлення диференційованого підходу щодо актуалізації обсягів робіт з експлуатаційного утримування для доріг державного та місцевого значення є надзвичайно важливим.

Мета. Проаналізувати ефективність застосування наявних методів визначення планових обсягів робіт з експлуатаційного утримування автомобільних доріг у сучасних умовах.

Матеріали та методи. Стаття носить оглядовий характер. У статті був використаний системний підхід, який представляє собою сукупність загальнонаукових методологічних принципів (вимог), в основі яких лежить розгляд об’єктів як систем.

Результати. Аналізування наявних методів визначення обсягів і переліків робіт з експлуатаційного утримування автомобільних доріг дозволить визначити їхній основні переваги та недоліки, можливі напрямки удосконалювання чи запровадження нових підходів.

Висновки. Планування робіт з експлуатаційного утримування за умов обмежених ресурсів є складним завданням, що потребує комплексного підходу та використання сучасних методик і технологій. Адекватне планування та раціональне використання ресурсів дозволять забезпечити ефективне утримування доріг і збереження їхніх функціональних характеристик у майбутньому. Ураховуючи це, доцільним є удосконалення механізму визначення планових обсягів і переліків робіт з експлуатаційного утримування, при цьому зберігши його простоту.

Ключові слова: автомобільна дорога, експлуатаційний стан, експлуатаційне утримування, обмежене фінансування, обсяг робіт, перелік робіт, планування робіт, ремонтні роботи.

Вступ

Автомобільні дороги є ключовою складовою транспортної інфраструктури будь-якої країни. Вони забезпечують транспортні зв'язки між регіонами, сприяють економічному розвитку та покращують мобільність населення. Однак, експлуатаційний стан доріг і якість їхнього утримування мають безпосередній вплив на ефективність цих функцій.

Військовий стан, запроваджений в Україні у зв'язку з широкомасштабною агресією Росії, суттєво змінив функціонування всієї інфраструктури країни, включно з автомобільними дорогами. У цих умовах експлуатаційне утримування доріг набуло нового значення, оскільки дороги відіграють критичну роль не лише у забезпеченні цивільного транспортування, але й у забезпеченні військових потреб, евакуації населення, доставки гуманітарної допомоги та здійсненні логістичних операцій. У зв'язку із цим були внесені зміни до Бюджетного кодексу України [2], відповідно до яких гроші Державного дорожнього фонду в першу чергу спрямовують на зміцнення армії та посилення обороноздатності держави. Виходячи із цього, проведення в необхідній мірі робіт з нового будування та ремонтування автомобільних доріг не є можливим, частково фінансують лише роботи з експлуатаційного утримування. Відсутність відповідного грошового забезпечення, унеможливлює створення безпечних умов руху на дорогах, вулицях і залізничних переїздах, і, у свою чергу, призводить до негативних наслідків для економіки і національної безпеки України.

У сучасних умовах експлуатації автомобільних доріг важливим завданням є раціональне планування обсягів робіт та оцінювання технічного стану доріг для забезпечення їхнього належного функціонування. Експлуатаційне утримування автомобільних доріг в Україні регулюють чіткими нормативами та стандартами. Так, відповідно до [3], склад та обсяги робіт з експлуатаційного утримування автомобільних доріг встановлюють на підставі результатів діагностики й оцінювання їхнього фактичного стану й обстежень, зафіксованих в актах дефектів чи інших документах. Для аналізування стану доріг державного значення зокрема в Україні впроваджені сучасні інформаційні системи, такі як HDM-4 (Highway Development and Management) або СУСП (Система управління станом покриття). Ці інструменти дозволяють комплексно оцінювати експлуатаційний стан доріг, планувати ремонти та аналізувати економічну ефективність різних варіантів утримування. Проте, за умов обмежених ресурсів, в України на сьогоднішній день дані системи не наповнюють інформацією, оскільки відсутнє належне обстеження автомобільних доріг державного значення. Ситуація з обстеженням автомобільних доріг місцевого значення є ще складнішою. Таким чином, планування робіт з експлуатаційного утримування автомобільних доріг у сучасних умовах є актуальним науковим завданням, що матиме велике практичне значення.

Мета й завдання роботи. Проаналізувати ефективність застосування наявних методів планування робіт з експлуатаційного утримування автомобільних доріг, сформувати методичні підходи до визначення обсягів і переліків робіт з експлуатаційного утримування автомобільних доріг з урахуванням економічної ситуації в Україні. Це дозволить ефективно оцінювати та планувати витрати на утримування автомобільних доріг, що забезпечить економічну обґрунтованість та ефективне використання державних ресурсів.

Основна частина

За останні роки внаслідок суттєвого скорочення фінансування дорожнього господарства України стан автомобільних доріг помітно погіршився. Разом із цим практично зникли і обсяги нового будування та ремонтування доріг, частково фінансують лише роботи з експлуатаційного утримування. Виходячи із сучасних тенденцій розвитку дорожньої галузі України, головним завданням наразі є раціональне використання обмежених фінансових ресурсів та збереження автомобільних доріг у належному експлуатаційному стані.

Механізм розподілу загального обсягу фінансових ресурсів на розвиток та утримування автомобільних доріг загального користування державного та місцевого значення здійснюють відповідно до положень нормативно-правових актів України, зокрема, Бюджетного кодексу України, Закону України «Про джерела фінансування дорожнього господарства України» та Порядку спрямування коштів державного дорожнього фонду, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 20 грудня 2017 року № 1085.

Нормативи обсягів робіт з експлуатаційного утримування затверджують відповідно до Методики та приймають усереднено для України. Відповідно до положень Методики розподіл фінансових ресурсів на розвиток та утримування автомобільних доріг державного та місцевого значення повинні здійснювати за загальною схемою розподілу реальних фінансових ресурсів у такій пріоритетній послідовності:

— експлуатаційне утримування автомобільних доріг загального користування державного або місцевого значення;

— поточне та капітальне ремонтування, а також реконструювання автомобільних доріг загального користування державного та місцевого значення;

— нове будування автомобільних доріг загального користування державного та місцевого значення.

Фінансування робіт з експлуатаційного утримування автомобільних доріг загального користування державного та місцевого значення здійснюють в першу чергу на підставі мінімального нормативу, що забезпечує мінімально допустимий рівень експлуатаційного утримування, усереднено для України. Відповідно до зазначеного нормативу визначено чіткі перелік та обсяги робіт для 1 км автомобільної дороги загального користування державного значення ІІ категорії, який приводять коригувальними коефіцієнтами та протяжністю ділянок відповідної категорії до потрібної мережі, проте не ураховують фактичний експлуатаційний стан ділянки автомобільної дороги.

У сучасних умовах експлуатації автомобільних доріг, важливим завданням є раціональне планування та оцінювання експлуатаційного стану доріг для забезпечення їхнього належного функціонування. Одним із ефективних інструментів для цього є спеціалізоване програмне забезпечення HDM-4 або СУСП, яке дозволяє аналізувати результати обстеження та визначати обсяги необхідних ремонтних робіт.

Система управління станом покриття (СУСП) [4], розроблена в Україні, являє собою комплексне програмне забезпечення, що використовує численні математичні й економіко-математичні моделі. Вони допомагають визначати технічні та економічні вимоги до доріг, оцінювати їхній технічний стан і техніко-економічну ситуацію на окремих ділянках, а також описувати закономірності їхньої зміни з часом під впливом різних дорожньо-ремонтних заходів або їх відсутності. Крім того, система дозволяє визначати найбільш ефективні види робіт, ураховуючи наявні ресурсні обмеження.

СУСП була розроблена в період 2000-2001 років на замовлення Укравтодору (зараз — Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури) і є адаптованою версією системи Світового банку HDM-4, що використовують у багатьох країнах. Її функціонування регламентують Наказами Укравтодору від 25.10.2006 № 490 та від 12.03.2008 № 95 щодо забезпечення розвитку та експлуатації системи управління станом покриття автомобільних доріг. Однією з ключових функцій

СУСП є створення бази даних про стан дорожнього покриву для подальшого визначення проблемних ділянок та призначення необхідних ремонтних заходів.

Ефективність реалізації робіт за методологією СУСП визначають за такими показниками:

— покращення споживчих характеристик автомобільних доріг;

— зниження питомих витрат матеріальних, трудових і фінансових ресурсів на ремонтування та експлуатаційне обслуговування доріг;

— скорочення використання матеріальних природних ресурсів;

— зменшення вартості перевезень як вантажів, так і пасажирів;

— підвищення продуктивності транспортних засобів;

— підвищення комфорту пасажирів і скорочення часу в дорозі;

— зниження кількості дорожньо-транспортних пригод, пов’язаних з неналежними дорожніми умовами, зменшення числа загиблих і соціально-економічних втрат від ДТП;

— скорочення негативного впливу автомобільних доріг і транспорту на навколишнє середовище.

Результатами системи СУСП в Україні, яка впроваджена з 2005 року, є визначення транспортно-експлуатаційних показників усіх автомобільних доріг державного значення (міцність дорожніх одягів без цементобетонних, зчіпні властивості, рівність і ступінь руйнування покриву); розрахування потрібності проведення капітальних і поточних ремонтувань з розподіленням за ефективністю виконання ремонтних робіт на усіх автомобільних дорогах державного значення.

У 2021 році Державним агентством відновлення та розвитку України у рамках реформи управління якістю в дорожній галузі було впроваджено міжнародну систему HDM-4 — програмне забезпечення для пріоритезації ремонтів і будівництва доріг [5]. Це потужна система для оцінювання стану дорожніх мереж і прийняття управлінських рішень щодо їхнього розвитку та обслуговування. Програма розроблена для аналізування економічної ефективності різних варіантів інвестування в дорожню інфраструктуру та оптимізації витрат на її утримування протягом життєвого циклу.

Однією з головних переваг HDM-4 [6] є можливість прогнозування змін технічного стану доріг, оцінювання вартості їхнього обслуговування та ремонтування на основі різних сценаріїв. Це дозволяє організаціям ефективніше планувати бюджетні витрати на дорожні проєкти. За допомогою HDM-4 можна виконувати аналізування життєвого циклу дороги, ураховуючи як короткострокові, так і довгострокові ефекти від інвестицій. Це особливо корисно для прийняття рішень щодо ремонтування або реконструювання інфраструктури з урахуванням економічних показників. Система дозволяє моделювати численні сценарії розвитку, відображаючи різні варіанти експлуатації дорожньої мережі та їхній вплив на економіку. Це забезпечує прийняття обґрунтованих рішень для кожного окремого проєкту. HDM-4 використовують по всьому світу, оскільки вона має гнучкі налаштування, що дозволяють адаптувати систему до специфічних умов кожної країни або регіону.

HDM-4 використовує складні математичні моделі для прогнозування стану дорожнього покриву на довготривалу перспективу (10 – 20 років). Ця модель враховує широкий спектр змінних, включаючи клімат, дорожні навантаження, якість матеріалів та економічні умови. У свою чергу, СУСП зосереджує увагу на короткострокових прогнозах та плануванні ремонтних робіт на основі поточного стану доріг.

Для роботи HDM-4 необхідні детальні дані щодо трафіку, географічних умов та економічних показників, що потребує значних ресурсів для збирання та оброблення інформації. СУСП, натомість, використовує дані польових обстежень, що робить його менш вимогливим до кількості та якості вхідної інформації, але водночас обмежує можливості довгострокового прогнозування.

HDM-4 пропонує багатий функціонал для економічного аналізу, включаючи оцінювання економічної ефективності інвестицій у дорожню мережу та планування стратегічного розвитку інфраструктури. СУСП використовують для більш практичних аспектів — моніторингу стану доріг та плануванні поточного ремонтування.

HDM-4 та СУСП мають свої унікальні переваги і недоліки залежно від контексту їхнього застосування. HDM-4 є більш комплексною системою з потужними можливостями для довгострокового прогнозування та економічного аналізування, але вимагає значних ресурсів для впровадження та підтримки. СУСП є простішим інструментом, який зосереджений на практичних завданнях управління дорожньою інфраструктурою, і краще підходить для локальних потреб з обмеженими ресурсами. Однак, у сучасних умовах в Україні не проводять відповідні обстеження, через що ці системи не функціонують належним чином.

Разом із цим, попри ефективність використання HDM-4 та СУСП для державних доріг, для місцевих доріг на сьогодні не існує повноцінного механізму або системи, яка б відповідала їхнім специфічним потребам. На відміну від автомобільних доріг державного значення місцеві дороги не мають єдиного централізованого балансоутримувача. Це ускладнює їхнє управління та експлуатаційне утримування. Крім того, кількість автомобільних доріг місцевого значення значно перевищує кількість доріг державного значення, що створює додаткові виклики для їхнього утримування та модернізування.

Автомобільні дороги місцевого значення є важливою складовою транспортної інфраструктури України, що забезпечує зв'язок між малими населеними пунктами, сільськими районами та регіональними центрами. Для місцевих доріг існують численні проблеми у сфері експлуатаційного утримування, серед яких можна виділити недостатнє фінансування, брак уваги до планування ремонтних робіт, а також відсутність системного підходу до визначення обсягів робіт. Удосконалення методології визначення обсягів робіт з утримування місцевих доріг є актуальним завданням для підвищення якості інфраструктури на регіональному рівні.

Одна з ключових проблем експлуатаційного утримування місцевих доріг полягає у відсутності системного підходу до оцінювання технічного стану покриву та планування ремонтних робіт. Для місцевих доріг зазвичай не використовують сучасні інформаційні системи, які застосовують для доріг державного значення. Окрім Методики планові обсяги робіт з експлуатаційного утримування автомобільних доріг визначають на основі комплексного обстеження фактичного стану автомобільної дороги, яке здійснюють спеціалізовані інженери. Такий підхід дозволяє отримати детальну інформацію про технічний стан дороги, проте він є досить трудомістким, оскільки вимагає залучення значних людських ресурсів, спеціального обладнання та тривалого часу для проведення оцінювання.

Основне фінансування експлуатаційного утримування місцевих доріг здійснюють за рахунок місцевих бюджетів, що значно обмежує обсяги виконуваних робіт. У багатьох випадках виконують лише аварійне ремонтування найбільш пошкоджених ділянок, що не забезпечує належної довгострокової стійкості доріг.

Відсутність єдиної методології визначення планових обсягів робіт з експлуатаційного утримування автомобільних доріг місцевого значення призводить до нераціонального розподілу ресурсів, що, у свою чергу, може погіршувати стан інфраструктури, знижувати безпеку дорожнього руху та ускладнювати транспортне сполучення в регіонах. Крім того, відсутність прозорої системи планування ускладнює процеси бюджетування та контролювання за виконанням робіт.

Отже, виникає нагальна потреба у розробленні та впровадженні механізмів для оцінювання стану та пріоритезації ремонтних робіт на місцевих дорогах. Такий механізм повинен включати в себе інструменти для збирання та аналізування даних про технічний стан доріг, економічну ефективність ремонтних заходів і довгострокове планування утримування інфраструктури. Це дозволить підвищити ефективність використання бюджетних коштів і забезпечити належний рівень якості доріг місцевого значення. Найкращим варіантом було б запровадження інформаційних систем, аналогічних до HDM-4 або СУСП для місцевих доріг, що дозволило збирати та аналізувати дані про технічний стан доріг для більш ефективного планування робіт.

З огляду на сучасні умови, зокрема обмеженість фінансування та ліміт часу, доцільним є використання альтернативних методів, таких як експрес-метод оцінювання експлуатаційної якості

автомобільної дороги за індексом експлуатаційного стану. Цей підхід використовують з урахуванням довготривалих спостережень за експлуатаційним станом доріг, узагальненні багаторічних досліджень і систем оцінки різних авторів, так званий *J*-індекс. Його використовують для оцінювання і класифікації доріг за різними критеріями, він є важливим для підвищення безпеки та комфорту учасників дорожнього руху, а також для зниження витрат на ремонтування шляхом своєчасного виявлення та усунення дефектів. Однак, наразі відсутні стандартизовані обсяги та переліки робіт, що відповідають певним значенням J-індексу для відповідного експлуатаційного стану дороги. Одним із можливих підходів до вирішення цього питання є аналізування статистичних даних і застосування розрахунково-аналітичних методів для встановлення відповідності між експлуатаційним станом дороги та необхідними обсягами та переліками робіт.

Висновки

У сучасних умовах експлуатації автомобільних доріг, важливим завданням є раціональне планування та оцінювання експлуатаційного стану доріг для забезпечення їхнього належного функціонування. Одним із ефективних інструментів для цього є спеціалізоване програмне забезпечення HDM-4 або СУСП, яке дозволяє аналізувати результати обстеження та визначати обсяги необхідних ремонтних робіт. Однак, ураховуючи сучасні умови в Україні, у зв'язку з широкомасштабною агресією Росії, відповідні обстеження не проводять, через що ці системи не функціонують належним чином.

В умовах обмеженого фінансування з метою прийняття об'єктивних управлінських рішень для визначення планових обсягів та переліків робіт з експлуатаційного утримування автомобільних доріг загального користування актуальним є розроблення методології планування робіт з експлуатаційного утримування, яка б була достатньо точною, проте не потребувала б значних коштів на обстеження ділянок доріг. Розроблення нового підходу, визначення недоліків та обмежень існуючих методів, а також впровадження нових технологій, дозволять підвищити точність прогнозування потреб у визначенні обсягів робіт з експлуатаційного утримування автомобільних доріг в Україні.

Список літератури

1. Про затвердження Методики визначення обсягу фінансування будівництва, реконструкції, ремонту та утримання автомобільних доріг та нормативів витрат, пов'язаних з утриманням автомобільних доріг: Наказ від 21.09.2012 № 573/1019 / База даних Законодавство України // Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1734-12#n180 (дата звернення 09.09.2024).

2. Постанова кабінету міністрів України. Деякі питання використання залишку коштів, визначеного пунктом 2 статті 36 Закону України «Про Державний бюджет України на 2024 рік» від 23.02.2024 № 199 / База даних Законодавство України // Верховна рада України. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/199-2024-%D0%BF#Text. (дата звернення 10.09.2024).

3. ДСТУ 8747:2017 Автомобільні дороги. Види та переліки робіт з ремонтів та експлуатаційного утримання. Київ, 2017. 34 с. (Інформація та документація).

4. Райковський В.Ф. Удосконалення методу розрахунку надійності нежорсткого дорожнього одягу при дії навантаження: автореф. дис…. канд. тех. Наук. Київ, 2021. 22 с.

5. Команда "Великого будівництва" представила нову розумну систему керування якістю доріг E-ROAD. URL: https://lviv-rda.gov.ua/komanda-velykoho-budivnytstva-predstavyla-novu-rozumnu-systemu-keruvannya-yakistyu-dorih-e-road/ (дата звернення 10.09.2024).

6. HDM-4 is a software package and associated documentation which will serve as the primary tool for the analysis, planning, management and appraisal of road maintenance, improvements and investment decisions. URL: https://www.piarc.org/en/PIARC-knowledge-base-Roads-and-Road-Transportation/Road-Safety-Sustainability/Road-Assets-Management/HDM-4-Software (дата звернення 10.09.2024).

References

1. Pro zatverdzhennia Metodyky vyznachennia obsiahu finansuvannia budivnytstva, rekonstruktsii, remontu ta utrymannia avtomobilnykh dorih ta normatyviv vytrat, poviazanykh z utrymanniam avtomobilnykh dorih (On the approval of the Methodology for determining the amount of funding for the construction, reconstruction, repair and maintenance of highways and standards of costs related to the maintenance of highways): Nakaz vid 21.09.2012 No. 573/1019 / Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy // Verkhovna rada Ukrainy. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1734-12#n180 (data zvernennia 09.09.2024) [in Ukrainian].
2. Postanova kabinetu ministriv Ukrainy. Deiaki pytannia vykorystannia zalyshku koshtiv, vyznachenoho punktom 2 statti 36 Zakonu Ukrainy "Pro Derzhavnyi biudzhet Ukrainy na 2024 rik" (Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine. Some issues of using the balance of funds determined by clause 2 of Article 36 of the Law of Ukraine "On the State Budget of Ukraine for 2024) vid 23.02.2024 No. 199 / Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy // Verkhovna rada Ukrainy. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/199-2024-%D0%BF#Text (data zvernennia 10.09.2024) [in Ukrainian].
3. DSTU 8747:2017 Avtomobilni dorohy. Vydy ta pereliky robit z remontiv ta ekspluatatsiinoho utrymannia (Automobile roads. Types and lists are made of repairs and operational maintenance). Kyiv, 2017. 34 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
4. Raikovskyi V.F. Udoskonalennia metodu rozrakhunku nadiinosti nezhorstkoho dorozhnoho odiahu pry dii navantazhennia (Improvement of the method of calculating the reliability of non-rigid road clothing under load action): avtoref. dys…. kand. tekh. Nauk. Kyiv, 2021. 22 p. [in Ukrainian].
5. Komanda "Velykoho budivnytstva" predstavyla novu rozumnu systemu keruvannia yakistiu dorih E-ROAD (The "Great Construction" team presented a new smart E-ROAD road quality management system). URL: https://lviv-rda.gov.ua/komanda-velykoho-budivnytstva-predstavyla-novu-rozumnu-systemu-keruvannya-yakistyu-dorih-e-road. (data zvernennia 10.09.2024) [in Ukrainian].
6. HDM-4 is a software package and associated documentation which will serve as the primary tool for the analysis, planning, management and appraisal of road maintenance, improvements and investment decisions. URL: https://www.piarc.org/en/PIARC-knowledge-base-Roads-and-Road-Transportation/Road-Safety-Sustainability/Road-Assets-Management/HDM-4-Software (data zvernennia 10.09.2024) [in English].

Sergii Illiash, *Ph.D., https://orcid.org/0000-0002-3001-8012*
Tetiana Stasiuk, *https://orcid.org/0000-0001-5921-4503*

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

REVIEW OF METHODOLOGICAL APPROACHES TO PLANNING MAINTENANCE WORK FOR ROAD NETWORK OPERATIONS

Abstract

Introduction. The development of Ukraine's road network under current conditions is characterized by limited funding for road maintenance. At the same time, determining the scope and list of works based on the actual operational condition of the roads is extremely important, as it significantly affects the safety and comfort of road users, as well as the efficiency of vehicle operation. A standard norm is used to determine the planned scope of work, which is averaged for roads of the corresponding category. This simplifies calculations, but such an approach does not precisely establish the annual planned volumes of maintenance work for a specific section, as it does not consider its actual operational condition. Given the current level of

funding, it is relevant to develop a methodology for determining the planned volumes and lists of maintenance work that is accurate enough, but does not require significant costs for road section inspections.

Problem Statement. The determination of the scope of maintenance work is based on a comprehensive analysis of the road surface condition, forecasted traffic loads, and the allocation of budgetary resources. However, under martial law, the country's priorities have shifted, with the focus on ensuring state defense, providing humanitarian aid, etc. Based on the current trends in the development of Ukraine's road industry, the main task is the rational use of limited financial resources and maintaining roads in proper operational condition.

The standards for the scope of maintenance work are approved in accordance with the Methodology for Determining the Funding for Road Construction, Reconstruction, Repair, and Maintenance (hereinafter — the Methodology) [1] and are averaged across Ukraine. According to this standard, a specific list and volume of works for 1 km of a national category II road is set, which is adjusted by correction coefficients and the length of the corresponding category sections to fit the required network, but does not take into account their actual operational condition. National roads usually have higher traffic intensity compared to local roads. Also, newly repaired roads significantly differ in operational condition from those that have not undergone repair for an extended period. Therefore, establishing a differentiated approach to updating the volumes of maintenance work for national and local roads is extremely important.

Objective. To analyze the effectiveness of applying existing methods for determining the planned scope of road network maintenance work under current conditions.

Materials and Methods. This article is a review. A systematic approach was used, which represents a set of general scientific methodological principles (requirements) based on the consideration of objects as systems.

Results. Analyzing existing methods for determining the scope and lists of road network maintenance work will allow the identification of their main advantages and disadvantages, as well as possible directions for improvement or the introduction of new approaches.

Conclusions. Planning maintenance work under conditions of limited resources is a complex task that requires a comprehensive approach and the use of modern methods and technologies. Proper planning and rational resource use will ensure the effective maintenance of roads and the preservation of their functional characteristics in the future. Considering this, it is advisable to improve the mechanism for determining the planned volumes and lists of maintenance work, while maintaining its simplicity.

Keywords: road, maintenance, scope of work, work list, work planning, operational condition, limited funding, repair work.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.122

УДК 625.7/.8

Гамеляк І. П.[1], *д-р техн. наук, проф., https://orcid.org/0000-0001-9246-7561*
Райковський В. Ф.[2], *канд. техн. наук, https://orcid.org/0000-0002-6391-7647*

[1]*Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна*
[2]*Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна*

КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИВУ

Анотація

Вступ. У цій статті розглядається питання огляду існуючих методів і підходів до оцінювання стану дорожнього покриву та запропоновано методику оцінювання стану дорожнього покриву за допомогою комплексного показника. За цим показником виконують аналізування дефектів і руйнувань дорожнього покриву визначених візуальним методом.

Проблематика. Потреба удосконалення методики оцінювання стану дорожнього покриву (жорсткого, нежорсткого) із розрахування показника за допомогою якого проєктант чи балансоутримувач можуть оцінити стан наявного покриву.

Мета. Інформування фахівців дорожньої галузі з новими тенденціями та розробками у сфері обстеження та оцінювання стану дорожніх покривів автомобільних доріг та аеродромів.

Матеріали і методи. У статті використано напрацювання ДП «НІРІ» (ДП «ДерждорНДІ»), Національного транспортного університету та діючі будівельні норми та стандарти України, матеріали закордонних нормативних документів і технічної літератури щодо оцінювання стану дорожнього покриву.

Висновки. За даними проведеного аналізу запропонована методика розрахунку комплексного коефіцієнта оцінювання стану дорожнього покриву з урахуванням міри його пошкодження, який можна використовувати, як додатковий інструмент для призначення виду ремонтних робіт.

Ключові слова: аеродромний покрив, деформація, дорожній покрив, оцінювання стану, руйнування, ступінь розвитку.

Огляд методу кількісного визначення дефектів і руйнувань дорожнього покриву за параметрами їх протяжності і ступеня розвитку

У більшості країн світу (понад 20) використовують різні типи переліків типів пошкоджень для нежорстких (з асфальтобетонним покривом) і жорстких (із цементобетонним покривом) дорожніх одягів, проте лише в половині із них є однакова класифікація для обох типів покриву. У **табл. 1** представлено перелік пошкоджень 1-ї та 2-ї пріоритетності і рівні, на яких їх збирають (дорожня мережа, окрема дорога) [1 – 10].

У **табл. 1** наведені також кількісні міри пошкоджень, представлені в одиницях [довжина / площа], [% довжини / площі] або в числовому вираженні в межах загальної протяжності ділянки покриву (звичайно 100 м). Вказані одиниці, що найбільш часто використовують для визначення довжини різноманітних типів пошкоджень, як для дорожньої мережі, так і для окремої дороги.

Методи оцінки параметра [% довжини / площі], як правило, пов'язані з його класифікацією. Існує 3 або 4 категорії, наприклад з такими граничними значеннями: < 10 %, 10-50 %, > 50 %. У цих випадках збір інформації виконують пішки або автомобілем при малій швидкості руху.

При візуальних обстеженнях на автомобілі з виликою швидкістю найбільш придатними одиницями є [довжина / площа] або число. За звичай у цих випадках на рівні мережі оцінюють лише значні пошкодження, які часто зустрічаються.

Ступінь пошкодження у більшості країн Європи та Світу диференціюють переважно за 2 або 3 категоріями. Найбільш часті характеристики ступеня пошкодження показані в **табл. 1**. Границі між різними категоріями в межах одного пошкодження неоднакові в різних країнах.

У деяких випадках застосовують ускладнені методи класифікації. Наприклад, у Франції застосовують метод, затверджений місцевою адміністрацією залежно від рівня експлуатації, різних категорій пошкоджень, таких, як просідання, колієутворення, розвиток тріщин тощо.

Таблиця 1

Перелік пошкоджень дорожнього одягу, згідно даних [1-10]

Ч.ч.	Пріоритетність збору даних	Вид пошкодження	Познака рівня оцінки	Познака типу пошкодження	Поширеність 1	Поширеність 2	Параметр оцінки пошкодження
Нежорсткий покрив							
1	1	Місцеві деформації	NP	PTA	% площі	кількість	Глибина
2	1	Вм'ятини	P	A	% площі	кількість	Глибина
3	1	Просідання	P	A	% площі	кількість	Глибина
4	1	Блочні тріщини	NP	LTA			
5	1	Повздовжні тріщини	NP	L	% довжини	довжина	Ширина розкр. + описання
6	1	Поперечні тріщини	NP	T	кількість		Ширина розкр. + описання
7	1	Сітка тріщин "Крокодилова шкіра"	NP	A	% довжини	довжина	Ширина розкр. + описання
8	1	Втрата матеріалу	NP	PLA			
9	1	Вибоїни	NP	P	% довжини	кількість	Діаметр + кількість
10	1	Вивітрювання	P	A	% площі	площа	Рівень пошир.
11	1	Розшарування	P	A	% площі	площа	Рівень пошир.
12	1	Лущення	P	A	% площі	площа	Рівень пошир.
13	1	Місцевий ремонт	NP	A	% довжини	% площі	Рівень пошир.
14	1	Вижимання матер. основи	P	TA	% довжини		
15	1	Випотівання в'яжучого	P	A	% площі		Описання
16	2	Утворення бокових хвиль	P	T	% довжини		Глибина
17	2	Утворення поперечних хвиль	P	T	% довжини	% площі	Глибина
18	2	Тріщини від втоми	NP	L	% довжини	довжина	Ширина розкр. + описання
19	2	Обламування кромки	NP	L	% довжини	довжина	Ширина розкр. + описання

Кінець таблиці 1

Ч.ч.	Пріоритетність збору даних	Вид пошкодження	Познака рівня оцінки	Познака типу пошкодження	Поширеність 1	Поширеність 2	Параметр оцінки пошкодження
20	2	Тріщини біля стиків (поздовжні)	NP	L	% довжини	довжина	Ширина розкр. + описання
21	2	Відображені тріщини	NP	T	% довжини	кількість	Ширина розкр. + описання
22	2	Тріщини біля стиків (поперечні)	P	T	% довжини	кількість	Ширина розкр. + описання
23	2	Стирання	P	L	% площі		
24	2	Колійність	NP	L	% довжини	довжина	Середня глибина
Жорсткий покрив							
1	1	Обламування кутів	P	P	% площі		Рівень пошир.
2	1	Група тріщин	NP	LTA			
3	1	Повздовжні тріщини	NP	L	% довжини		Ширина розкр. + описання
4	1	Поперечні тріщини	NP	T	кількість		Ширина розкр. + описання
5	1	Місцевий ремонт	NP	A	% довжини		Рівень пошир.
6	1	Розмивання	P	T	% довжини		Описання
7	1	Лущення	P	A	% площі		Рівень пошир.
8	1	Пошкодження заповнювача шва	P	T	% довжини		Описання
9	1	Сколювання (викришування) стиків	P	T	% довжини		Описання
10	2	Здимання	P	A	% площі		
11	2	Діагональні тріщини	NP	A	% довжини		Ширина розкр. + описання
12	2	Тріщини від усадки	P	A	% площі		Ширина
13	2	Проломи	P	A	% площі		Глибина
14	2	Ступінчасте просідання	NP	T	% довжини		
15	2	Сколювання кромок	P	L	% довжини		Глибина

Примітки: Рівень оцінки: N – мережа, P – окрема дорога. Тип пошкодження: P – точка, T – поперечне, L – повздовжнє, A – площа. Розмірність: площа в ($м^2$), довжина в (м). Параметри оцінки пошкодження: глибина, ширина або діаметр в (мм).

Оцінювання покриву за допомогою комбінованого показника

У багатьох країнах використовують комбіновані показники для представлення результатів візуальних обстежень покривів. Можливі декілька методів для обчислення цих показників: середнє значення, середньозважений показник, категорія (без обмеження кінцевої величини), виведення значення.

Середнє значення використовують головним чином для оцінювання однієї і тієї ж категорії пошкодження, наприклад тріщин, виявлених візуально (метод, який застосовується в Іспанії).

У деяких методах використовують ***середньозважені показники***, де структурні пошкодження набувають, як правило, головної значимості внаслідок їхнього сильного впливу на залишковий строк служби (довговічність). Для осереднення приймають інтенсивність руху або категорію дороги. Чим вища категорія, тим більший коефіцієнт зваженого фактора. Деякі приклади наведені нижче:

p_i — коефіцієнт вагомості при пошкодженні типу I;

e_i — пошкодженість типу I;

s_i — ступінь пошкодження типу I.

В Угорщині застосовують такий показник середньозваженої величини:

$$Index = f(p_i e_i s_i). \quad (1)$$

Одержані з формули значення використають найбільш часто.

У Швеції використовують глобальний показник (явного пошкодження покриву):

$$Index = 5 - f(p_i e_i s_i)/10. \quad (2)$$

У Бельгії візуальний показник V:

$$V = V_{max} - f(p_i e_i). \quad (3)$$

Показники на основі середньозваженої величини або виведені формули звичайно застосовуються в методах, де міра пошкоджень виражена у відсотках % від довжини / площі.

Наступна за важливістю характеристика — це *категорія*, в якій значення кінцевої величини не обмежується, а нуль означає відсутність пошкодження. Це робить можливим неперервну класифікацію. Точки накопичуються зокрема для різних типів пошкодження. Цей тип показника використовують здебільшого в методах, де довжина пошкоджень виражається в одиницях довжини, площі або числом.

Автоматизований збір даних про пошкодження покриву

Згідно анкетного опитування встановлено, що в більшості країн використовують наступні типи збирання та оброблення інформації:

— візуальне збирання відомостей і ручне оброблення оператором;

— збирання характеристик (на рівні зображення) і їх ручне оброблення оператором;

— збирання характеристик (на рівні зображення) і напівавтоматизоване оброблення з участю оператора;

— автоматизоване збирання даних (на рівні зображення) і їх автоматичне оброблення.

Автоматизоване збирання даних переважно застосовують при аналізуванні таких пошкоджень, як тріщиноутворення, втрата матеріалу, випотівання в'яжучого. Деформації покриву, як правило, вимірюють і обробляють датчиками.

Мета автоматизованих методів — замінити оператора при ідентифікації та кількісному визначенні різних типів пошкоджень. Заміна оператора доцільна під час безперервного оброблення інформації, ідентифікації розміру пошкоджень і способу представлення результатів (починаючи з точного вимальовування рисунку кожного індивідуального пошкодження до вирахування загального показника, який узагальнює усі пошкодження). Неоднакові цілі призводять до різних концепцій при розроблені систем і відмінностей в їх ефективності (ідентифіковані типи пошкоджень, точність, продуктивність тощо).

За результатами аналізу наявних автоматизованих систем збору даних виділено наступні 11, найбільш поширених автоматичних або напівавтоматичних систем, в які включена частина аналізування зображення:

1. Канада: Дорожня Корпорація, WISECRAX
2. Франція: Середземноморське CETE, MACADAM
3. Франція: Нові технології
4. Японія: Nichireki
5. Японія: PASCO
6. Швеція: RST, система PAVUE
7. Швейцарія: IMAC, Федеральний Політехнічний інститут у Лозанні, CREHOS
8. Великобританія: Бірмінгемський Університет
9. США: Університет штату Огайо
10. США: Асоціація MHM, ARIA
11. США: Дорожник PCES

За результатами аналізу можна зробити такі узагальнення.

Одержання зображення

Спосіб фіксування зображення. Три системи (відео, цифрова) фіксують зображення перервним засобом. Вісім інших систем збирають неперервне зображення дорожнього покриву.

Експлуатаційні умови. Для денного використання є 5 систем (відео). Три системи збирають зображення в нічний час при додатковому освітленні на плівці 35 мм. При додатковому освітленні в денний або нічній час можуть використовуватись 3 відео- або цифрові системи.

Робочі швидкості. Більшість транспортних засобів має робочі швидкості від 60 км/год до 90 км/год. Дві відео системи, функціонують із швидкістю — приблизно 50 км/год.

Діапазон зйомки. Практично всі системи можуть робити зйомку по меншій мірі однієї смуги руху. Багато систем охоплюють смугу шириною до 4,5 м, а одна до 4,8 м.

Підтримка зображення. У трьох системах використовують плівку 35 мм, у 6 — відео, одна з яких поєднується з ультразвуковими датчиками, ще одна з лазерами, одна система використовує цифрове зображення і одна є лазерною. Останні дві системи фактично не збирають зображення.

***Оброблення зображення*,** як правило, виконують в офісі (9 систем) [11 – 18]. Дві системи розроблені для часткового оброблення безпосередньо на місці, дві системи — без фактичної реєстрації зображення для оброблення всіх даних У реальному часі за наступними параметрами:

Довжина покриву. Неперервний процес відомий у 9 випадках. У двох інших системах виконується перервна зйомка зображення.

Типи покривів. Усі системи розроблені для обстеження асфальтобетонних покривів. 9 із цих систем розраховані для обстеження як асфальтобетонних, так і цементобетонних покривів, 2 системи ще не пристосовані для обстеження цементобетонних покривів.

Ідентифікація об’єкта. Шість систем здатні виявляти об'єкти або форму покриву. Тільки 3 системи з 11 можуть ідентифікувати і правильно розпізнавати елементи розмітки.

Ідентифікація типів пошкоджень. Усі системи мають можливість ідентифікації одиночних тріщин і сітки тріщин типу «крокодилова шкіра». Мінімальна ширина розкриття тріщини складає: 1 мм у 5 системах, 2 мм — у 3 системах і 3 мм — у 2 системах.

Форма представлення даних. Приблизно половина систем (5) має багатократні формати для представлення даних, включаючи графіки, показники, таблиці або гістограми. Найбільш часто дані видаються у формі – розрахованих показників (9 систем), графіків (8 систем), після цього — таблиць і гістограм (6 систем).

Методи оброблення. В усіх системах для обчислення використовують різні алгоритми, без опису. 6 систем застосовують методи розпізнання образів, що є класичним інструментом для аналізування зображення. В одній системі використовують пам’ять, яка базується на експертній оцінці, а в інший використовують — голографічний метод відображення.

Швидкість оброблення знаходиться в дуже широкому діапазоні — від 8 км/добу до 800 км/добу. Самі швидкісні системи звичайно використовують перервну обробку при швидкості 24 км/добу. За винятком критичних випадків, коли швидкість оброблення коливається від 30 км/добу до 100 км/добу.

Уніфікація підходу до візуальної оцінки стану покриву

У теперішній час активно проводять роботи з узгодження автоматизованих методів і результатів отримання даних про стан доріг. Дані, отримані на основі оброблення відеозображень, забезпечують кращу якість результатів, ніж традиційне візуальне оцінювання.

Найбільш часто всі дефекти диференціюють за типами дорожнього одягу:

— нежорсткий та напівжорсткий;

— жорсткий.

Типи можуть мати підтипи. Наприклад, для нежорсткого дорожнього одягу поряд з традиційним покривом із щільного асфальтобетону можна віднести просочування щебеню, асфальтобетон пористий чи перервного зернового складу тощо. Дефекти таких покривів досить подібні до пошкоджень асфальтобетону. Таке узагальнення значно спрощує порядок контролю і, вважається, запорукою відтворюваності результатів.

Класифікація типів дефектів поверхні покривів складається з 4-х головних груп:

— група тріщин (6 типів для нежорстких і 5 – для жорстких дорожніх одягів);

— пошкодження і деформації (5 типів для нежорстких і 4 для жорстких дорожніх одягів);

— дефекти поверхні (3 типи для нежорстких і 3 для жорстких дорожніх одягів);

— дефекти стиків (швів) і кромок (2 типи для нежорстких і 4 для жорстких дорожніх одягів).

Рівні деталізації

Точність оцінки стану покриву змінюється від більш детальної до загальної:

— довжина, ширина, глибина, шаблон (pattern) чи форма, тип, місцезнаходження (оцінюють індивідуально);

— діапазон, частота появи, ступінь пошкодження, тип, місцезнаходження (оцінюють індивідуально);

— універсальний показник ступеня розвитку пошкоджень для кожного типу пошкоджень;

— універсальний показник для кожного типу пошкоджень (без встановлення ступеня розвитку пошкоджень);

— шкала (дискретні діапазони універсального показника);

— загальний об'єднаний показник.

Кожен тип чи група дефектів повинна мати свій рівень деталізації.

Розмірність пошкоджень

Величину поширення пошкоджень можна приймати як для дороги (ділянки дороги), так і для характерних секцій на які попередньо розділена дорога (чи ділянка). Одиниці розмірності приймають: довжина [м], область/площа руйнування [м^2], ширина і глибина [мм] (в основному для більш детальних рівнів).

З практичної точки зору більше значення мають відносні пропорції пошкодження поверхні дорожнього покриву:

— відношення площі покриву з дефектами до загальної площі секції чи ділянки дороги [% площі];

— відношення довжини пошкоджень (коли розглядають пошкодження кромки чи дефекти швів стиків) до загальної довжини елементів [% довжини].

Таке відносне представлення кількості пошкоджень дає чітку уяву про ступінь деградації секції чи ділянки дороги.

Ступінь пошкоджень

Деякі типи дефектів оцінюють за їхнім ступенем розвитку. Для цього використовують такі поняття як класи ступеня пошкодження, границі класів і показники ступеня пошкодження (рівня дефектності).

Пропонується 3 класи ступеня пошкодження для візуальної оцінки: низький, помірний та високий.

Границі між класами дозволяють виразити візуальну оцінку цифрою — показником ступеня пошкодження. Якщо показник ступеня пошкодження ≥ 1, то це вказує на те, що клас ступеня пошкодження даного дефекту «високий», його подальший розвиток недопустимий і покрив потребує термінового ремонту. Єдиної точки зору між державами щодо границь класів поки що не досягнуто.

Методи оцінки пошкоджень

Пропонується 3 рівні деталізації під час виконанні обстежень. Основна відмінність між рівнями — мета візуального обстеження.

Рівень I — дослідницький. Найбільш детальні обстеження, які виконуються автоматизованим або спеціальним способом і дають кількісні результати з досить високою точністю. Визначають розміри (довжину, ширину, глибину, площу) окремих індивідуальних пошкоджень.

Рівень II — проєктний. Обстеження виконують автоматизовано або іншим способом. Оцінюють розміри (довжину, ширину, глибину, площу) окремих об'єднаних пошкоджень. Результати обстеження мають достатню точність для планування утримання дороги.

Рівень III — відноситься до мережі доріг. Обстеження виконують автоматизовано або з кабіни автомобіля на малій швидкості. Оцінюють пропорції (% довжини чи площі) і ступеня пошкодження типів дефектів. Результати обстеження придатні для оцінювання стану мережі доріг. На цьому рівні принципово важливим є встановлення типів дефектів для можливості аналізувати різні плани (стратегу ремонтів).

Інтелектуальний моніторинг та оцінювання стану дорожнього та аеродромного покриву

Для оцінювання стану покриву конкретної злітно-посадкової смуги, як правило, немає достатньо часу, оскільки роботи потрібно виконати між посадкою і злетом літака. дуже обмежений. Тому розробляються інтелектуальні системи моніторінгу, які ретельно відстежують та надають інформацію про стан покриву, який піддається повторним навантаженням транспорту та / або екологічним / кліматичним чинникам, без необхідності закривати злітно-посадкову смугу / руліжну доріжку.

Останні досягнення в технологіях інтелектуального зондування включають: технології мікроелектромеханічного датчика (MEMS), наноелектромеханічного датчика (NEMS) і оптоволоконного датчика для оцінювання часток на покритті внаслідок руйнувань (FOS). У поєднанні з бездротовими сенсорними мережами та ефективними підходами споживання енергії за рахунок сонячних батарей вони надають можливості для тривалого, безперервного вимірювання реакції на навантаження в режимі реального часу та моніторингу стану аеродромного покриву в аеропортах.

Традиційні підходи до зондування та моніторингу стану з використанням дротових датчиків використовували для відстеження реакції покриву на навантаження навколишнього середовища та транспорту, включаючи температуру, вологість, деформацію, напругу, прогин тощо. Однак протягом останніх двадцяти п'яти років дослідження та проєкти в яких залучали традиційні дротові датчики повідомили про декілька недоліків використання цих систем, таких як потреба у високій щільності масиву, пошкодження дротів, висока вартість і час встановлення, низька живучість дротових датчиків для тривалої роботи тощо.

Концепція, яка лежить в основі створення «розумної» конструктивної системи, полягає у впровадженні в систему технологій зондування/приведення в дію, щоб повідомляти про реакцію конструкції в режимі реального часу на зовнішні сили, таким чином забезпечуючи краще розуміння поведінки конструкції та несної здатності на постійній основі. Інтелектуальні системи моніторингу стану покриву дозволяють у режимі реального часу безперервно контролювати зміни зовнішнього та внутрішнього стану конструкції та реагувати на ці зміни без втручання людини.

Попередні основні дослідження датчиків MEMS/NEMS для моніторингу покривів включають «Smart Pebbles», «Smart Dust», датчики MEMS, здатні вимірювати температуру та вологість у

середині бетону, а в останні роки запропоновано «розумну систему моніторингу покривів» та «самопідтримуваний датчик виявлення пошкоджень» [19 – 22].

Подібним чином FOS є ще однією багатообіцяючою технологією інтелектуального зондування для моніторингу стану покривів в аеропортах. Волоконно-оптичний датчик може контролювати умови навколишнього середовища або передавати дані за допомогою оптоволоконного зв'язку, який модулює світловий промінь у волокні. Загалом волоконно-оптичні датчики мають невеликий розмір і вагу і можуть використовуватися у вибухонебезпечних і корозійних середовищах. Вони також можуть бути використані для забезпечення розподіленого зондування вздовж оптичного волокна. Теоретично можна виміряти сотні місць уздовж волокна довжиною лише один метр. Крім того, волоконно-оптичні датчики можна використовувати для вимірювання деформації, температури, вологості, pH тощо.

Дані у **табл. 2** і **табл. 3** підсумовують деякі сфери моніторингу стану автомобільних доріг, де були застосовані технології in-situ / вбудованого інтелектуального зондування (MEMS, NEMS, FOS тощо) з потенційною можливістю подальшого використання цих систем для моніторингу стану покриву в аеропорту.

Таблиця 2

Порівняння можливих застосувань для моніторингу стану асфальтобетонних (АС) покривів в аеропортах на основі інтелектуального датчика

Ч.ч.	Область застосування для асфальтобетонного покриву	Технологія інтелектуального зондування на місці
1	Деформація розтягування; втомне розтріскування	Бездротовий датчик з автономним живленням: п'єзоелектричний перетворювач з набором обчислювальних схем з плаваючим затвором з наднизьким енергоспоживанням
2	3D розподіл деформації: вертикальна та стискаюча деформація	Армований волокном полімер (FRP) — волоконно-оптична решітка Брегга (OFBG)
3	Деформація розтягування; втомне розтріскування	Розподілений волоконно-оптичний датчик (FOS) на основі релеєвського зондування
4	Вертикальний тиск; утворення колії	FBG
5	Деформації в холодному регенерованому покриві (CIRP)	FOS
6	Старіння асфальтобетонного покриву в польових умовах	Хімічний датчик
7	Деформація / напруження / температура	Бездротові MEMS-сенсори з автономним живленням: Зарядний пристрій Фарадея

Таблиця 3

Порівняння застосувань інтелектуального зондування для моніторингу стану цементобетонних (PCC) покривів в аеропортах

Ч.ч.	Область застосування для цементобетонного покриву	Технологія інтелектуального зондування на місці
1	Розтріскування в ультратонких незв'язаних бетонних покривах	Скло FRP-OFBG
2	Вміст води в бетонних матеріалах	бездротовий, пасивний вбудований датчик
3	Деформації, напруження та пошкодження в бетоні	Датчик деформації на основі цементу (CBSS)
4	Напруження і деформація	Магнітний мікропровід, вбудований в композит на основі цементу (MMCC)

Кінець таблиці 3

Ч.ч.	Область застосування для цементобетонного покриву	Технологія інтелектуального зондування на місці
5	Ширина тріщин	Мідні дроти з емальованою плівкою з різними граничними деформаціями
6	Моніторинг просочування води	Інтелектуальний агрегатний датчик на основі п'єзокераміки
7	Температура	Температурна мітка з радіочастотною ідентифікацією (RFID)
8	Вимірювання деформацій, напружень і пошкоджень	Цементні композити, що містять графітові наночастинки (GNP)

Розрахунок загальних показників

Для деяких спеціальних задач (встановлення пріоритетності, ранжування) розраховують комбіновані показники стану покриву, як, наприклад, індекс стану покриву (PCI) [14-18]. Таких показників відомо досить багато, оскільки багато дорожніх адміністрацій мають власні розробки.

Однак метод розрахунку узагальнених показників має другорядне значення поряд з якісно наповненою базою даних на основі якої ці показники обчислюють.

Безрозмірні показники мають перевагу при візуальному обстеженні мережі доріг. Патерсоном ще у 1994 р. було запропоновано універсальний показник розтріскування CI для групи тріщин [11]:

$$CI = \text{поширення} \cdot \text{інтенсивність} \cdot \text{ширина розкриття тріщин} =$$
$$= (\text{пошкоджена площа} / \text{загальна площа}) \cdot (\text{довжина тріщин} / \text{пошкоджена площа}) \cdot \text{ширина розкриття тріщин} = (\text{довжина тріщин} \cdot \text{ширина розкриття тріщин}) / \text{загальна площа} =$$
$$= \text{площа розкриття тріщин} / \text{загальна площа}$$

Універсальний показник пошкодження:

- для груп «Дефекти і деформації» і «Пошкодження покриву» (див. **табл. 2**):
  DI_1 = (площа пошкодження/загальна площа) · 100, %;
- для групи «Стики, шви чи кромки»:
  DI_2 = (довжина пошкодження/загальна довжина) · 100, %.

Універсальний показник пошкодження може приймати до уваги показник ступеня пошкодження сумуючи вагомості заміряних чи оцінених пошкоджень:

- для груп «Дефекти і деформації» і «Пошкодження покриву»:
  DI_{1S} = ½ · Низький % площі + 1 · Середній % площі + 2 · Високий % площі;
- для групи "Стики, шви чи кромки":
  DI_{2S} = ½ · Низький % довжини + 1 · Середній % довжини + 2 · Високий % довжини.

Такі показники придатні як для «ручної», так і автоматизованої оцінки стану покриву.

Комплексний коефіцієнт оцінювання стану дорожнього покриву за даними візуального обстеження України

Визначення ступеня пошкодження конструкції дорожнього одягу в Україні виконують відповідності до ДСТУ 8954:2019 [8], однак в цьому документі відсутнє поняття — комплексна оцінка стану поверхні покриву.

Відповідно з вимогами ДСТУ 8954:2019 у наявному на сьогоднішній день аналітичному комплексі (СУСП) Система управління станом дорожнього покриву наведена форма збору даних про руйнування поверхні дорожнього одягу (**табл. 4**) та на **рис. 1**. Приклад результатів візуального обстеження руйнувань.

Таблиця 4

Форма збору даних про руйнування поверхні дорожнього одягу

Код дороги (міжнародний):

Код дороги (місцевий): **М-14**

Назва дороги: **Одеса - Мелітополь - Новоазовськ (на м. Таганрог)**

Господарство: **Служба автомобільних доріг у Одеській області**

Від		До		Тип руйнування конструкції	Міра ураження ділянки і протяжність в % від довжини ділянки			Дата отримання даних
км	+ (м)	км	+ (м)		Рівень 1	Рівень 2	Рівень 3	
A	B	C	D	E	F	G	H	I
17	0	18	0	2	2	2	0	28.08.2024
17	0	18	0	6	18	18	18	28.08.2024
17	0	18	0	7	0	2	2	28.08.2024
17	0	18	0	11	0	4	4	28.08.2024
17	0	18	0	12	0	8	8	28.08.2024
17	0	18	0	13	0	6	6	28.08.2024
18	0	19	0	2	2	2	2	28.08.2024
18	0	19	0	6	18	18	18	28.08.2024
18	0	19	0	7	0	1	1	28.08.2024
18	0	19	0	11	0	4	6	28.08.2024

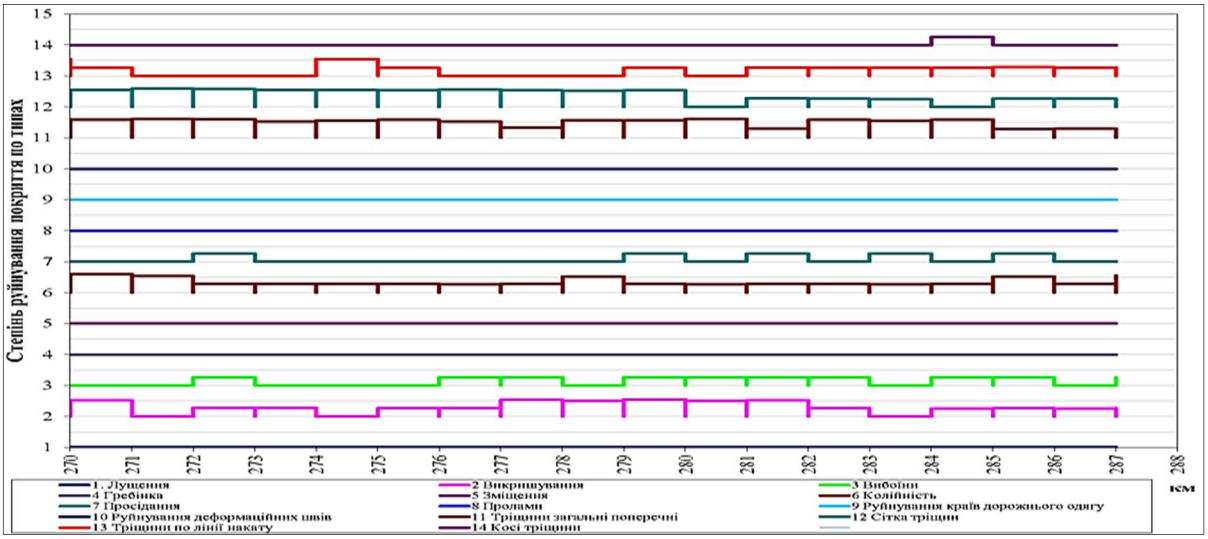


Рисунок 1 — Приклад результатів візуального обстеження дорожнього покриву М-14 Одеса – Мелітополь – Новоазовськ (на м. Таганрог), км 270 – 287

Оцінювання ступеня пошкодження дорожнього покриву ділянки автомобільної дороги пропонується виконувати за такою формулою (1) на основі даних СУСП за даними обстежень [7]:

$$К_{стан} = \sum_{i=1}^{i} \begin{pmatrix} 1 \text{ рівень дефектності } \sum_{i=1}^{i} D_i \cdot \frac{0{,}25}{100} \\ 2 \text{ рівень дефектності } \sum_{i=1}^{i} D_i \cdot \frac{0{,}25}{100} + 0{,}25 \\ 3 \text{ рівень дефектності } \sum_{i=1}^{i} D_i \cdot \frac{0{,}5}{100} + 0{,}5 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

де D_i — відсоток руйнування за і-м видом руйнування для кожного рівня ступеня пошкодження дорожнього покриву, визначений візуальним методом відповідно до ДСТУ 8954;

$K_{стан}$ — комплексна оцінка ступеня пошкодження дорожнього покриву, для 1 км автомобільної дороги.

За результатами розрахунків за формулою (4) на **рис. 2** та **табл. 5** наведено приклад аналізу даних для окремих ділянок автомобільної дороги М-14.

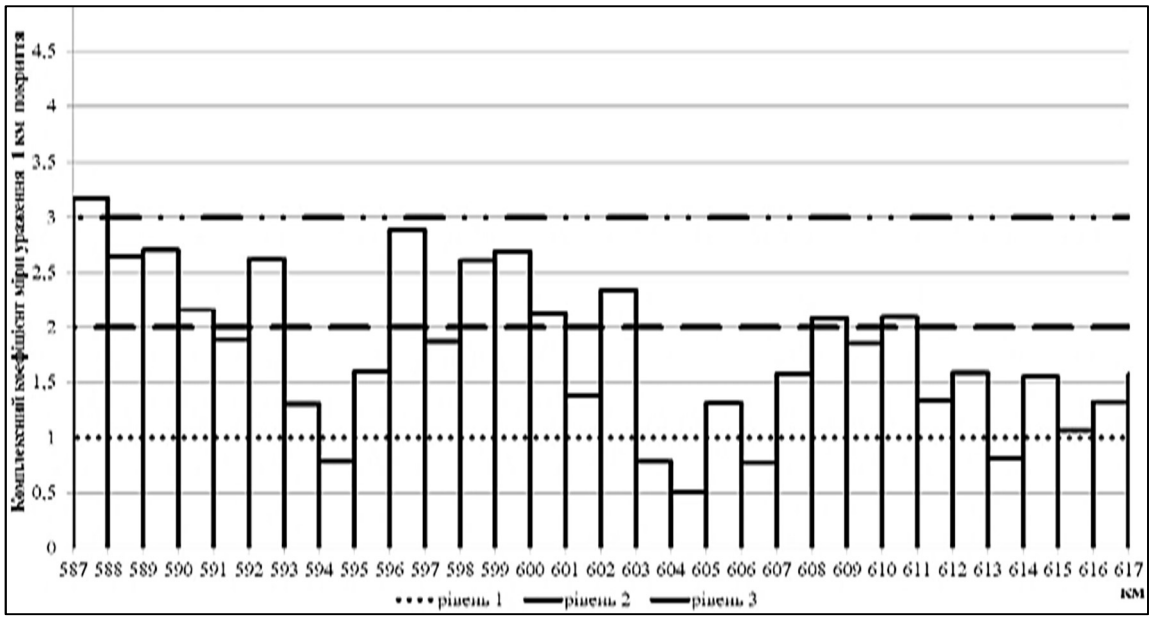


Рисунок 2 — Результати розрахунку оцінки стану дорожнього покриву

Таблиця 5

Комплексна оцінка руйнування дорожнього одягу

Від		До		Комплексна оцінка стану покриву	Дата отримання даних
км	+ (м)	км	+ (м)		
A	B	C	D	E	I
17	0	18	0	2,035	
17	0	18	0	3,190	
17	0	18	0	3,245	
			….	…	…

На **рис. 3** наведено аналіз ділянки автомобільної дороги М-14 Одеса − Мелітополь − Новоазовськ (на м. Таганрог) на ділянці км 260+000 – км 460+000 за показником комплексної оцінки покриву та нерівністю дорожнього покриву за міжнародним індексом нерівності IRI за даними 2017 року.

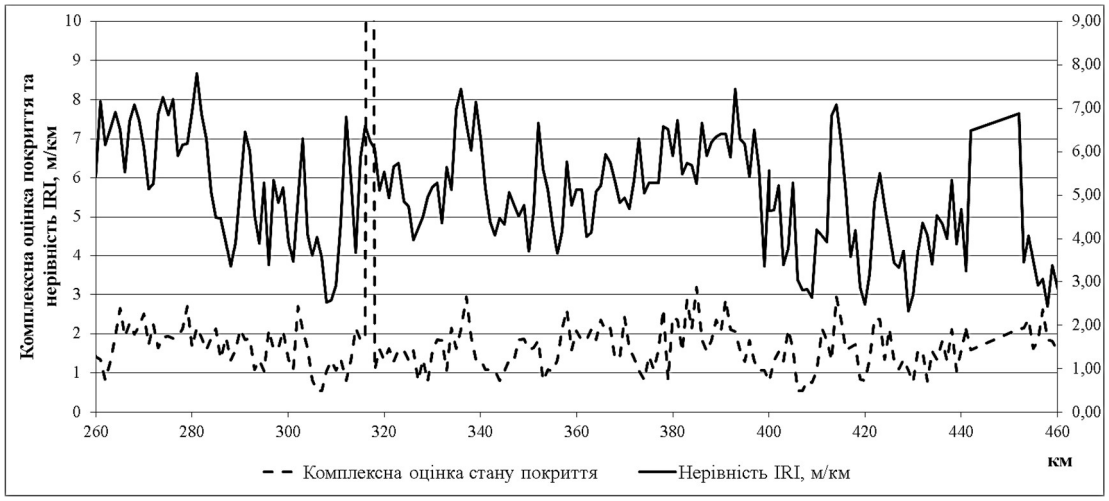


Рисунок 3 — Порівняльний аналіз ділянки автомобільної дороги М-14 за показником комплексного коефіцієнта стану покриву та нерівністю дорожнього покриву за міжнародним індексом нерівності IRI

За результатами аналізу наведених на **рис. 3** для усіх отриманих значень зміну нерівності від комплексної оцінки можна апроксимувати степеневою залежністю за формулою (5).

$$IRI = 0{,}7483 \cdot K_{стан}^{0{,}6032}, \quad (5)$$

де $K_{стан}$ — комплексна оцінка ступеня пошкодження дорожнього покриву.

Однак, з **рис. 4** слідує, що доцільно виділити зону (між червоними прямими на **рис. 4**), де залежність між нерівністю та комплексною оцінкою може бути уточнена.

Також за результатами аналізу даних по всій протяжності автомобільної дороги М-14 Одеса − Мелітополь − Новоазовськ (на м. Таганрог) в межах Одеської, Миколаївської, Запорізької та Донецької областей (загальною протяжністю 618 км) встановлено достатньо тісну залежність міжнародного індексу нерівності IRI від загального модуля пружності (**рис. 5**).



Рисунок 4 — Залежність міжнародного індексу нерівності IRI з комплексним коефіцієнтом стану покриву

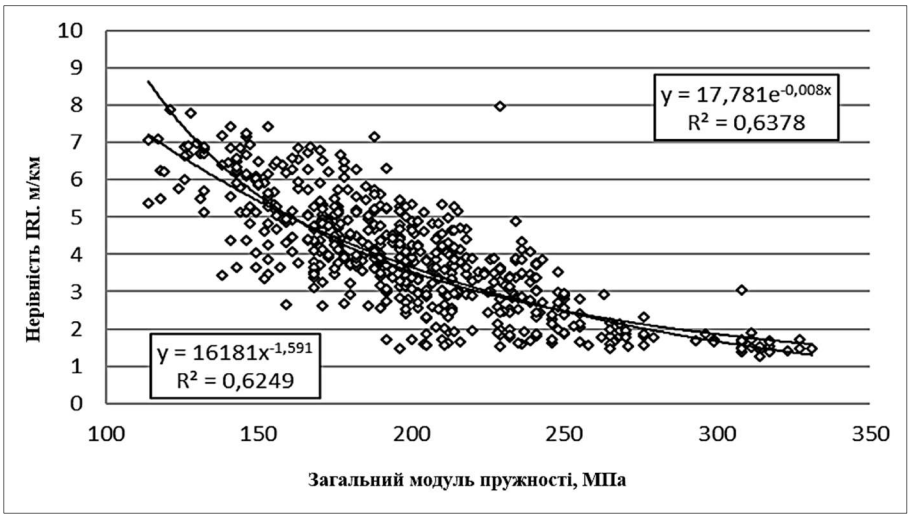


Рисунок 5 — Залежність міжнародного індексу нерівності IRI від загального модуля пружності

Висновки

На основі аналізу сучасного стану збору даних про пошкодження дорожнього покриву можна зробити такі висновки:

1. Візуальний збір даних: Широко відомий метод, який використовують як в Україні, так і в країнах Європи. Наразі набувають популярності системи автоматичного збтрання та оброблення дефектів і руйнувань дорожнього покриву, що значно полегшує процес діагностування та прийняття інженерних рішень щодо ремонтних заходів. Значний прогрес досягнуто завдяки використанню нейронних мереж та оброблення спектральних зображень, а також вивчення важливості та результатів використання різних формул для обчислення загальних показників ступеня пошкодження дорожнього покриву.
2. Автоматизовані системи: Наразі автоматизовані системи знаходяться на стадії розроблення та вдосконалення алгоритмів. У цьому процесі беруть участь дві групи дослідників: оперативна група, яка займається практичними системами обстеження та попереднього оброблення польових даних, і аналітична група, яка займається обробленням та аналізуванням зображень. Обидві групи повинні чітко дотримуватися рекомендацій щодо кількісного визначення ступеня пошкоджень, аналізу та формування звітів.
3. Методика оцінювання стану покриття: На основі проведених досліджень запропоновано методику розрахунку комплексного коефіцієнта оцінювання стану дорожнього покриву з урахуванням ступеня його пошкодження, яка може використовуватися як додатковий інструмент для визначення виду ремонтних робіт. У подальшому для кожного типу руйнувань і ступеня їхнього розвитку доцільно встановити коефіцієнти впливу на зміну рівності та несної здатності покриття.

Останніми роками спостерігається перехід до методів і засобів із використанням перетворювачів або ультразвукового контролю до постійних систем моніторингу стану з автоматизованими інструментами оброблення зображень із використанням штучного інтелекту.

Публікація підготовлена на основі матеріалів, отриманих у рамках проєкту 2023.04/0097 «Створення технології та системи оперативного аналізу та управління станом цементобетонного покриття об’єктів критичної інфраструктури на основі спектральних фотоінформаційних зображень», що фінансується Національним фондом досліджень України.

Список літератури

1. Pavement management system. Report prepared by an OECD scientific expert group. Paris. 1987. 159 p.
2. Praticò, Filippo G., Paolo G. Briante, and Clara Celauro. Modelling pavement surface characteristics for noise prediction through Bailey-related indicators. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 14.2 (2021). P. 222–231.
3. Matlack, Glenn R., et al. Measuring surface texture of in-service asphalt pavement: Evaluation of two proposed hand-portable methods. *Road Materials and Pavement Design*. 24.2 (2023). P. 592–608.
4. Underwood, B. Shane, Y. Richard Kim, and J. Corley-Lay. Assessment of use of automated distress survey methods for network-level pavement management. *Journal of performance of constructed facilities.* 25.3 (2011). P. 250–258.
5. White, Greg, et al. Developing a framework for diagnosis of shear distress in asphalt surfaces. *International Journal of Pavement Engineering*. 18.12 (2017). P. 1039–1051.
6. Gulyas A. Surface Distress Assessment / *Routes & Report*. 1991, 1. No. 301, P.15–30.
7. Райковський В.Ф,. Удосконалення методу розрахунку надійності нежорсткого дорожнього одягу при дії навантаження. Автореф. дис. … канд. техн. наук. Київ, 2021. 24 с.
8. Обстеження пошкоджень. Керівництво процедурами Візіроад /Ingeroute, Viziroad Proc V3A (rus), 23 p.
9. ДСТУ 8954:2019 Автомобільні дороги. Оцінювання рівня дефектності дорожнього одягу. Київ, 2019 . 52 с. (Інформація та документація)
10. PIARC World Road Association, Surface Characteristics, Report of the Commitee. XXth World Road Congress. Ref.PIARC 20.01.B, Montreal, 1995, 102 p.
11. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). *Deep learning*. Nature. 521(7553). P. 436–444.
12. Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. Communications of the ACM. 60(6). P. 84–90.
13. Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2008). Digital Image Processing (3rd ed.). Pearson Education.
14. Shahin, M. Y. (2005). Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots. Springer.
15. AASHTO (1993). Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials.
16. Al-Omari, B., & Darter, M. I. (1994). Relationships Between International Roughness Index and Present Serviceability Rating. *Transportation Research Record*. 1435. P. 130–136.
17. Miller, J. S., & Bellinger, W. Y. (2003). Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program (Fourth Revised Edition). Federal Highway Administration.
18. Shahin, M. Y., & Kohn, S. D. (1981). Pavement maintenance management for roads and streets using the pavement condition index. Construction Engineering Research Laboratory.
19. Ceylan, H et al. (2013). Highway Infrastructure Health Monitoring Using Micro-Electromechanical Sensors and Systems (MEMS). *Journal of Civil Engineering and Management*. Vol. 19, Issue 1. P. 188–201.
20. Zhou, Z et al. (2012). Optical fiber Bragg grating sensor assembly for 3D strain monitoring and its case study in highway pavement. *Mechanical Systems and Signal Processing*. Vol. 28. P. 36–49.
21. Zhou, D et al. (2014). Feasibility of water seepage monitoring in concrete with embedded smart aggregates by P-wave travel time measurement. *Smart Materials and Structures*. Vol. 23. No. 6.
22. Zhang, B et al. (2014). Crack width monitoring of concrete structures based on smart film. *Smart Materials and Structures*. Vol. 23. No. 4.

References

1. Pavement management system. Report prepared by an OECD scientific expert group. Paris. 1987. 159 p. [in English].

2. Praticò, Filippo G., Paolo G. Briante, and Clara Celauro. Modelling pavement surface characteristics for noise prediction through Bailey-related indicators. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 14.2 (2021). P. 222–231 [in English].

3. Matlack, Glenn R., et al. Measuring surface texture of in-service asphalt pavement: Evaluation of two proposed hand-portable methods. *Road Materials and Pavement Design*. 24.2 (2023). P. 592–608 [in English].

4. Underwood, B. Shane, Y. Richard Kim, and J. Corley-Lay. Assessment of use of automated distress survey methods for network-level pavement management. *Journal of performance of constructed facilities*. 25.3 (2011). P. 250–258 [in English].

5. White, Greg, et al. Developing a framework for diagnosis of shear distress in asphalt surfaces. *International Journal of Pavement Engineering*. 18.12 (2017). P. 1039–1051 [in English].

6. Gulyas A. Surface Distress Assessment / *Routes & Report*, 1991, 1. No. 301, P. 15–30.

7. Raikovskyi V.F,. Udoskonalennia metodu rozrakhunku nadiinosti nezhorstkoho dorozhnoho odiahu pry dii navantazhennia (Improvement of the method of calculating the reliability of non-rigid road clothing under load). Avtoref. dys. … kand. tekhn. nauk. Kyiv, 2021. 24 p. [in Ukrainian].

8. Obstezhennia poshkodzhen. Kerivnytstvo protseduramy Viziroad (Inspection of damages. Guide to Viziroad /Ingeroute procedures) /Ingeroute, Viziroad Proc V3A (rus), 23 p. [in Ukrainian].

9. DSTU 8954:2019 Avtomobilni dorohy. Otsiniuvannia rivnia defektnosti dorozhnoho odiahu. Roads. Evaluation of the level of defectiveness of road clothing [in Ukrainian].

10. PIARC World Road Association, Surface Characteristics, Report of the Commitee. XXth World Road Congress. Ref.PIARC 20.01.B, Montreal, 1995, 102 p. [in English].

11. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. Nature. 521(7553). P. 436–444.

12. Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. Communications of the ACM. 60(6). P. 84–90. [in English].

13. Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2008). Digital Image Processing (3rd ed.). Pearson Education [in English].

14. Shahin, M. Y. (2005). Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots. *Springer* [in English].

15. AASHTO (1993). Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials [in English].

16. Al-Omari, B., & Darter, M. I. (1994). Relationships Between International Roughness Index and Present Serviceability Rating. *Transportation Research Record*. 1435. P. 130–136 [in English].

17. Miller, J. S., & Bellinger, W. Y. (2003). Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program (Fourth Revised Edition). Federal Highway Administration [in English].

18. Shahin, M. Y., & Kohn, S. D. (1981). Pavement maintenance management for roads and streets using the pavement condition index. Construction Engineering Research Laboratory [in English].

19. Ceylan, H et al. (2013). Highway Infrastructure Health Monitoring Using Micro-Electromechanical Sensors and Systems (MEMS). *Journal of Civil Engineering and Management*. Vol. 19, Issue 1. P. 188–201 [in English].

20. Zhou, Z et al. (2012). Optical fiber Bragg grating sensor assembly for 3D strain monitoring and its case study in highway pavement. *Mechanical Systems and Signal Processing*. Vol. 28. P. 36–49 [in English].

21. Zhou, D et al. (2014). Feasibility of water seepage monitoring in concrete with embedded smart aggregates by P-wave travel time measurement. *Smart Materials and Structures*. Vol. 23, No. 6 [in English].

22. Zhang, B et al. (2014). Crack width monitoring of concrete structures based on smart film. *Smart Materials and Structures*. Vol. 23. No. 4 [in English].

Igor Gameliak[1], *D.Sc., Prof., https://orcid.org/0000-0001-9246-7561*
Vitaliy Raykovskiy[2], *Ph.D., https://orcid.org/0000-0002-6391-7647*

[1]*National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine*
[2]*State Enterprise "National Institute for Development Infrastructure" (SE "NIDI"), Kyiv, Ukraine*

COMPLEX COEFFICIENT FOR ASSESSING THE CONDITION OF THE ROAD SURFACE

Abstract

Introduction. This article deals with the issue of reviewing existing methods and approaches to assessing the condition of the road pavement and proposes a methodology for assessing the condition of the road pavement using a complex indicator. This indicator is used to analyze the defects and destruction of the pavement determined by the visual method.

Problem. The need to improve the methodology for assessing the condition of the road surface (rigid, non-rigid) by calculating the coefficient by which the designer or balance holder can assess the condition of the existing pavement.

The purpose of the article. To inform road industry specialists about new trends and developments in the field of road pavement inspection of roads and airfields.

Materials and methods. SE "NIDI" (DerzhdorNDI SE), National Transport University and current construction norms and standards of Ukraine, materials of foreign regulatory documents and technical literature on pavement condition assessment were used in the article.

Conclusions. According to the analysis, a methodology for calculating a complex coefficient for assessing the condition of the pavement, taking into account the degree of damage to the pavement, which should be used as an additional tool for assigning the type of repair work, is proposed.

Keywords: road and airfield pavement, deformations, destruction, degree of development, condition assessment.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.138

UDC 625.7/.8

Ali Saleh[1], *https://orcid.org/0000-0002-6275-0297*
László Gáspár[2], *D.Sc., Prof., https://orcid.org/0000-0002-0574-4100*

[1]*Széchenyi István University, Faculty of Civil Engineering, Győr, Hungary*
[2]*KTI Institute for Transport Sciences Non-Profit Ltd., Budapest, Hungary*

MACHINE LEARNING MODELLING THE RUT DEPTH OF WMA MIXTURES WITH VARIABLE RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) AND FOAMED BITUMEN CONTENT

Abstract

Introduction. Rutting of flexible, super flexible and semi-rigid pavement structures is a typical and frequently decisive condition parameter, form of pavement deterioration. That is why, any research result in the field can have of high importance for the road engineers.

Problem Statement Rutting poses a significant challenge to asphalt pavements, causing permanent deformation under heavy loads, particularly in warm and wet conditions.

Purpose. This pavement distress type has — in addition to riding comfort challenges — important traffic safety consequences (e.g. aquaplaning), as well. The research work concentrates on the influence of the use of warm mix asphalt, reclaimed asphalt material and foamed bitumen binder on the rut depth of asphalt pavements.

Materials and Methods. In integration of machine learning techniques, a Feedforward Neural Network model was presented to analyse the relationship between pavement rut depth and Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) content. The model, trained for RAP content ranging from 0 % to 100 %, showcased varying R-squared values, with the highest at 50 % RAP content. Additionally, a Gaussian Process Regression (GPR) model was employed, highlighting the significant effects of RAP content between 75 % and 100 %. Sensitivity analysis on the GPR model provided insights into parameter effects, while the significant influence of the number of wheel passes on pavement rut depth values emphasized the importance of optimal road maintenance timing.

Results The results of the machine learning model indicated a R-squared value of 0.476 for 0 % RAP content and higher values for mixtures containing RAP, with the highest value of 0.897 was found for 50 % RAP content in the asphalt mixture. A Gaussian Process Regression (GPR) model applied showed paradoxical effects between 75 % and 100 % RAP content. The derivative of the predicted mean rut depth as a function of RAP content revealed varying effects on Rut depth values in the case of different RAP content ranges. Sensitivity analysis on the GPR model was conducted by varying parameters such as Length Scale, Noise Level, and Amplitude. The results of this analysis provided insights into how changes in these parameters affected the mean squared error (MSE) for their various combinations. The influence of the number of wheel passes on rut depth values was examined, showing a significant increase in rut depth after 12,000 passes and reaching its maximum value after 20,000 passes.

***Keywords*:** foamed bitumen; warm mix asphalt; reclaimed asphalt pavement; Neural Network; GPR; Machine learning.

Introduction

Rutting, a common distress in asphalt pavements, occurs when the pavement surface de-forms permanently due to repeated heavy loads, particularly in warm and wet conditions. This deformation can compromise the smoothness and safety of roads. It necessitates a thorough understanding of its underlying mechanisms and effective mitigation strategies [1]. Several experimental studies, such [2], [3] have played a crucial role in unravelling the complexities of pavement rutting. Among the various tests used to

characterize rutting, the Hamburg wheel tracking test (HWTT) stands out as a widely recognized method for simulating the effects of heavy traffic loads on asphalt pavements [4].

Researchers have also investigated the potential of different additives, including SBS, rubber, and recycled materials, to reduce rut depth. Lv et al. [5] found that modifying asphalt mixes with SBS polymers led to decreased pavement rut depth, albeit with optimal additive dosages needing identification. Similarly, Ziari et al. [6] observed significant reductions in rut depth with increased rubber content in asphalt mixes.

Temperature variations during testing have also been investigated, researchers highlighting the importance of adjusting testing protocols to accurately reflect real-world climate conditions. This adaptation is crucial for ensuring that testing outcomes align with the actual performance of asphalt pavements [7].

Furthermore, the integration of advanced machine learning techniques, exemplified by the work of Majidifard et al. [8], offers a promising avenue for predicting rut depth based on asphalt properties. By leveraging convolutional neural networks (CNN), these models provide efficient and cost-effective means for pavement design and material screening, in line with the evolving methodologies advocated by Buss et al. [9]. In essence, these interdisciplinary efforts underscore the importance of comprehensive research and innovative methodologies in addressing rutting issues in asphalt pavements.

Experimental

Determination of aggregate gradation

Mixed operations involved the use of gradations containing 100% reclaimed asphalt pavement (RAP), 75 % RAP, 50 % RAP, 25 % RAP, and 0 % RAP (consisting entirely of virgin aggregate), all adhering to standard specifications [10], [11], [12] as shown in **Fig. 1**. The maximum specific gravities (Gmm) for these gradations were recorded as follows: 2.464, 2.471, 2.476, 2.468, and 2.474, respectively.

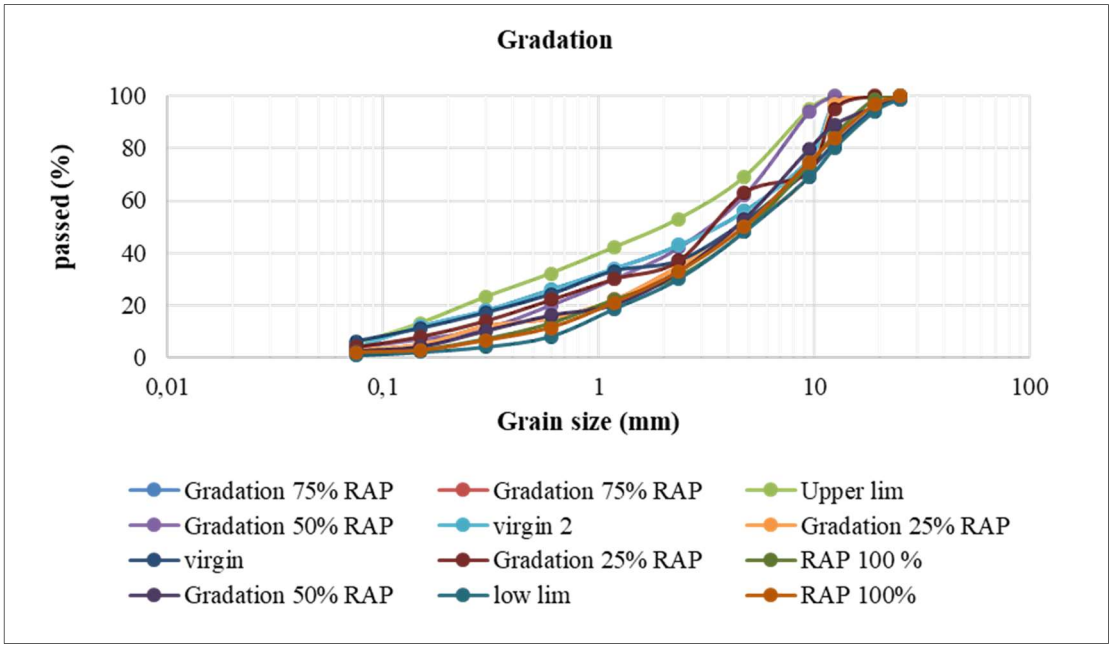


Figure 1 — Gradations selected

Bitumen type

The test series applied bitumen penetration grade 70/100 as binder. It met the prescribed standard criteria [13]. **Table 1** presents the characteristics of the bitumen applied.

In order to use this bitumen in foaming process, it achieved a half-life of 10.2 s and an expansion ratio of 12.6 times specifically with a 2 % water content at a bitumen temperature of 170 °C.

Table 1

Bitumen characteristics

Bitumen type	Penetration, 0,1 mm	Loss on heating, m %	Softening point, °C	Flash point, °C
70/100	82.6	– 0.4 %	46.6	238

Machine learning models

Feedforward Neural Network (FNN)

Mixed operations involved the use of two gradations containing 100 % reclaimed asphalt pavement (RAP), two with 75 % RAP, two with 50 % RAP, two with 25 % RAP, and two consisting entirely of virgin aggregate all adhering to standard specifications (**Fig. 1**). The maximum specific gravity (Gmm) for these gradations were recorded as follows: 2.464, 2,471, 2.476, 2.468 and 2.474, respectively.

The Feedforward Neural Network (FNN), also known as a Multi-layer Perceptron (MLP), consists of multiple layers of neurons, including input, hidden, and output layers. The activation function used in the hidden layers is Rectified Linear Unit (ReLU), and the output layer does not have an activation func- tion.

Mathematically, the output y_i (excitation) of a node [14] is computed as:

$$y_i = \varphi_i\left(\sum_{j=1}^{n^i} w_j^i \cdot z_j^i + b^i\right), \quad (1)$$

where n^i are the total incoming connections, z^i is the input, w^i is the weight, b^i is the bias, and φ_i is the activation function at the i^{th} node to limit the amplitude of the output the node.

The model is trained using mean squared error (MSE) loss and optimized using the Adam optimizer. The performance metrics used are mean absolute error (MAE) and R-squared [15].

Gaussian Process Regression (GPR)

Gaussian Process Regression (GPR) is a powerful machine learning technique used for regression analysis. It is particularly valuable when dealing with problems where the relationship between input variables and output variables is complex and uncertain. GPR belongs to the class of non-parametric methods, meaning it doesn't make assumptions about the underlying distribution of the data [16].

In GPR, the fundamental idea is to model the relationship between input variables x and output variables y as a joint Gaussian distribution. This distribution represents a prior belief about how the data might be related before observing any actual data points. As new data points are observed, the distribution is updated, allowing for more accurate predictions [17].

The basic equation of GPR can be represented as follows:

$$f(x) \sim GP\left(m(x), k(x, x')\right), \quad (2)$$

where — $f(x)$ is the function to be modeled;
— x and x' are input variables;
— $m(x)$ is the mean function, representing the expected value of $f(x)$;
— $k(x, x')$ is the covariance function, also known as the kernel function, which captures the relationship between (x) and (x') [18].

The kernel function plays a crucial role in GPR. It determines the smoothness and the shape of the predicted function. Commonly used kernel functions include the Gaussian kernel, linear kernel, polynomial kernel, and RBF kernel [16].

To make predictions using GPR, given a set of observed data points X_{obs} and their corresponding output values Y_{obs}, the posterior distribution of f(x) conditioned on the observed data is computed. This is given by:

$$p((f(x)|X_{obs}\ ,\ Y_{obs}\ ,\ x) = N\ (\mu(x), \sigma\ (x)), \quad (3)$$

where — $\mu(x)$ is the mean of the posterior distribution, representing the predicted value of $f(x)$;
— $\sigma\ (x)$ is the covariance matrix of the posterior distribution, capturing uncertainty in the prediction [19].

Evaluation of GPR typically involves assessing the predictive performance of the model on unseen data. Common evaluation metrics include mean squared error (MSE), mean absolute error (MAE), and *R*-squared [18]. Real-world applications of GPR span various domains, including finance, environmental science, engineering, and healthcare. It has been used for tasks such as time series forecasting, anomaly detection, and modelling complex physical processes [16]. This regression was used for predicting rut depth based on the number of passes and different contents of Reclaimed asphalt materials (RAP) and it was defined using a RBF kernel. The model was trained for each RAP percentage, then predictions were made for all RAP percentages using the trained model.

Results

A Feedforward Neural Network model was defined using TensorFlow's Keras API. The model was trained for each RAP content in a range of 0-100. Training histories were plotted to visualize training and validation loss (MSE) and mean absolute error (MAE) over 1 000 epochs for each RAP content (**Figs 2 – 6**). In addition to that, the model was trained separately for each RAP content, and *R*-squared was less than 0.5 (0.476) with mixture contain 0 % RAP and achieved high values (0.897) with mixture containing 50 % RAP, and for other mixtures were (0.461, 0.869 and 0.874 with mixtures containing 25 %, 75 % and 100 % RAP, respectively.

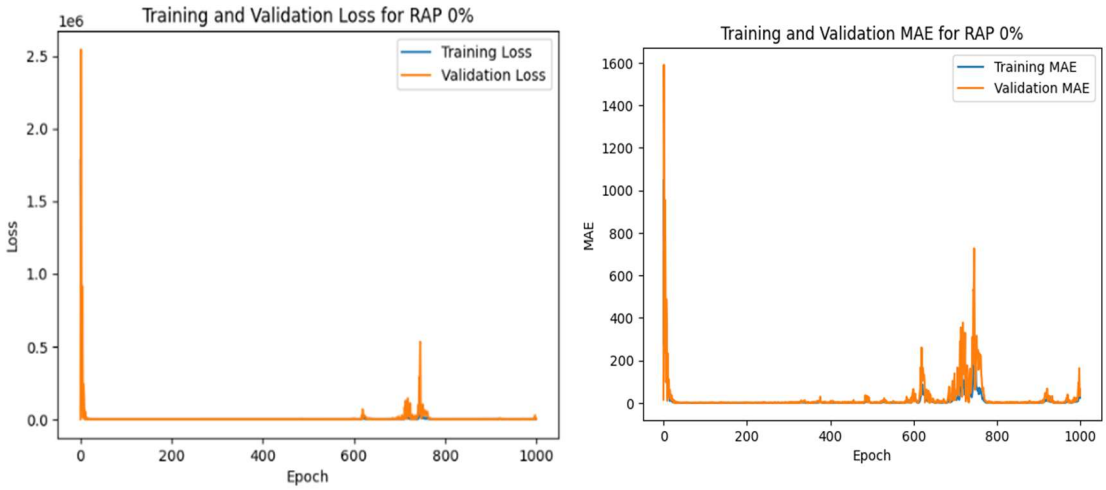


Figure 2 — Training history for mixtures containing 0 % RAP

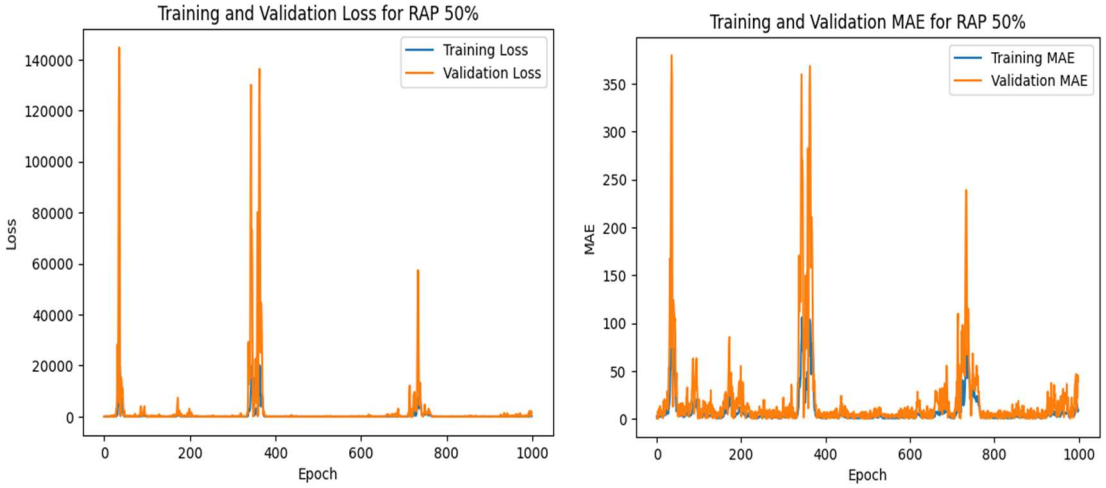


Figure 3 — Training history for mixtures containing 25 % RAP

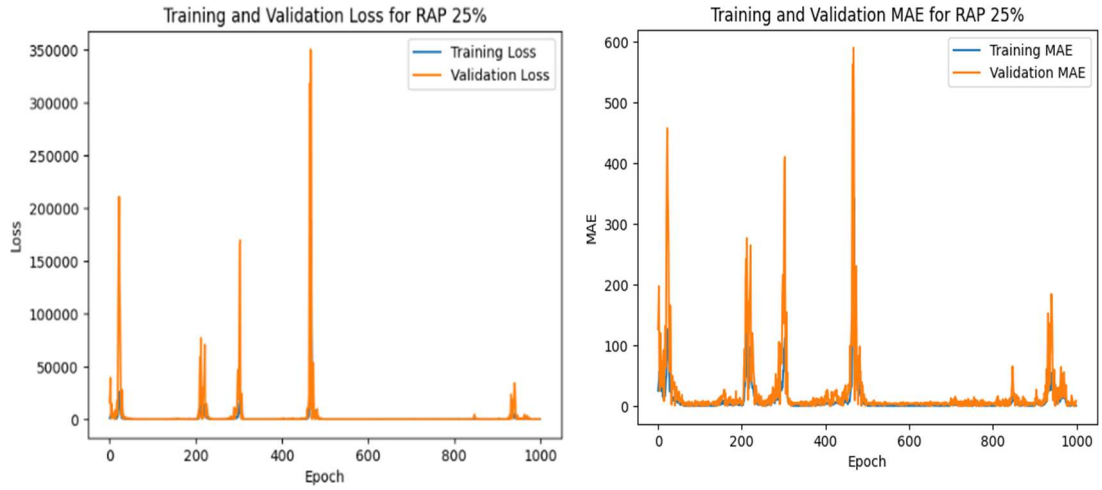


Figure 4 — Training history for mixtures containing 50 % RAP

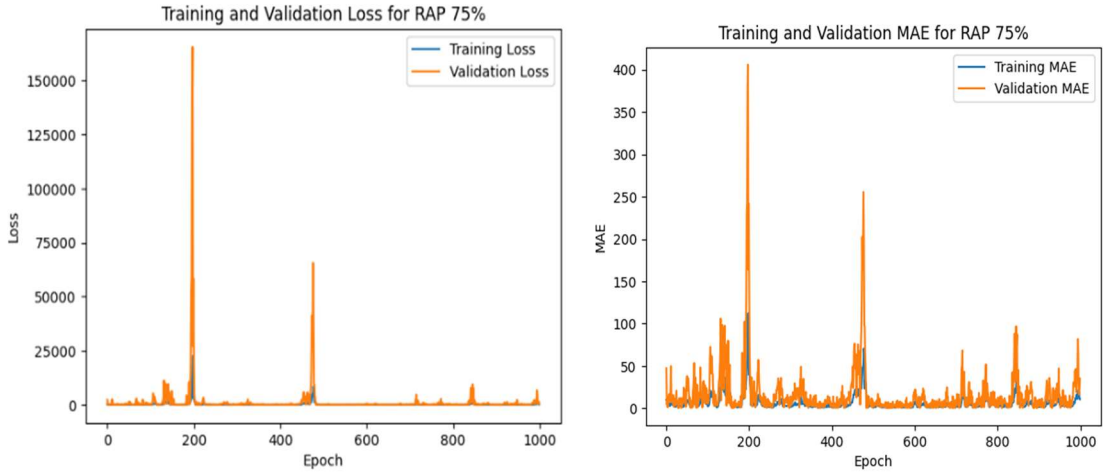


Figure 5 — Training history for mixtures containing 75 % RAP

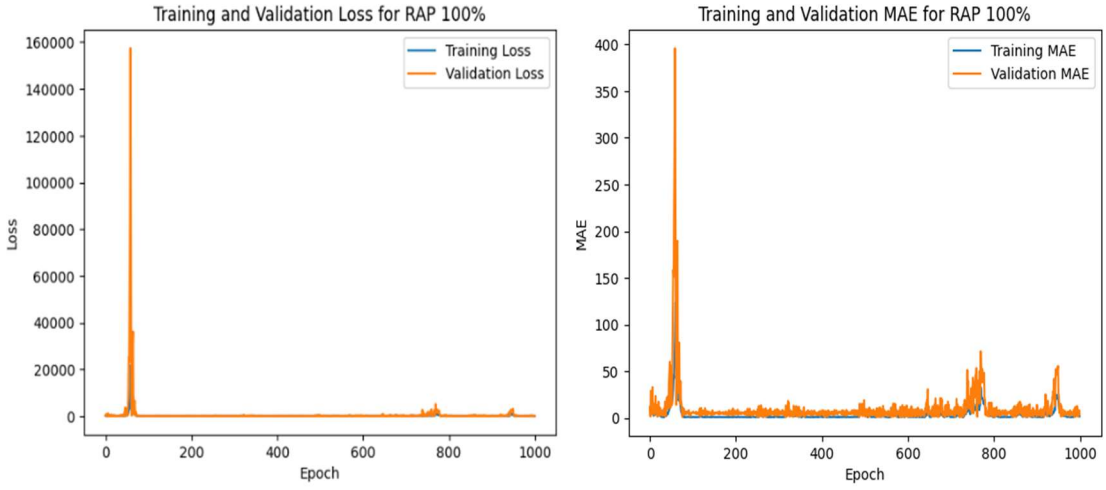


Figure 6 — Training history for mixtures containing 100 % RAP

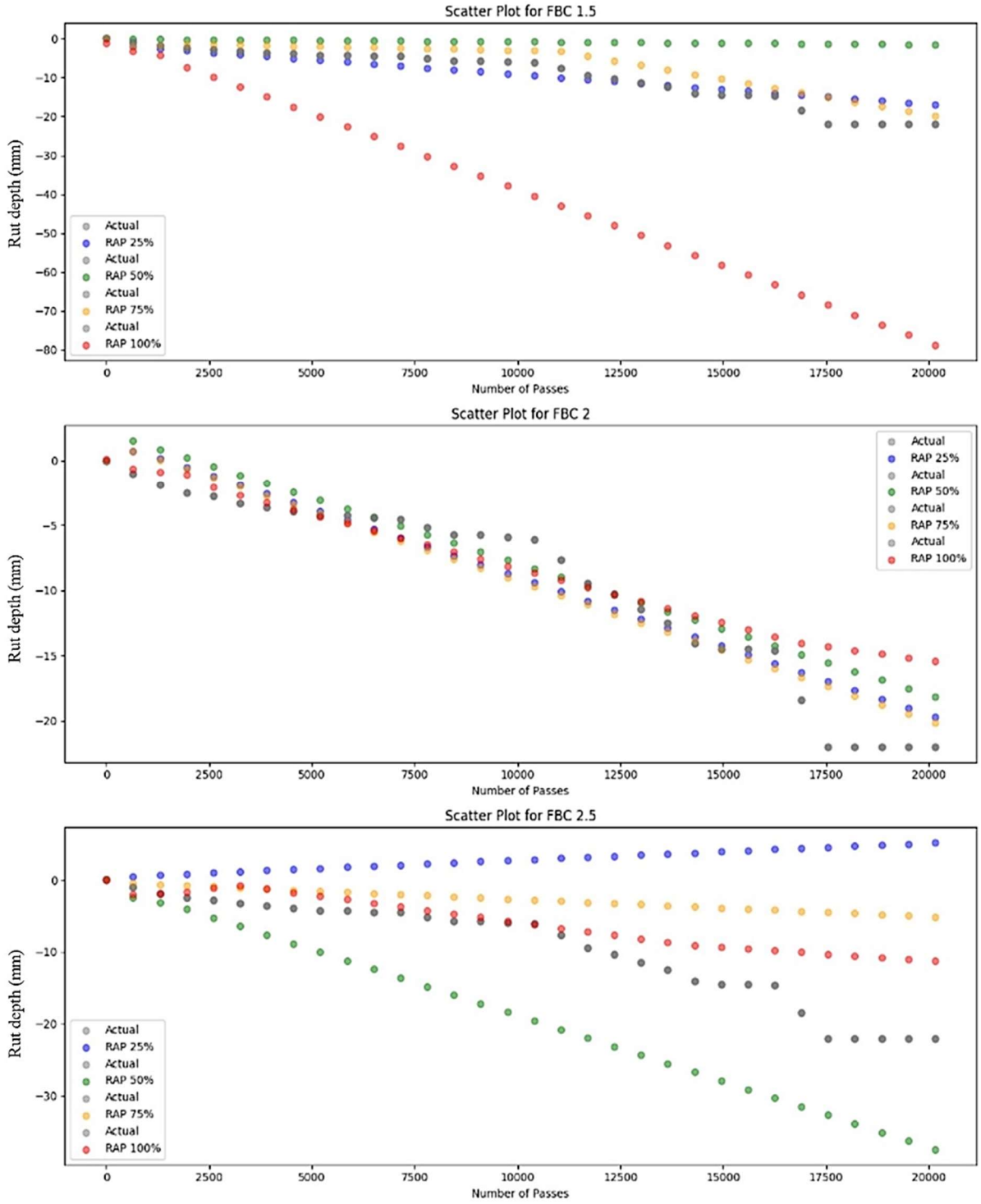


Figure 7 — Scatter plot for asphalt mixtures with 1.5 %, 2.0 % and 2.5 % of FBC

Correlation analysis for different RAP and FBC combinations were created. For each FBC value, scatter plots were created to compare actual and predicted rut depths for different RAP contents, and to observe the relationship between the number of wheel passes and rut depth in case of different RAP contents (**Fig. 7 and Fig. 8**).

The predicted values of rut depth with 25 % RAP content went out of the ordinary with 2.5 % of FBC and achieved failure with 3.5 % of FBC when number of wheel passes amounted to 7,500.

The predicted values of rut depth with 50 % RAP content went out of the ordinary with 1.5 % and 3.5 % of FBC and still equal to 0.

The predicted values of rut depth with 75 % RAP content achieved the most relatable values but with one super values with 2.5 % of FBC equal to — 10 mm when number of wheel passes surpassed 20,000.

The predicted values of rut depth with 100 % RAP content went out of the ordinary with 1.5 % and 3.5 % of FBC, and achieved super rut depth with 2.0 %, 2.5 % and 3.0 % of FBC with maximal rut depth equal to —14 mm when number of wheel passes were above 20,000.

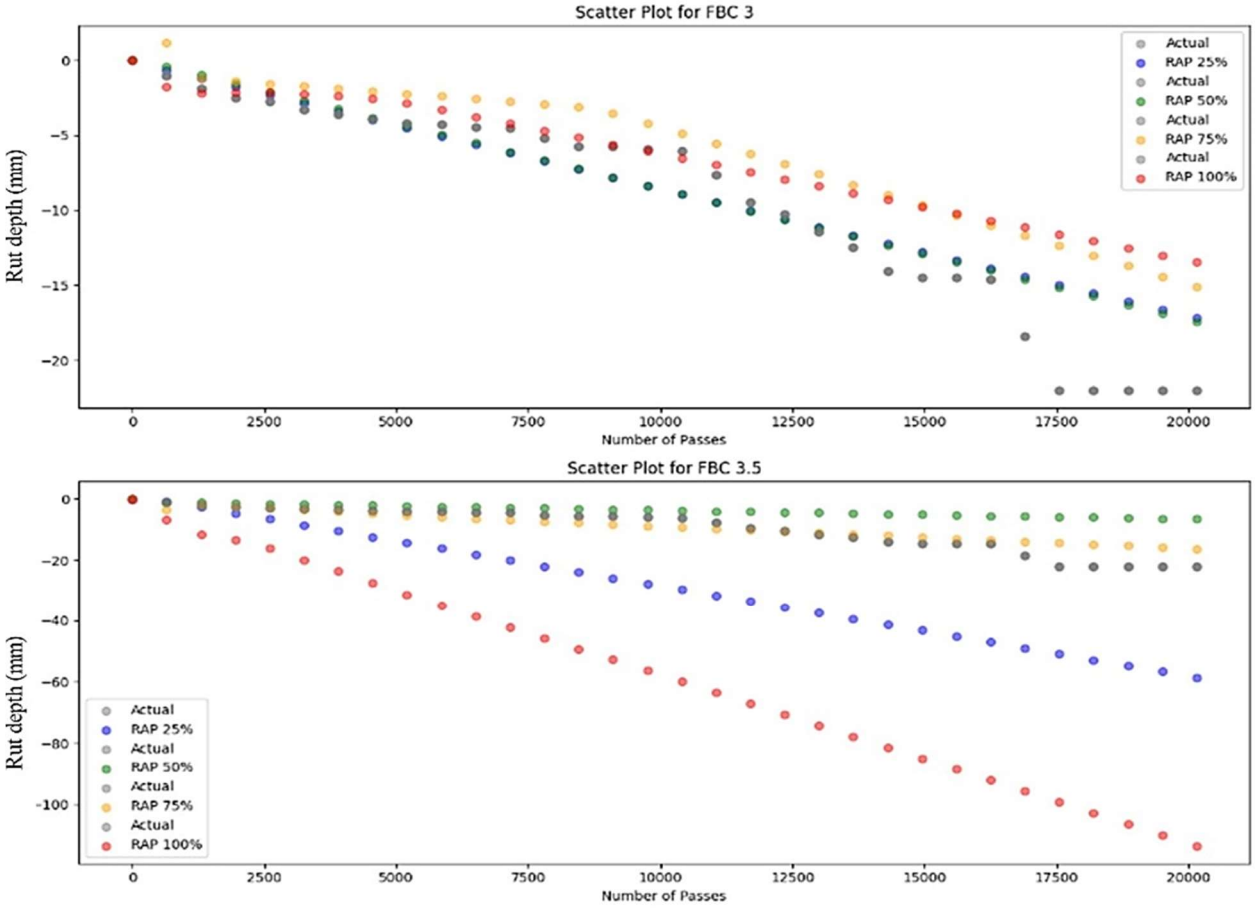


Figure 8 — Scatter plot for asphalt mixtures with 3.0 % and 3.5 % of FBC

A new model was built using Gaussian process regression to model the relationship between rut depth and RAP content.

Figure 9 shows the mean predicted rut depth as a function of RAP content. Each point represents the mean Rut depth for a specific RAP content, along with error bars representing the standard deviation of Rut depth at each RAP content. The solid line shows the mean predicted Rut depth, while the shaded area around it shows the uncertainty (standard deviation) in the prediction. As it can be seen, the most negative effective of RAP content is in a range of 80 – 85 %. **Figure 10** presents the derivative of the predicted mean Rut depth with respect to RAP content. It indicates how much the Rut depth is affected by changes in RAP content with the following results. The RAP content between 25 % and 50 % decreases the cracking resistance; in the range of 55 – 70 %, an increase can be detected in the cracking resistance; between 80 % and 90 %, this parameter decreases sharply; in the last phase up to 100 %, the cracking resistance improves again.

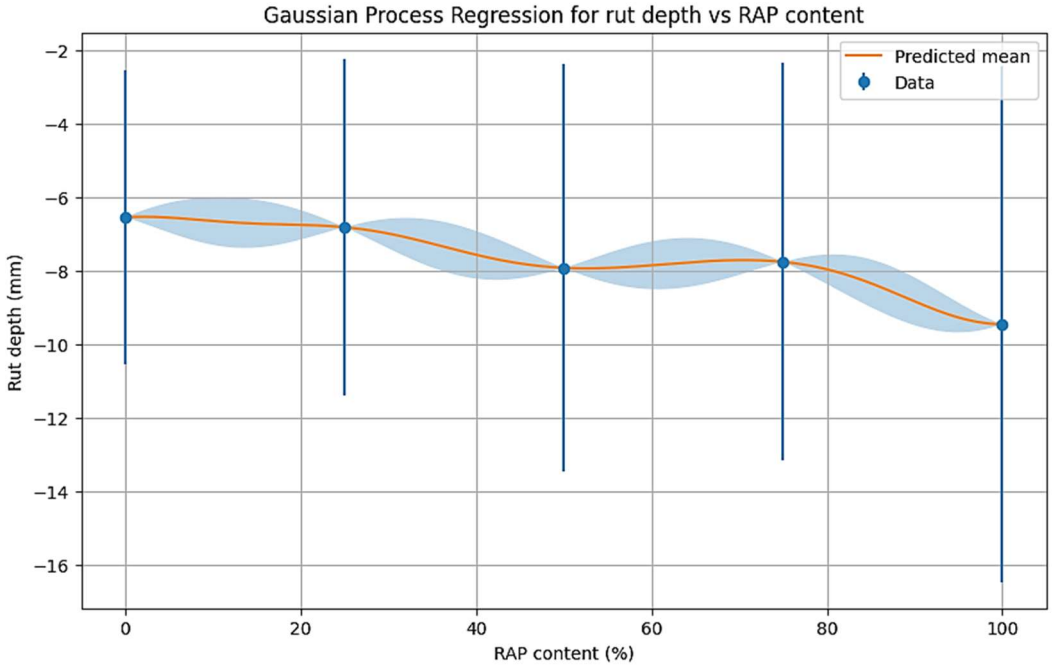


Figure 9 — GPR for rut depth as a function of RAP content

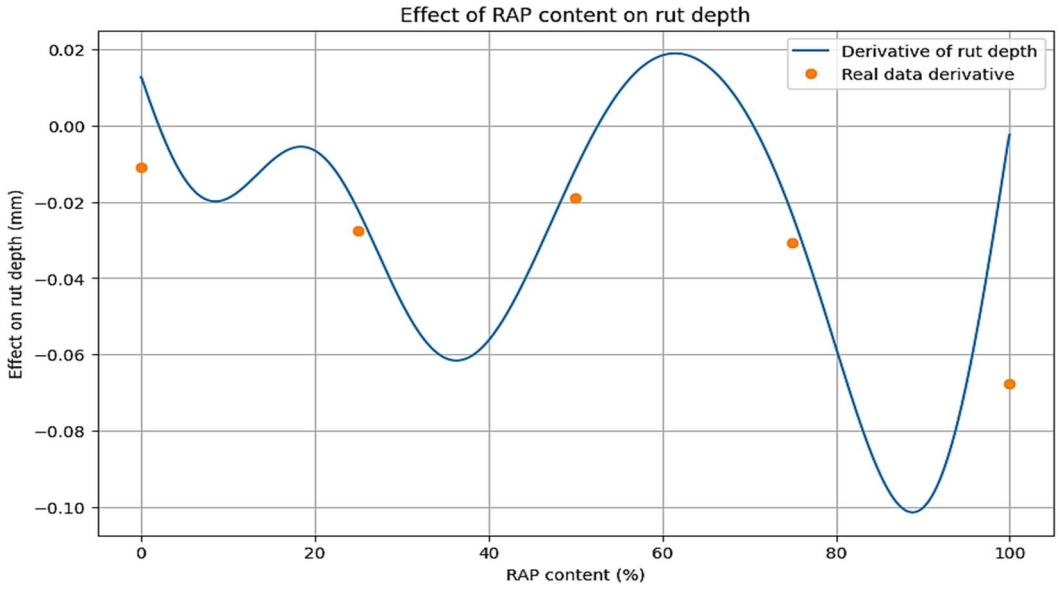


Figure 10 — The influence of RAP content on rut depth

In **Figure 11**, in addition to the investigation of the impact of RAP content on rut depth, the influence of the number of wheel passes on the anticipated rut depth values is identified. This analysis was performed cumulatively for each set of 750 passes, starting from the initial 750 passes and continuing in increments (e.g., effects of 750 passes, followed by 1,500 passes, then 2,250 passes etc.). The rut depth reaches its maximum value after 20,000 wheel passes and experiences a significant increase after 12,000 passes. The results of this analysis can contribute to the determination of the optimum time for road maintenance.

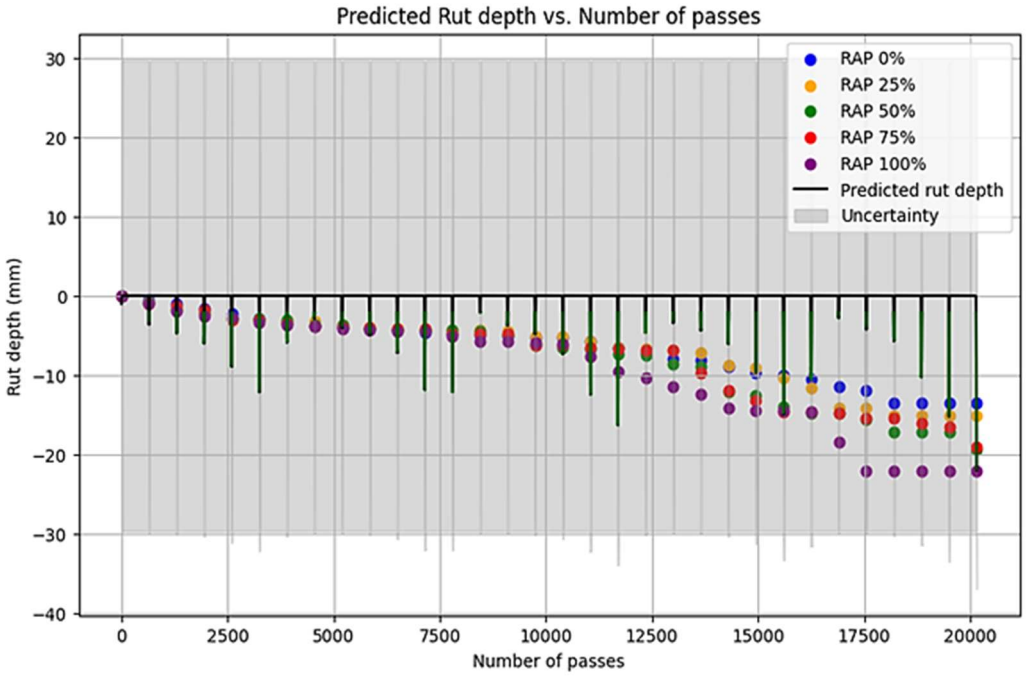


Figure 11 — The influence of the number of passes on rut depth values

Figure 12 illustrates that the GPR model used 80 % of the data for training and the remaining 20 % for testing the model resulting *R*-squared equal to 0.52 as it can be seen in **Figure 13**.

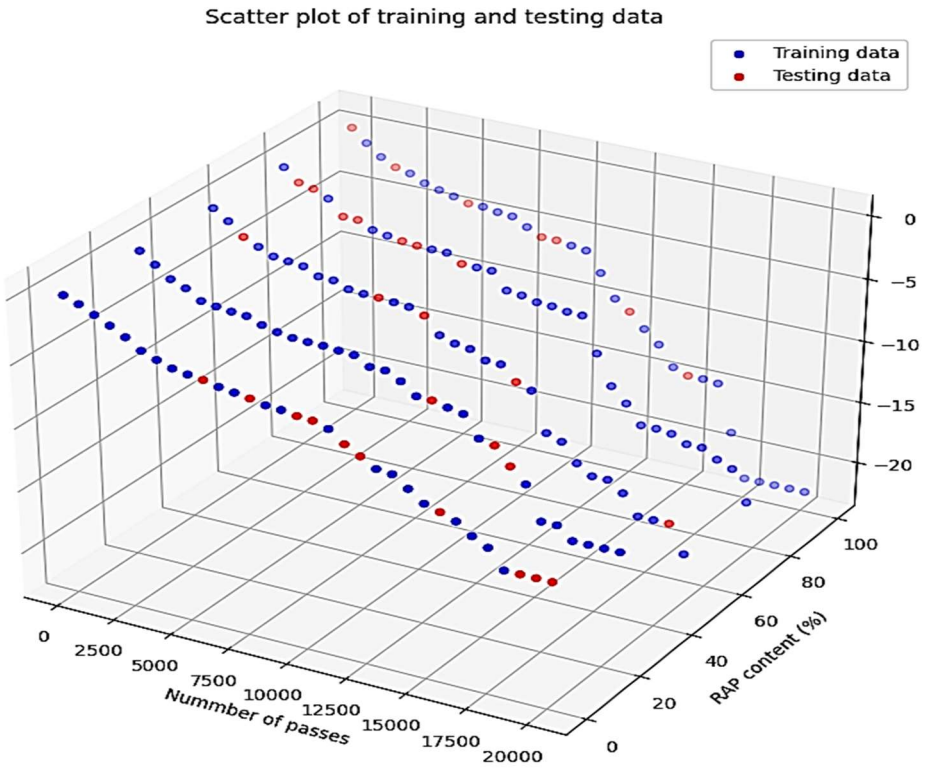


Figure 12 — Scatter plot using GPR model

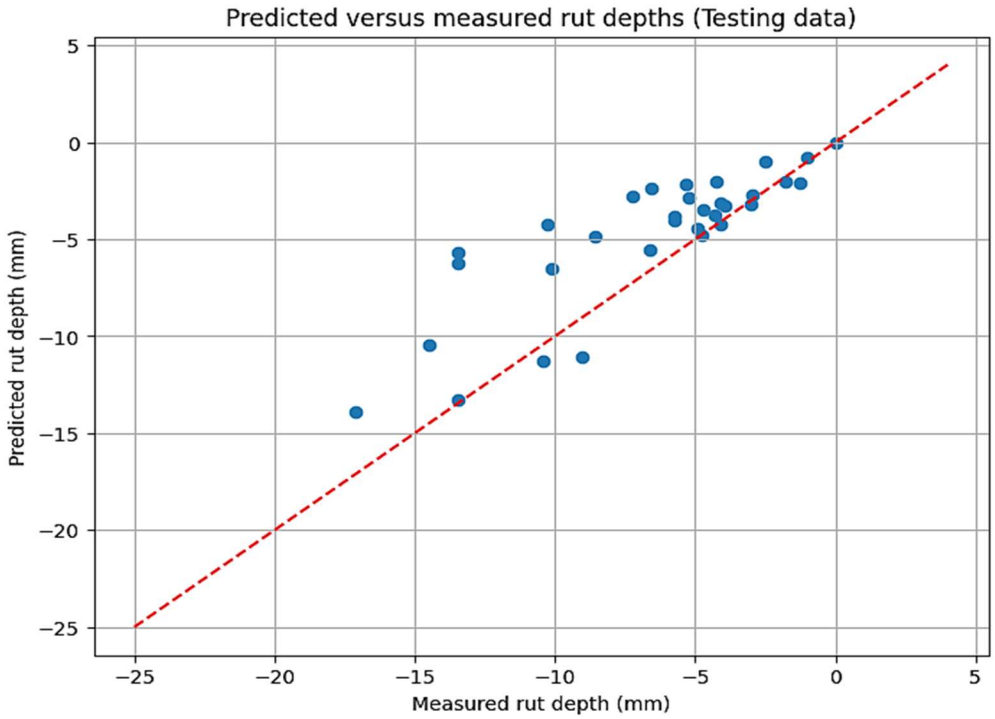


Figure 13 — Predicted rut depth as a function of measured testing data

Performance of ML models

Sensitivity analysis on a Gaussian Process Regression (GPR) model was conducted with varying parameters: length scale, noise level, and amplitude. For each combination of parameters, a GPR model is initialized and trained on the given dataset. Predictions were made using the trained model, and the mean squared error (MSE) between predicted and actual rut depths is calculated.

Figure 14 summarizes the results of MSE values against amplitudes and the x-axis was scaled logarithmically to accommodate the wide range of amplitude values. **Figs. 15 – 20** present each combination of length scale and noise level according to the group of data. It provides insights into how changes in amplitude affect the MSE for different combinations of length scale and noise level.

Length scale of 35.2 with noise level of 0.02 suggests that the GPR model is relatively smooth, with a length scale indicating that it considers points within a radius of approximately 35.2 units to be correlated. The noise level of 0.02 indicates the expected level of noise in the data. The length scale of 0.6 with noise level of 0.01 indicates a moderately smooth model with a slightly larger length scale compared to the previous one. The noise level of 0.01 suggests a low level of noise in the data. But length scale of 0.22 with noise level of 0 indicates that the model captures fine-grained variations in the data. The absence of noise (0 noise level) implies that the model assumes the data is without randomness. Length scale of 0.01 with noise level of 10 suggests that the model may be overfitting to noise in the data. Length scale of 100 with noise level of 1.28 considers points within a large radius to be correlated, potentially capturing broad trends in the data. The noise level of 1.28 indicates a moderate level of variability in the data. Length scale of 100 with noise level of 3.59 suggests that the model accounts for broader trends but may struggle to filter out randomness.

In summary, the length scale determines the smoothness of the model, with smaller length scales capturing fine-grained variations and larger length scales capturing broader trends. The noise level indicates the expected level of variability or randomness in the data.

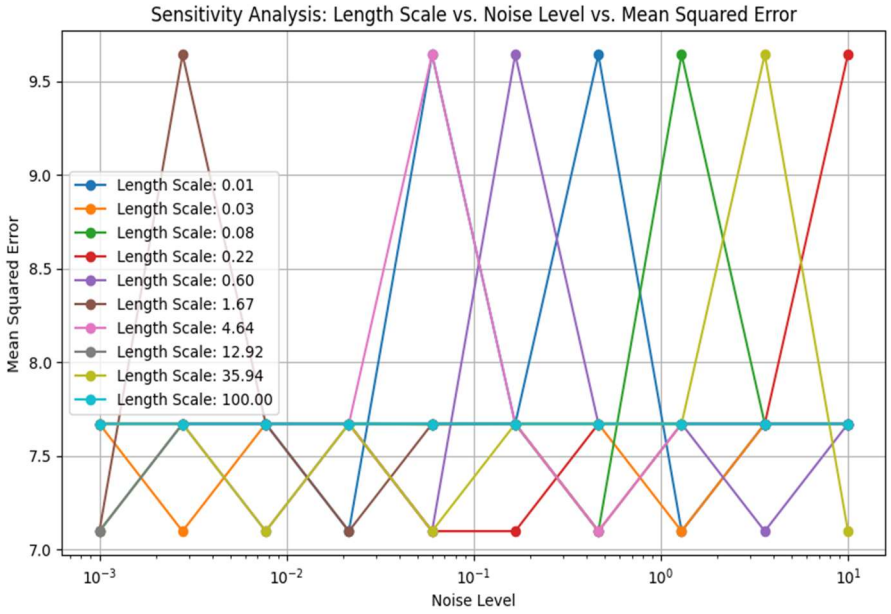


Figure 14 — Sensitivity analysis of GPR model

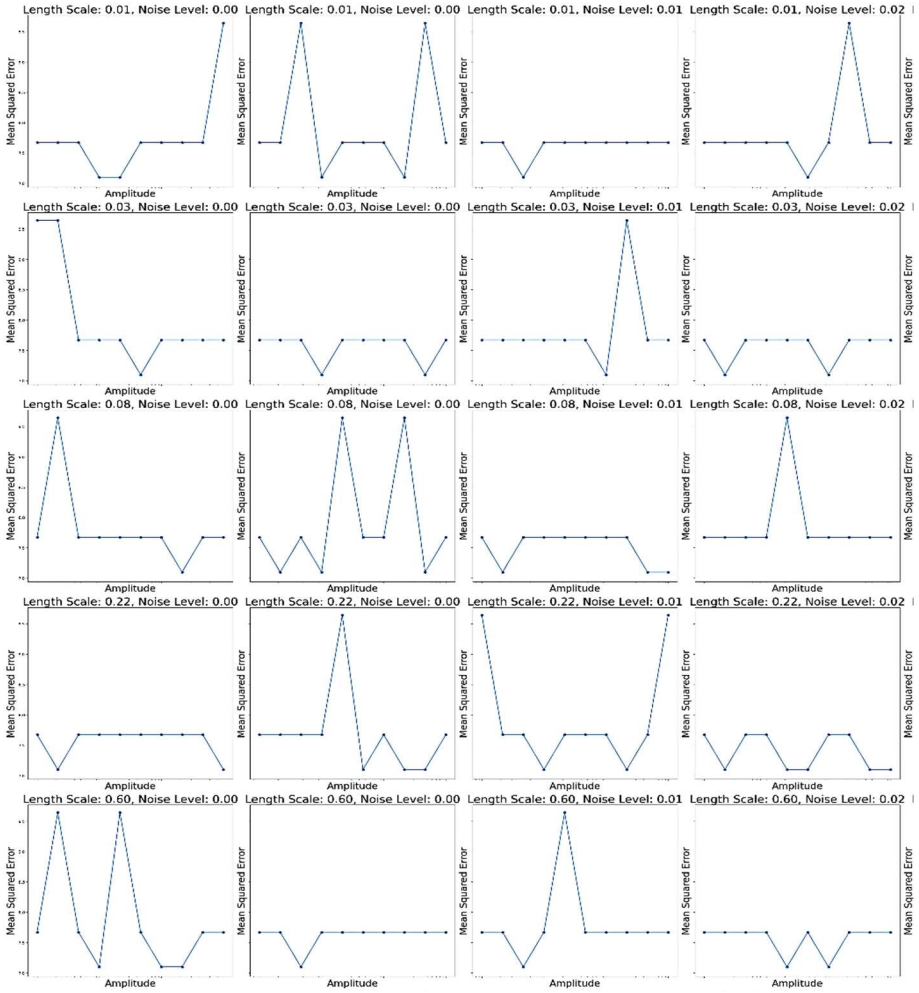


Figure 15 — Deep sensitivity analysis of GPR model, part 1

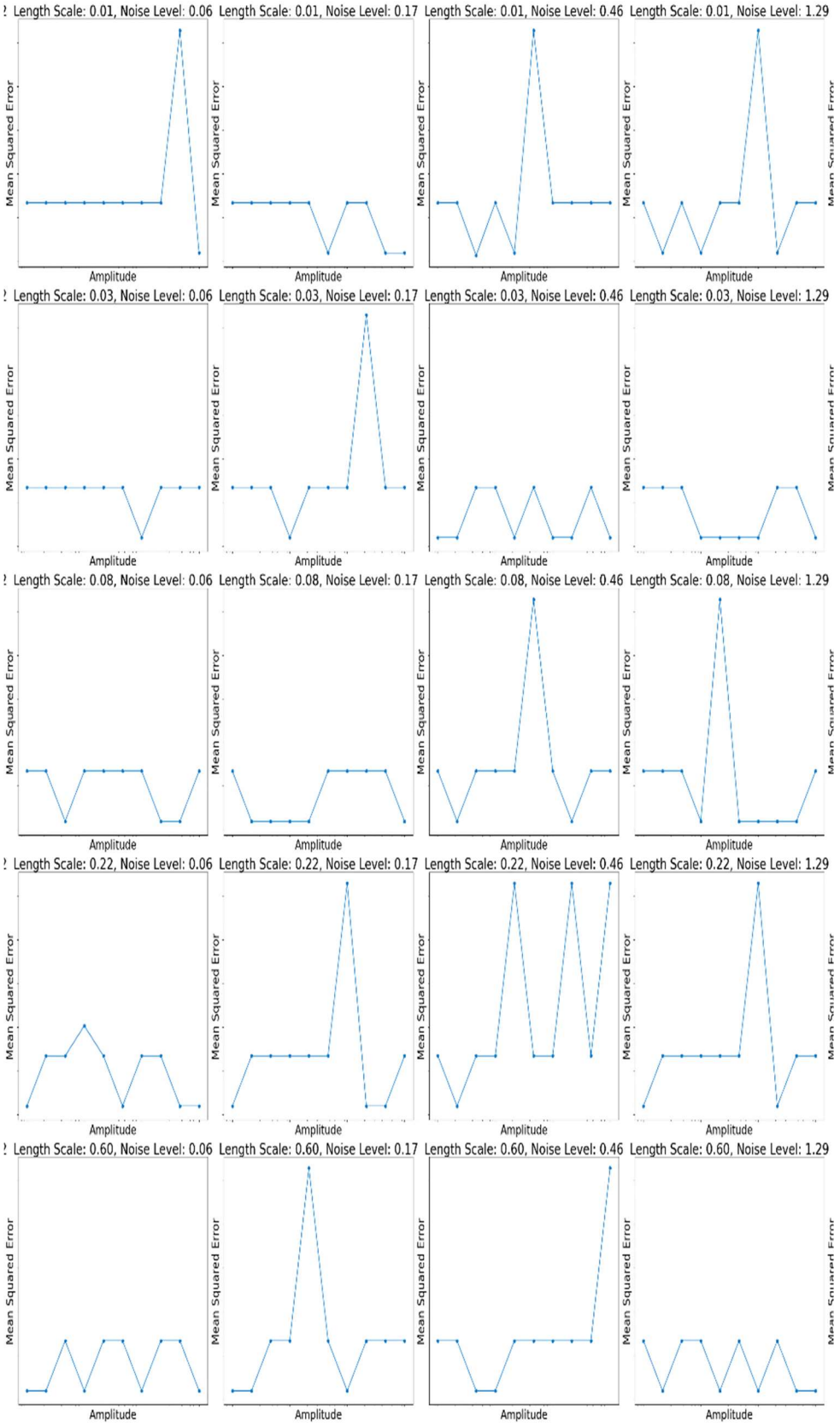


Figure 16 — Deep sensitivity analysis of GPR model, part 2

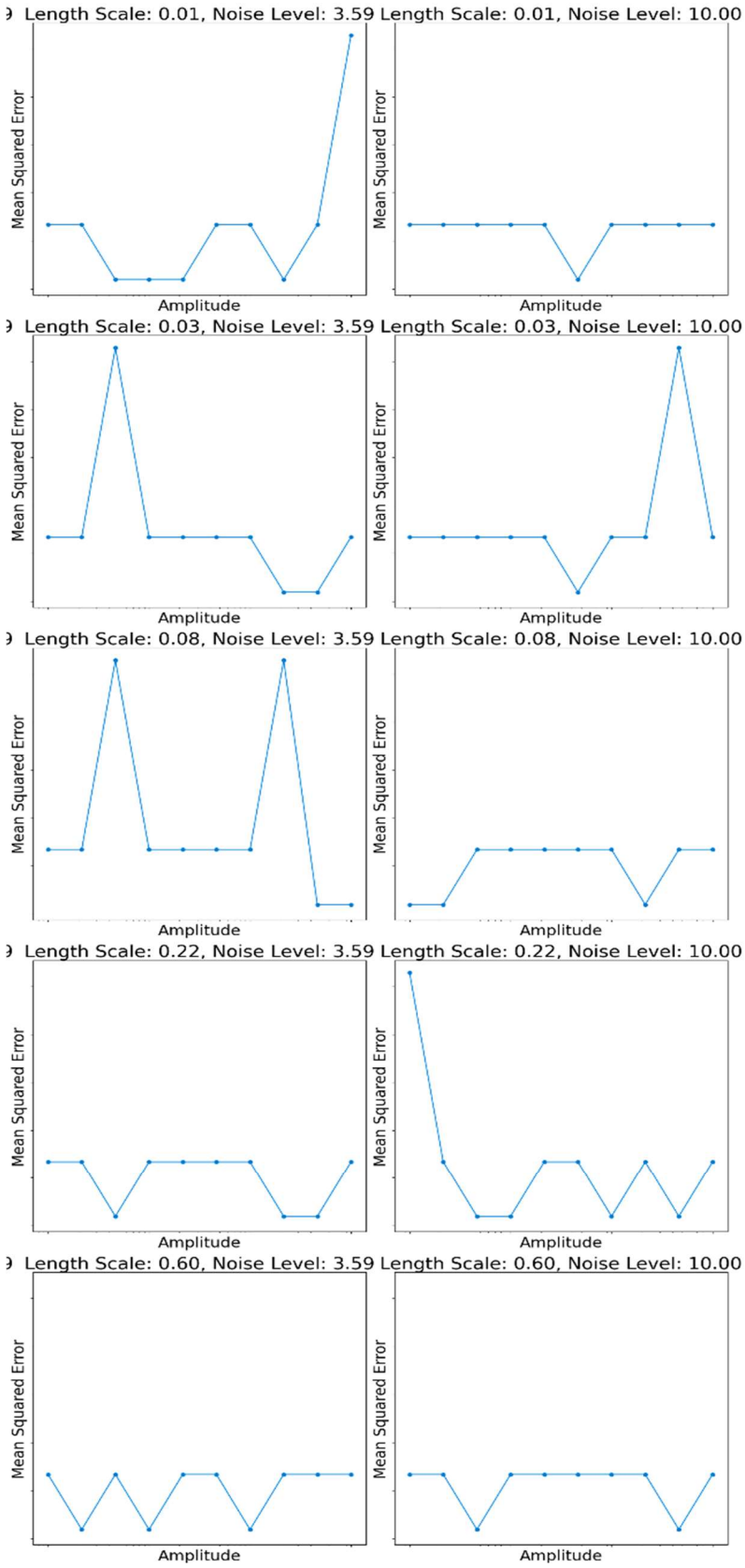


Figure 17 — Deep sensitivity analysis of GPR model, part 3

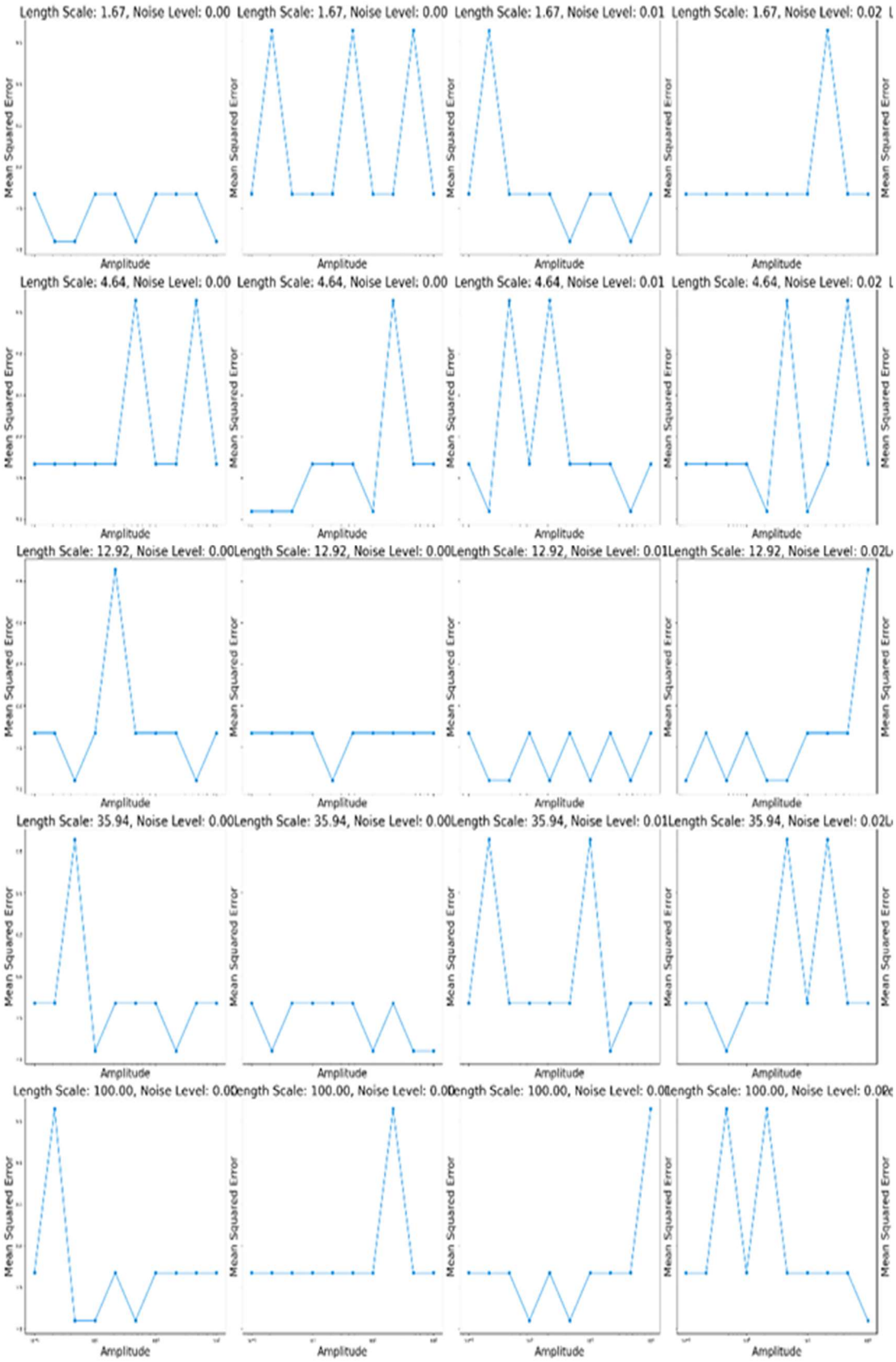


Figure 18 — Deep sensitivity analysis of GPR model, part 4

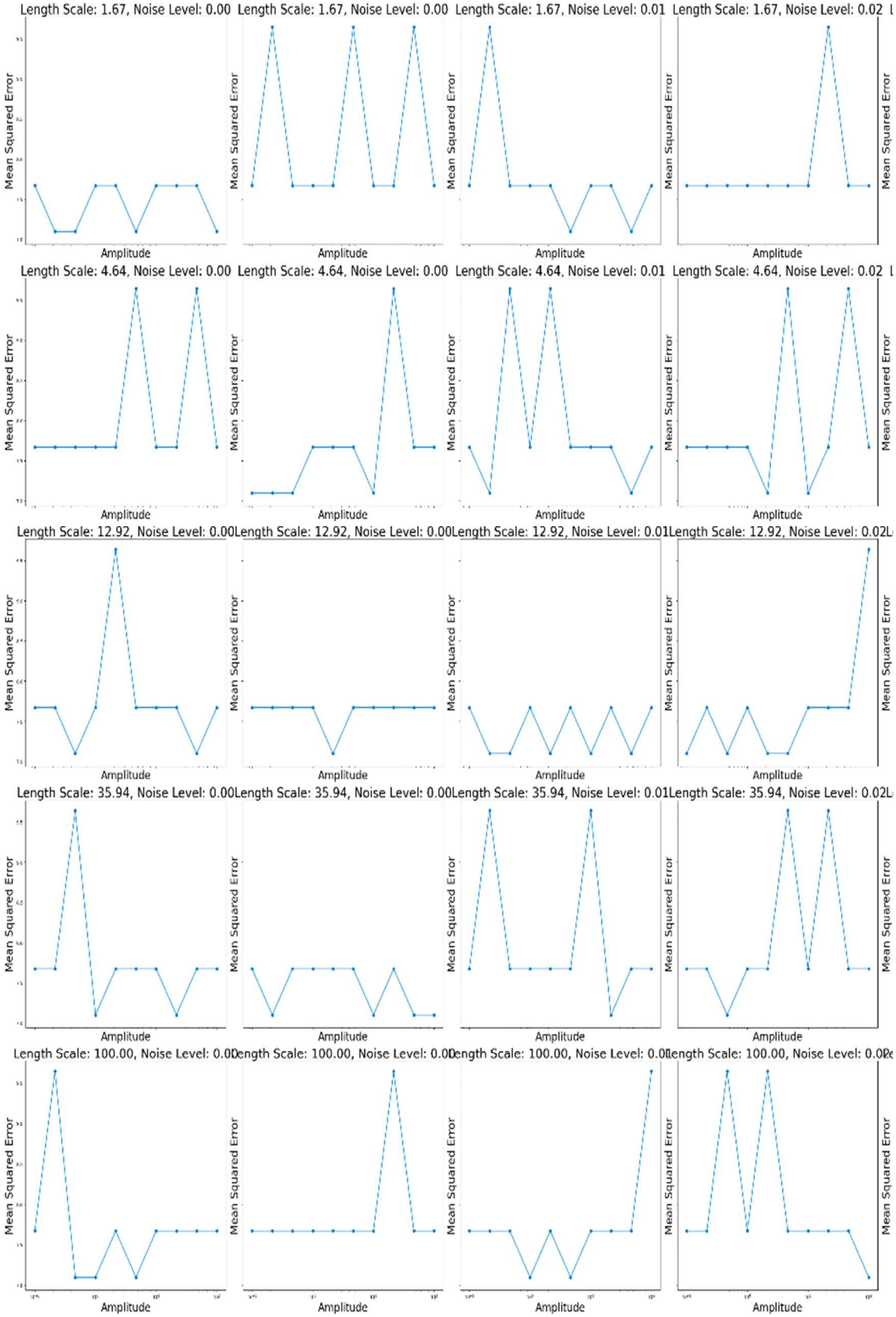


Figure 19 — Deep sensitivity analysis of GPR model, part 5

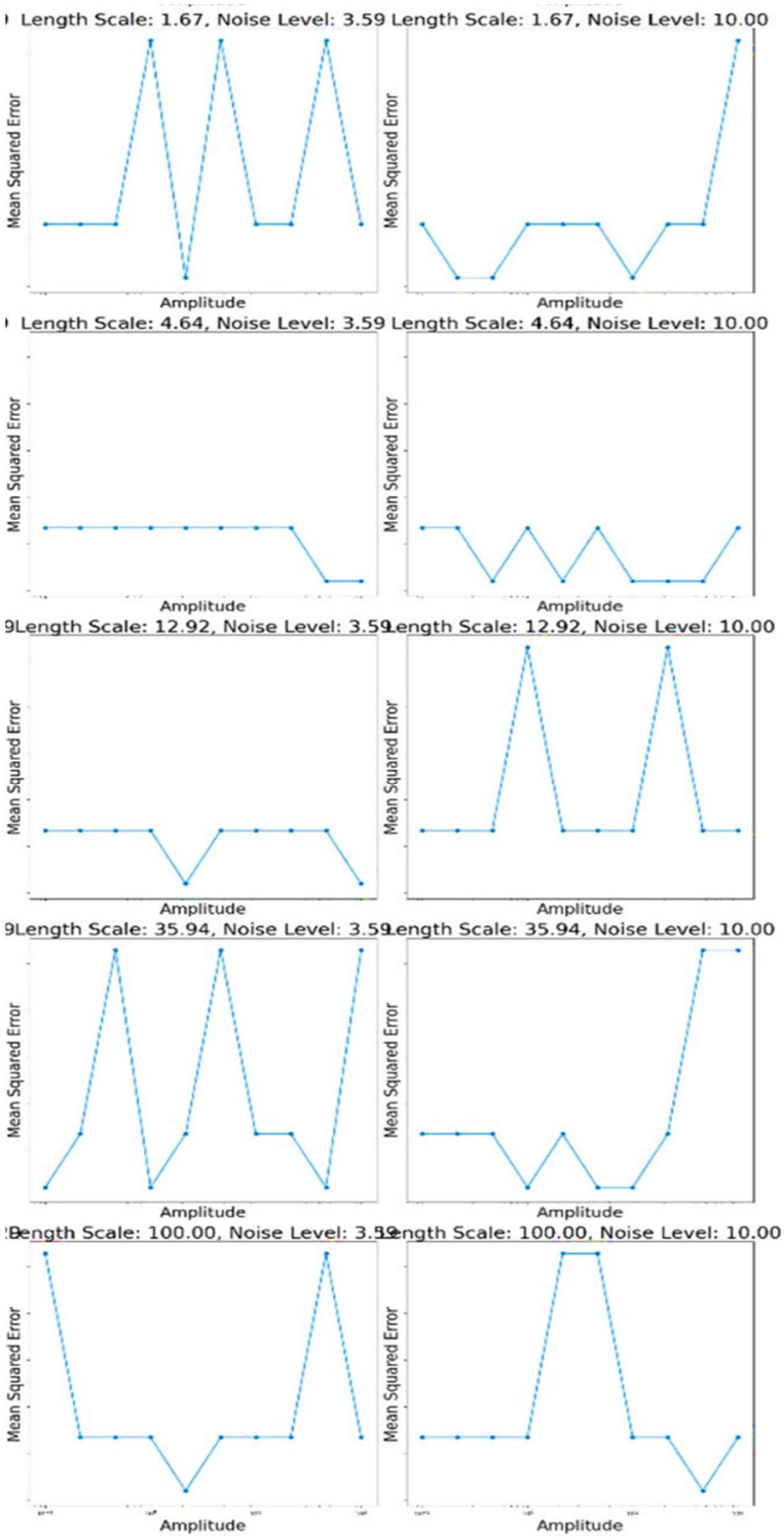


Figure 20 — Deep sensitivity analysis of GPR model, part 6

Conclusions

The main aim of the study was to develop a Feedforward Neural Network model for the analysis of the relationship between Rut depth values and Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) content of asphalt mixtures.

The model was trained individually for different RAP content ranging from 0 % to 100 %. An optimizer ('adam') and a loss function ('mse') were used for the regression analysis. Training histories were visualized through plots showcasing training and validation loss (MSE), as well as mean absolute error (MAE) over 1 000 epochs for each RAP content selected. *R*-squared values were also calculated. Results indicated a *R*-squared value of 0.476 for 0 % RAP content and higher values for mixtures containing RAP, with the highest value of 0.897 was found for 50 % RAP content in the asphalt mixture.

Additionally, a Gaussian Process Regression (GPR) model was constructed in order to model the relationship between Rut depth and RAP content of asphalt mixture. The RAP content between 75 % and 100 % had most paradoxical effects. The derivative of the predict-ed mean rut depth as a function of RAP content revealed varying effects on rut depth values in the case of different RAP content ranges.

Sensitivity analysis on the GPR model was conducted by varying parameters such as length scale, noise level, and amplitude. The results of this analysis provided insights into how changes in these parameters affected the mean squared error (MSE) for their various combinations.

In addition, the influence of the number of wheel passes on rut depth values was examined, showing a significant increase in rut depth after 12,000 passes and reaching its maximum value after 20,000 passes. The outcome of this analysis can significantly contribute to the identification of the optimal timing for road maintenance interventions.

References

1. Batioja-Alvarez, D., et al. Asphalt Mixture Quality Acceptance using the Hamburg Wheel-Tracking Test. *Transp. Res. Rec*., 2674(8), 2019. P. 338–349. DOI: https://doi:10.1177/036119812091974 [in English].

2. Chaturabong, P., Bahia, H. U. Mechanisms of asphalt mixture rutting in the dry Hamburg Wheel Tracking test and the potential to be alternative test in measuring rutting resistance. *Constr. Build. Mat*., 146, 2017. P. 175–182. DOI: https://doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.04.080 [in English].

3. Jahangiri, B. et al. Relaxation of Hardening in Asphalt Concrete under Cyclic Compression Loading. *J. of Mat. in Civ. Eng*., 19 (5), 2016, 04016288. DOI: https://doi:10.1061/(ASCE) [in English].

4. Mohammad, L. N. et al. Evaluation of various Hamburg wheel-tracking devices and AASHTO T. 324 specification for rutting testing of asphalt mixtures. In Asph. Pav. Tech.: Association of Asphalt Paving Technologists – Proceedings of the Technical Sessions, *Association of Asphalt Paving Technologist*, 2017. P. 165–185. DOI: https://doi:10.1080/14680629.2017.1389092 [in English].

5. Lv, Q. et al. Investigation of the rutting performance of various modified asphalt mixtures using the Hamburg Wheel-Tracking Device test and Multiple Stress Creep Recovery test. *Con. Build*. Mat. 2066, 2019. P. 2–70. DOI: https://doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.02.015 [in English].

6. Ziari, H. et al. Performance evaluation of rubberised asphalt mixes containing WMA additives. *Int. J. of Pav*. Eng., 19(7), 2018. P. 623–629. DOI: https://doi:10.1080/10298436.2016.1199874 [in English].

7. Walubita, L. F. et al. The Hamburg rutting test - Effects of HMA sample sitting time and test temperature variation. *Con. Build*. Mat., 108, 2016. P. 22–28. DOI: https://doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.01.031 [in English].

8. B. Jahangiri et al. Performance Evaluation of Asphalt Mixtures with Reclaimed Asphalt Pavement and Recycled Asphalt Shingles in Missouri. *Trans. Res. Rec.* 2673(2), 2019. P. 392–403. DOI: https://doi:10.1177/0361198119825638 [in English].

9. Buss, A. et al. Evaluation of moisture susceptibility tests for warm mix asphalts. *Con. Build*. Mat. 102, 2016. P. 358–366. DOI: https://doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.11.01 [in English].

10. Standard Specification for Coarse Aggregate for Bituminous Paving Mixtures. ASTM D692-00. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington. DC. USA. 2010 [in English].
11. Standard Specification for Fine Aggregate for Asphalt Paving Mixtures. ASTM D1073-16. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington. DC. USA. 2022 [in English].
12. EN 13043 Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments for roads, airfields and other trafficked areas. 2002. 40 p. [in English].
13. EN 12591 Bitumen and Bituminous Binders – Specifications for Paving Grade Bitumens. British Standards Institution (BSI), London, UK. 2009. 36 p. [in English].
14. Ojha, V. K. et al.: Metaheuristic Design of Feedforward Neural Networks: A Review of Two Decades of Research. Eng. Appl. of Art. Intel., 60, 2017. P. 97–116, https://doi:10.1016/j.engappai.2017.01.013 [in English].
15. Popoola, S. I. et al. Optimal model for path loss predictions using feed-forward neural networks. Cog. Eng., 5(1), 2018, 1444345. DOI: https://doi:10.1080/23311916.2018.1444345 [in English].
16. Wang J. An Intuitive Tutorial to Gaussian Process Regression. University of Waterloo, Canada, 2024, 8 p. [in English].
17. Williams, C. Gaussian Processes for Machine Learning. Massachusetts Institute of Technology, USA, 2006, 266 p. [in English].
18. Rasmussen, C. E., De, H. M. Gaussian Processes for Machine Learning (GPML), 2010. Toolbox Hannes Nickisch. Retrieved March 2, 2024, from URL: http://www.kyb.tuebingen.mpg.de/bs/people/carl/code/minimize [in English].
19. Uwanuakwa, I. D. et al. Artificial intelligence prediction of rutting and fatigue parameters in modified asphalt binders. *Appl. Sci*., 10(21), 2020. P. 1–17. DOI: https://doi:10.3390/app10217764 [in English].

Салех Алі[1], *https://orcid.org/0000-0002-6275-0297*
Ласло Гаспар[2], *д-р техн. наук, проф.*, *https://orcid.org/0000-0002-0574-4100*

[1]*Університет Іштвана Сечені, Факультет будівництва, Дьєр, Угорщина*
[2]*Інститут транспортних наук KTI, Некомерційна ТОВ, Будапешт, Угорщина*

МОДЕЛЮВАННЯ ГЛИБИНИ КОЛІЙНОСТІ ТЕПЛИХ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ (WMA) З ВИКОРИСТАННЯМ ЗМІННОГО ВМІСТУ РЕЦИКЛЬОВАНОГО АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ (RAP) І СПІНЕННОГО БІТУМУ

Анотація

Вступ. Утворення колій на покриттях гнучкої, супер-гнучкої та напівжорсткої конструкції є типовим і часто визначальним показником стану, а також формою руйнування дорожнього покриття. Тому будь-який результат досліджень у цій галузі може мати важливе значення для дорожніх інженерів.

Постановка проблеми. Колійність є серйозною проблемою для асфальтобетонних покриттів, викликаючи постійні деформації під дією важких навантажень, особливо у теплих та вологих умовах.

Мета. Цей тип руйнування покриття, крім впливу на комфорт під час їзди, має важливі наслідки для безпеки дорожнього руху (наприклад, аквапланування). Дослідження зосереджено на впливі використання теплих асфальтобетонних сумішей, рециклювання асфальтобетонного матеріалу та в'яжучого зі спіненим бітумом на глибину колій на асфальтобетонних покриттях.

Матеріали та методи. З використанням технік машинного дослідження було представлено модель Нейронної Мережі Зворотного Зв'язку для аналізу залежності між глибиною колій і вмістом

рецикльованого асфальтобетонного покриття (RAP). Модель, яку було протестовано на вміст PAP в діапазоні від 0 % до 100 %, показала різні значення коефіцієнта детермінації R^2, з найвищим показником при 50 % вмісту RAP. Крім того, була застосована модель Регресії на основі Гаусівських процесів (GPR), яка підкреслила значний вплив вмісту RAP в межах від 75 % до 100 %. Аналіз чутливості моделі GPR надав уявлення про вплив параметрів, а значний вплив кількості проходів коліс на значення глибини колій підкреслив важливість оптимального часу для обслуговування доріг.

Результати. Результати моделі машинного дослідження вказали на значення коефіцієнта детермінації R^2 рівне 0.476 для 0 % вмісту RAP та вищі значення для сумішей з RAP, причому найвищий показник 0.897 був виявлений для 50 % вмісту RAP в асфальтобетонній суміші. Модель Регресії на основі Гаусівських процесів (GPR) показала парадоксальні ефекти при вмісті RAP від 75 % до 100 %. Похідна від прогнозованої середньої глибини колій як функції вмісту RAP показала різний вплив на значення глибини колій у випадку різних діапазонів вмісту RAP. Аналіз чутливості з використанням моделі GPR був проведений шляхом зміни таких параметрів, як масштаб довжини, рівень шуму та амплітуда. Результати цього аналізу надали уявлення про те, як зміни в цих параметрах впливали на середньоквадратичну похибку (MSE) для їхніх різних комбінацій. Було досліджено вплив кількості проходів коліс на значення глибини колій, що показало значне збільшення глибини колій після 12 000 проходів та досягнення максимального значення після 20 000 проходів.

Ключові слова: спінений бітум, тепла асфальтобетонна суміш, рецикльоване асфальтобетонне покриття, Нейронна Мережа, Регресія на основі Гаусівських процесів (GPR), машинне дослідження.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.157

UDC 625.7/.8

Ali Saleh[1], *https://orcid.org/0000-0002-6275-0297*
László Gáspár[2], *D.Sc., Prof., https://orcid.org/0000-0002-0574-4100*

[1]*Széchenyi István University, Faculty of Civil Engineering, Győr, Hungary*
[2]*KTI Institute for Transport Sciences Non-Profit Ltd., Budapest, Hungary*

MODELLING INDIRECT TENSILE STRENGTH OF WARM MIX ASPHALT WITH VARIABLE RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) CONTENT

Abstract

Introduction. There is a world-wide trend to also increase the sustainability of the road sector. The growing use of various industrial by-products, together with economical and eco-friendly construction and maintenance techniques can be observed in many countries.

Problem Statement. The utilization of warm mix asphalt and the use of relatively high share of reclaimed asphalt materials in new asphalt mixtures can have negative features, as well.

Purpose. Modelling indirect tensile strength of warm mix asphalt with variable reclaimed asphalt pavement (RAP) content was aimed at based on Hungarian laboratory test series.

Materials and Methods. Three models were developed for the prediction of indirect tensile strength, this important asphalt mechanical parameter of warm mix asphalt as a function of Foamed Bitumen Content (FBC) and the RAP share in the new asphalt mixture. Among others, linear regression analysis and support vector regression (SVR) models were applied.

Results. A comparison performed between Random Forest and Neural Network models illustrates and proves the versatility of machine learning techniques in predicting asphalt indirect tensile strength values both in wet and dry conditions. The research work enhances our understanding of the multifaceted dynamics influencing the performance of asphalt mixtures, offering valuable insights for optimizing pavement design and construction practices in diverse environmental conditions. The model developed successfully captures the relationship between the ITS (wet and dry) metric and its contributing factors, Foamed Bitumen Content (FBC) and RAP, with a high *R*-squared value.

Keywords: foamed bitumen; warm mix asphalt; Neural Network; support vector regression model; Machine learning.

Introduction

Ninety-six percent of the extensive road network, encompassing a substantial expanse of four million feet, is enveloped by asphalt, underscoring the pervasive integration of this material [1]. The vitality of pavement integrity is contingent upon the nuanced interplay of asphalt mixtures, wherein sophisticated design methodologies assume the role of orchestrators for achieving desirable engineering attributes. Taking centre stage in this milieu are the Superpave method, the Bailey method, the Coarse Aggregate Void Filling method (CVAF), Marshall method and the Balanced Mix method each distinguished as prominent methodologies that intricately contribute to the formulation of asphalt mixtures [2, 3].

The growing interest in warm mix asphalt (WMA) and its associated benefits has become more pronounced in recent years, driven by the potential for reduced costs in road projects, energy efficiency, and decreased fuel consumption. WMA's additional environmental advantages, particularly in emission reduction, contribute positively to both environmental conservation and the well-being of workers. Various technologies have emerged to address the need for lower temperatures in pavement construction, foaming asphalt (bitumen) standing out as an important key in the sustainable pavement construction [4].

The utilization of foam bitumen technology extends widely to the stabilization of base layers, offering a multitude of benefits. These include fortifying the base layer for increased strength, resulting in reduced pavement thickness requirements, enhanced resistance to water permeability, fewer construction-induced

wet spots, and heightened resilience to adverse weather conditions. The inception of foaming bitumen dates back to 1956 when Professor Csanyi introduced the concept at Iowa State University [5]. Subsequent advancements by Mobil Oil, including the introduction of an expansion chamber, further refined the technology.

The mechanics of foam bitumen involve a meticulous blending of water, air, and bitumen within the expansion chamber. This orchestrated process entails injecting a small quantity of cold water into hot bitumen, causing it to expand to approximately fifteen times its original volume [6]. The characteristics of foam bitumen, such as the expansion ratio (ER) and half-life (HL), are intricately influenced by factors such as bitumen temperature, water percentage, air pressure, and bitumen quality. It's noteworthy that an increased water content amplifies the expansion ratio while concurrently diminishing the half-life a delicate balance in the intricate operation of sustainable pavement construction.

In addressing environmental sustainability concerns, there is a growing inclination towards optimizing the utilization of recycled asphalt materials (RAM), encompassing both reclaimed asphalt pavement (RAP) and recycled asphalt shingles (RAS). The amalgamation of RAM into novel asphalt mixtures not only serves to mitigate material costs but also contributes to the conservation of non-renewable resources. An investigation conducted by the National Asphalt Pavement Association (NAPA) in 2018 underscored a discernible trend, spotlighting a continuous increase in the nationwide average percentage of RAP in asphalt mixtures—from 15.6 % in 2009 to 21.1 % in 2018. Furthermore, the utilization of RAS experienced a notable upswing of 11.6 % between 2017 and 2018. Intriguingly, a significant 77 % of State Asphalt Paving Associations voiced the perspective that there remains untapped potential to further augment the assimilation of these recycled materials [7].

Studies have delved into the performance of foam bitumen mix (FBM) with varying reclaimed asphalt pavement (RAP) content, as explored by [8] and [9]. The examination of microstructures, particularly the effectiveness of mix coating, has been conducted using scanning electron microscope (SEM), as evidenced by studies such as those by [10] and [11]. The utilization of SEM and X-ray computed tomography has further been employed to scrutinize air void distribution in recycled mixtures, as reported in studies by [12] and [13].

To enhance the efficiency of laboratory experiments, researchers have employed modelling techniques such as artificial neural networks and design of experiments to identify the optimal bitumen content for various mixes. This approach has been exemplified in studies by [14]. Notably, it specifically evaluated the best binder content for warm recycled aggregate mixtures through the application of response surface methodology.

Background

Influence of binder

In a comprehensive exploration, Abreu et al. [15] delved into the influence of bitumen grade on foaming, particularly when combined with varying Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) content in Foam Bitumen Mixtures (FBM). Their findings indicated that a softer grade of bitumen becomes imperative as the RAP content increases, leading to improved results in the foaming process. This insight emphasizes the nuanced relationship between bitumen characteristics and RAP content in optimizing foaming outcomes.

Arefin et al. [16] contributed to the body of knowledge by examining the short and long-term aging effects of Foam Bitumen Mixtures (FBM). Their research underscored the pivotal role of binder quality in influencing the aging process of the mixture. This conclusion accentuates the significance of considering the inherent properties of the binder in evaluating the durability and performance of foamed asphalt mixtures over time.

In a more recent investigation, Kar et al. [17] focused on understanding how the asphaltene and aromatic content of bitumen affect foaming characteristics. By scrutinizing these specific components, the study provided valuable insights into the intricate relationship between bitumen composition and the foaming process, contributing to the ongoing refinement of foamed asphalt technologies.

Notably, studies by Bairgi et al. [18] and Hasan et al. [19] challenged conventional notions by revealing that the elastic behaviour, as measured by elastic modulus, of the foamed binder does not exhibit a direct correlation with the foaming water content. This divergence from conventional expectations suggests

that the complex interplay of factors influencing the foaming process extends beyond a straightforward relationship between elastic modulus and foaming water content.

Influence of RAP Content on FBM Performance

The impact of reclaimed asphalt pavement (RAP) content on the performance of Foam Bitumen Mix (FBM) has been subject to various investigations. Taziani et al. [20] conducted an assessment on FBM containing 100 % RAP and Portland cement as a filler. Their study involved the evaluation of dynamic creep and dynamic modulus, with comparisons drawn against the addition of fibres into the mix. The findings highlighted a notable positive influence on FBM performance attributed to the inclusion of fibers and cement.

Chomicz-Kowalska and Ramiączek [21] engaged in a comparative analysis between foam mix and emulsion mix. Their evaluation considered different laboratory compaction methods and varied percentages of RAP material. The results shed light on the impact of these factors on the properties of both mixes, emphasizing the significance of RAP content in influencing performance.

Hou et al. [22] delved into the study of RAP gradation's effect on the dynamic modulus of FBM under low temperatures (sub-zero area). Their research indicated that coarser gradations had a diminishing effect on the dynamic modulus of FBM at low temperatures. However, this influence was not significant at higher temperatures.

Guatimosim et al. [23] conducted a comprehensive assessment involving laboratory and field evaluations of cold recycled mix with foamed bitumen. Their results demonstrated early-stage damage in comparison to conventional mixtures. Over time, the deflection reduced with an increase in layer stiffness, emphasizing the evolving nature of FBM performance.

Impact of Mixing Temperature on FBM Performance

Foamed bitumen mixes are placed and compacted at ambient temperatures, often referred to as cold mixes, the role of mixing temperature becomes crucial. Several studies have underscored the significance of heating aggregates for improved coating and enhanced engineering properties [4]. Research indicates that the optimum mixing temperature for foamed asphalt mixes falls within the range of 13 °C to 23 °C, dependent on the aggregate type. Aggregates below this temperature range result in a lower quality foam asphalt mix [5].

Sánchez et al. [24] elevated aggregate temperatures up to 160 °C while preparing FBM samples with 60 % RAP content. Their findings indicated that exceeding an aggregate temperature increase of 90 °C resulted in the aging of RAP, subsequently reducing fatigue resistance. This underscores the importance of carefully controlling mixing temperatures to ensure optimal performance and longevity of foamed bitumen mixes.

Impact of foamed bitumen content

Foamed asphalt binders showcase diminished resistance to shear deformation when juxtaposed with their unfoamed counterparts. The foaming of asphalt, in turn, augments fatigue performance by mitigating asphalt stiffness. This amelioration is ascribed to the reduced temperatures required for mixing and compaction in foamed warm mixes, resulting in a decrease in aging effects. The inclusion of aged binder from reclaimed asphalt pavement (RAP) plays a pivotal role in compensating for the softer warm mix binder, thereby contributing to the mitigation of aging in asphalt binders within Foamed Warm Mix Asphalt (FWMA) containing RAP. Consequently, this intricate interplay underscores the potential advantages of asphalt foaming in optimizing fatigue resistance, particularly in scenarios involving the incorporation of recycled materials like RAP [25].

Methodology

Determination of aggregate gradation and optimum moisture content

Mixed operations involved the use of two gradations containing 100 % reclaimed asphalt pavement (RAP), two with 75 % RAP, two with 50 % RAP, two with 25 % RAP, and two consisting entirely of virgin aggregate all adhering to standard specifications (**Fig. 1**). The maximum specific gravity (Gmm) for these gradations were recorded as follows: 2.464, 2.471, 2.476, 2.468 and 2.474, respectively.

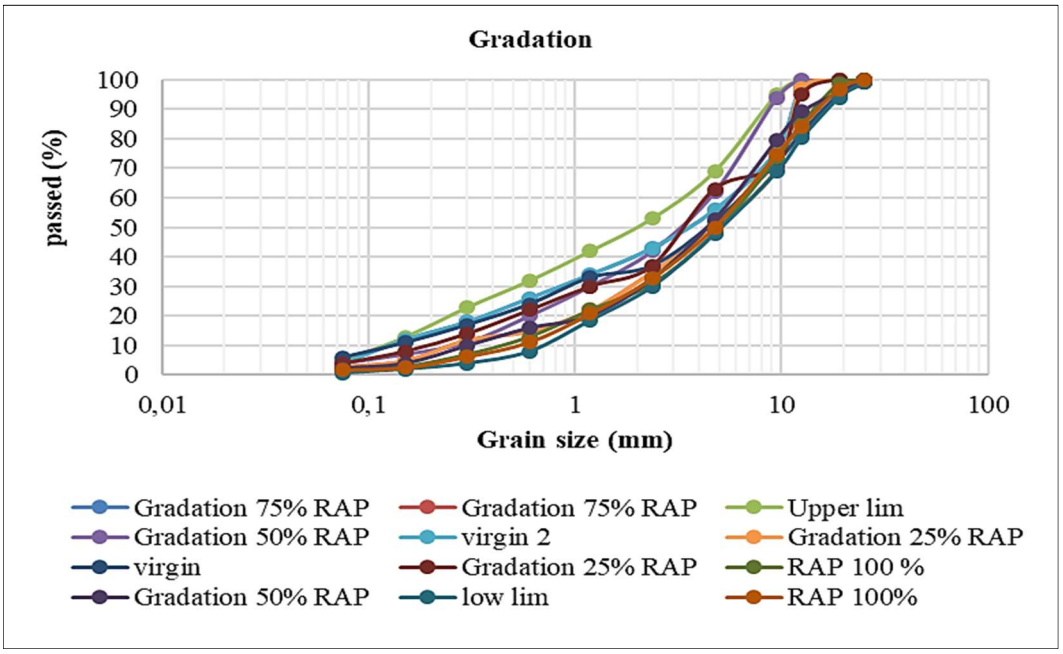


Figure 1 — Gradations selected

Determination of optimum moisture content

In our comprehensive testing series, the bitumen 70/100 was focused on, actually its compatibility with the specified standards. The results demonstrated that bitumen 70/100 met the prescribed criteria, further solidifying its suitability for effective aggregate stabilization in road construction applications. The culmination of these procedures yields optimal foamed bitumen characteristics, as evidenced by a half-life of 10.2 seconds and an expansion ratio of 12.6 times. These desirable properties are attained specifically with a 2 % water content at a bitumen temperature of 170 °C. Notably, these foam characteristics align with the prescribed standards, as articulated by the Wirtgen Group [6], demanding a minimum expansion ratio of 8 times the original volume and a half-life of 6 seconds for effective aggregate stabilization at temperatures exceeding 15 °C (**Figs. 2 – 4**).

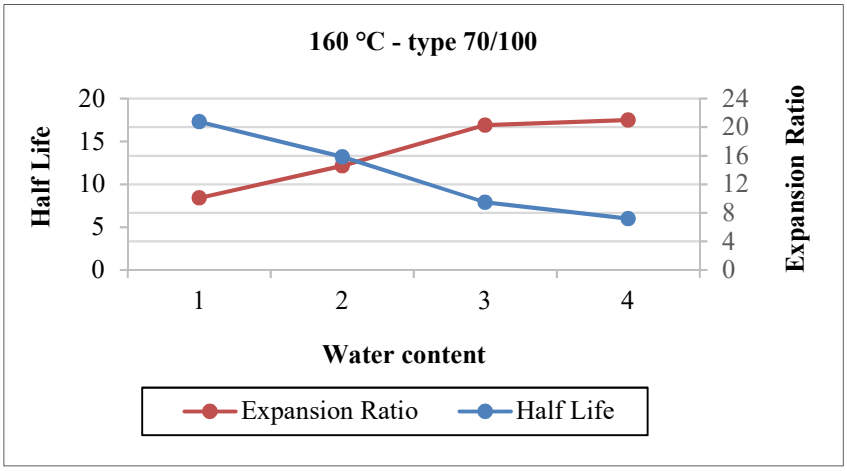


Figure 2 — Expansion Ratio & Half Life for bitumen 70/100 in 160 °C

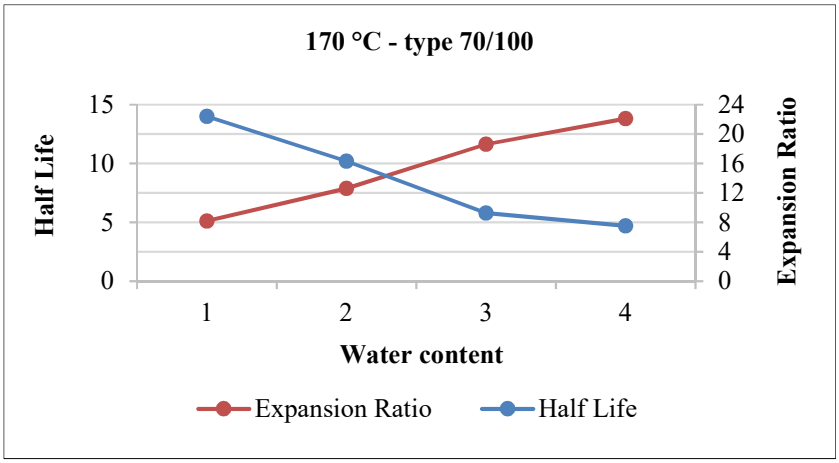


Figure 3 — Expansion Ratio & Half Life for bitumen 70/100 in 170 °C

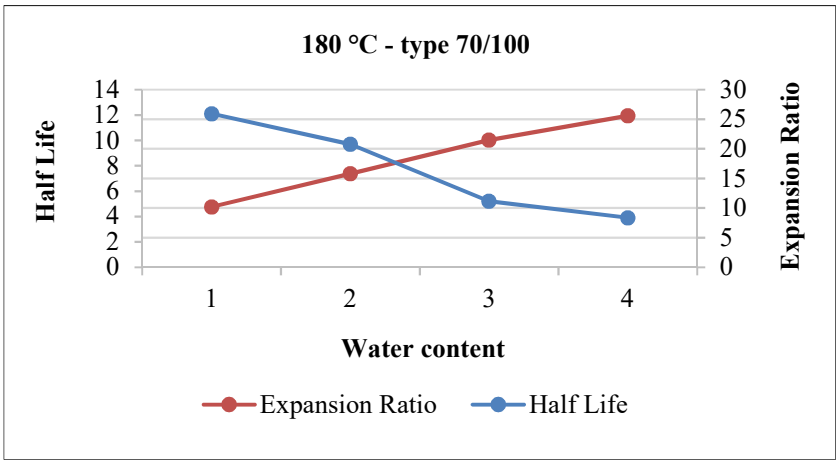


Figure 4 — Expansion Ratio & Half Life for bitumen 70/100 in 180 °C

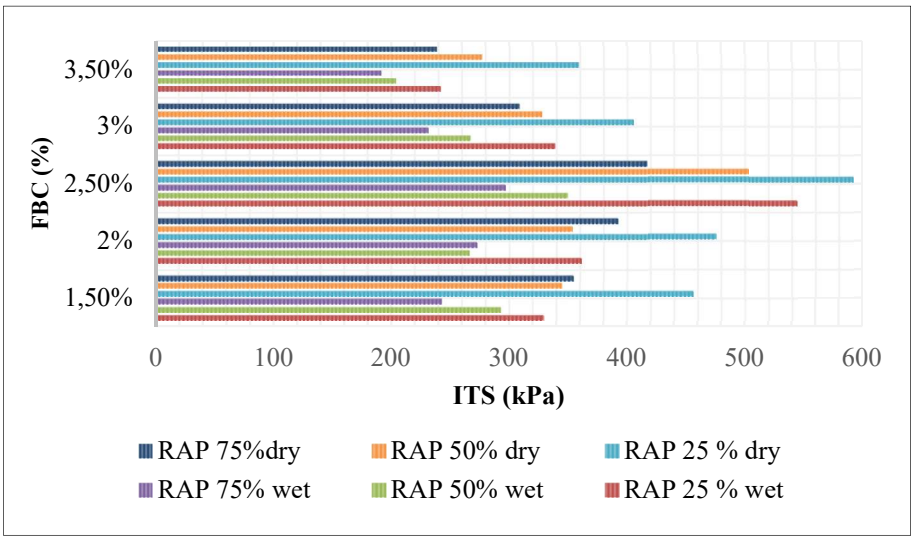


Figure 5 — ITS values as a function of FBC (%) and RAP (%)

Optimization of foam bitumen

The results in **Figure 5** illustrates the influence of both FBC and RAP percentages on the strength of the asphalt mixtures under different conditions. The data suggests that variations in these percentages can lead to significant differences in ITS, emphasizing the importance of carefully selecting FBC and RAP proportions for achieving desired performance characteristics in asphalt mixtures, particularly with respect to strength in wet and dry conditions.

TSR (Tensile Strength Ratio) in Indirect Tensile Strength (ITS) testing is a critical parameter for evaluating the thermal cracking resistance of asphalt mixtures. This testing method assesses the material's tensile strength under different temperature conditions. The TSR is calculated by comparing tensile strength at low and high temperatures. A high TSR indicates better resistance to cracking in cold weather, while a low TSR suggests susceptibility to thermal cracking. Overall, TSR in ITS testing helps in designing and selecting asphalt materials that can withstand diverse temperature conditions, ensuring the durability of asphalt pavements [26].

In **Figure 6**, the Tensile Strength Ratio (TSR) values are depicted for various combinations of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) and Foam Bitumen Content (FBC). All data points exhibit TSR values equal to or greater than 70, except for the specific case of (RAP 25 % with FBC 3.5 %), suggesting potential vulnerability to thermal cracking in this percentages.

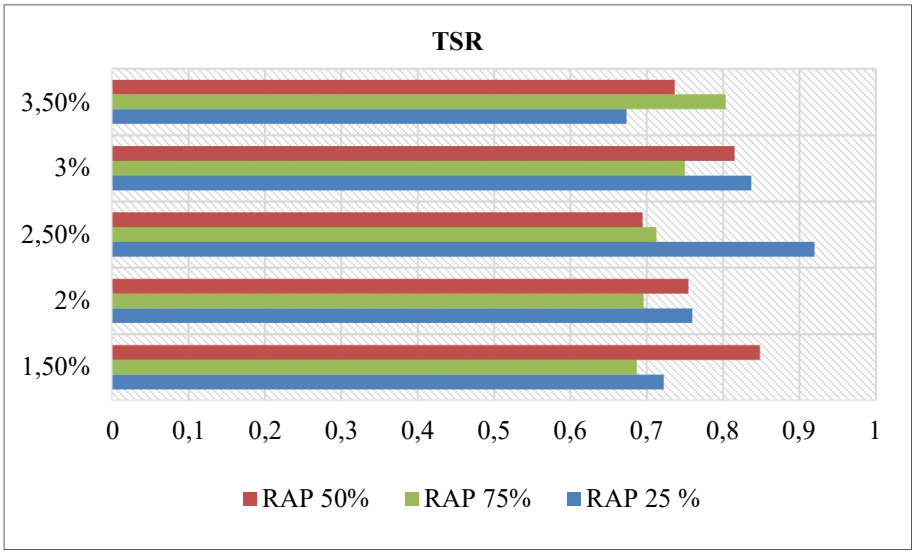


Figure 6 — Tensile Strength Ratio values as a function of FBC (%) and RAP (%)

Machine learning models

Support Vector regression (SVR)

The concept of Support Vector Machines for regression problems was initially introduced by Vapnik et al. [27] serving as a margin of tolerance (epsilon), is individually determined. Samples outside this region contribute to the calculation of the overall loss. The essence of SVR lies in fitting the target curve to minimize errors and customize the hyperplane for maximizing the margin.

The versatility of the SVR algorithm has been increasingly utilized for predicting various properties of asphalt mixtures in recent research. Notably, SVR has proven to be a precise model for predicting the dynamic modulus [28], [29] in predicting the dynamic modulus of Hot Mix Asphalt (HMA) [28]. Furthermore, SVR models have successfully predicted rut depth and indirect tensile strength of asphalt mixtures [30], [31]. Significantly, SVR models have also been developed for predicting pavement conditions with promising outcomes [32], [33]. This highlights the versatility and efficacy of SVR in diverse applications within the realm of asphalt research and pavement performance prediction.

Adam optimizer

The Adam optimizer is a popular optimization algorithm used in training neural networks. It stands for Adaptive Moment Estimation, and it combines techniques from two other optimization algorithms: Momentum optimization and RMSProp (Root Mean Square Propagation). Adam is known for its effectiveness in handling sparse gradients, noisy data, and non-stationary objective functions. Adam's adaptive learning rates for each parameter and its momentum-like behaviour make it well-suited for training deep neural networks. It combines the advantages of both momentum and RMSProp, providing robust and efficient optimization for a wide range of deep learning tasks [34].

Random Forest (RF)

Ensemble approaches leverage the synergy of multiple learning algorithms to enhance predictive performance beyond the capabilities of individual algorithms [35]. Bagging (Bootstrap Aggregating) is a prominent method within ensemble learning, and Random Forest emerges as an advanced iteration, building on the principles of bootstrap aggregation. This technique aggregates predictions from a series of decision trees [36].

Random Forest distinguishes itself from bagging by introducing a unique advantage it can selectively choose a subset of features for splitting when constructing each decision tree. This feature significantly reduces the model's variance without introducing undue prediction bias. In the Random Forest algorithm, the final output is determined through a majority voting mechanism, especially in regression scenarios.

Random Forest has demonstrated effectiveness in predicting critical characteristics such as dynamic modulus [9], rut depth [37], International Roughness Index (IRI) [37], alligator cracking [38], and pavement friction [39]. Its flexibility and robustness position Random Forest as a valuable tool in asphalt research, contributing to precise predictions and informed decision-making in the evaluation of pavement properties and performance.

Bitumen foaming model

Three models were built, the first model is a regression task in machine learning, specifically using a neural network to predict the 'ITS' based on input features 'FBC' and 'RAP'. The model utilizes a training loop that refines the model iteratively until the model be able to simulate and study a lot of new values with different conditions.

The second model was built based on the previous one, it conducts linear regression analysis on a dataset comprising four columns: 'FBC', 'RAP', 'ITS_Dry', and 'ITS_Wet'.

The third model was utilizing Support Vector Regression (SVR) to predict Indirect Tensile Strength (ITS) under wet and dry conditions was used.

After that, RF model was built to check the previous models, two separate instances are trained for wet and dry conditions. Following training, the models are evaluated on the test set, and the mean squared error is calculated to quantify their predictive performance.

Results

Relationship between input and ITS

Foamed Bitumen Content (FBC) Impact on ITS

Mechanical Properties: The foamed bitumen content increases the stiffness and flexibility of the asphalt mixture.

Enhanced Performance: Properly controlled FBC can lead to improved adhesion between aggregates and the bitumen binder. This enhanced adhesion can contribute to higher indirect tensile strength (ITS), indicating better resistance to cracking and improved overall performance of the pavement.

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Influence on Mechanical Properties

Sustainability: The use of RAP in asphalt mixes is a sustainable practice as it reduces the demand for virgin materials and minimizes the environmental impact associated with asphalt production.

ITS and Durability: The balanced use of RAP contributes to a mix of good durability and resistance to distress, enhancing the long-term performance of the pavement.

Customization: The combined use of FBC and RAP allows to customize asphalt mix designs to meet specific project requirements, considering factors such as climate, traffic loads, and pavement structure.

Performance of ML models

The first model in this machine learning regression task utilizes a neural network to predict the Indirect Tensile Strength ('ITS') based on input features 'FBC' and 'RAP.' The model undergoes a training loop, refining itself iteratively to simulate and study a wide range of new values under different conditions. In the data preparation step, input features are consolidated into a NumPy array `X`, and the target variable 'ITS' is stored in an array `y`. The training loop involves splitting the data into training and testing sets, standardizing features using `StandardScaler`, and constructing a neural network with specific architecture using the Keras API.

The neural network comprises an input layer with 2 neurons, a hidden layer with 64 neurons and 'relu' activation, another hidden layer with 32 neurons and 'relu' activation, and an output layer with 1 neuron for regression. The model is compiled using the Adam optimizer and mean squared error loss. It is then trained on standardized data for 200 epochs. The Mean Squared Error on the test data and *R*-squared are calculated, and the training history, including plots of loss, validation loss, and *R*2, is visualized in **Figure 7**.

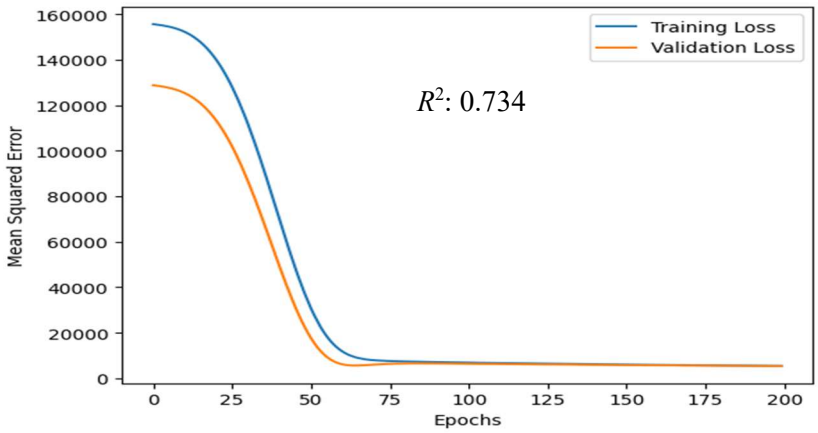


Figure 7 — Training and Validation Loss histories (model 1)

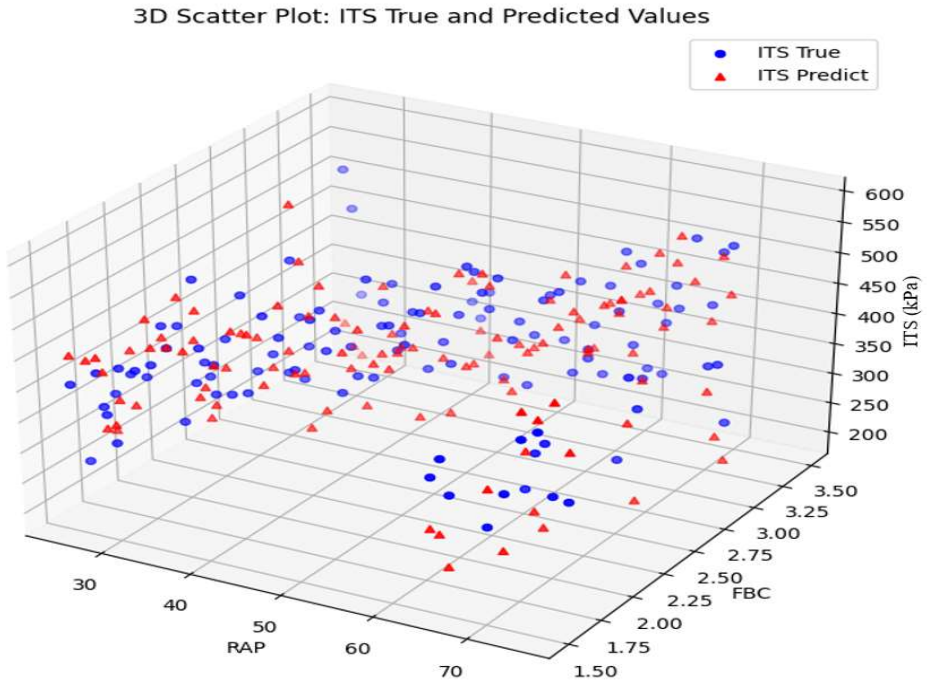


Figure 8 — 3D scatter plot of ITS values as a function of FBC (%) and RAP (%)

Figure 8 displays 3D scatter plots that result from the trained model, offering a visual representation of the relationship between true and predicted 'ITS' values. These plots provide insights into how well the model aligns with the actual data. Additionally, **Figure 9** shows 2D scatter plots captured during the training process, allowing observation of the evolution and adjustments in the model's predictions over time.

A correlation analysis between the variables investigated was performed, as shown in **Figure 10**.

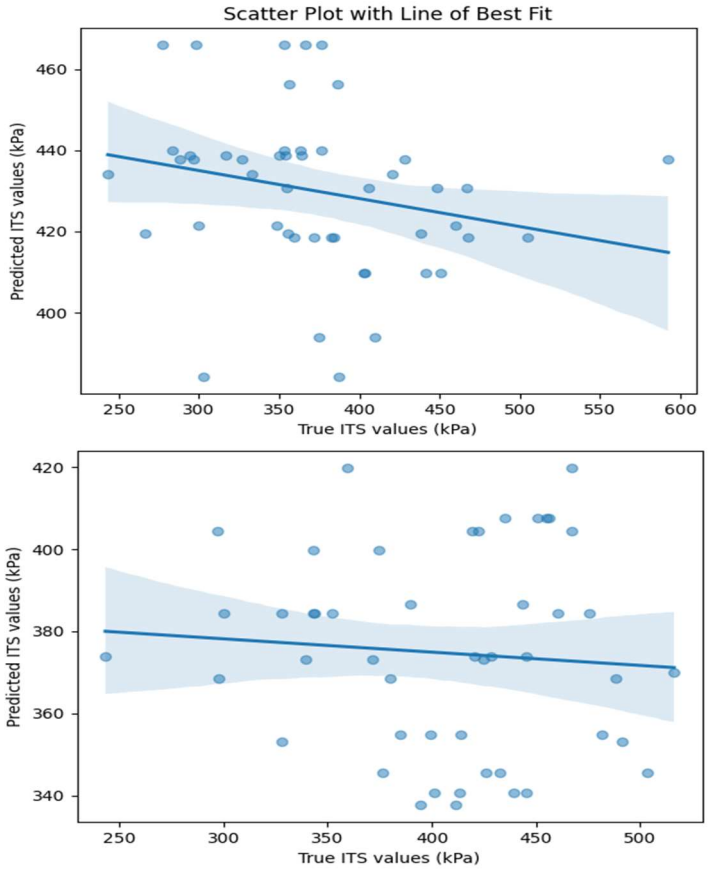


Figure 9 — 2D scatter plots of ITS values during training process

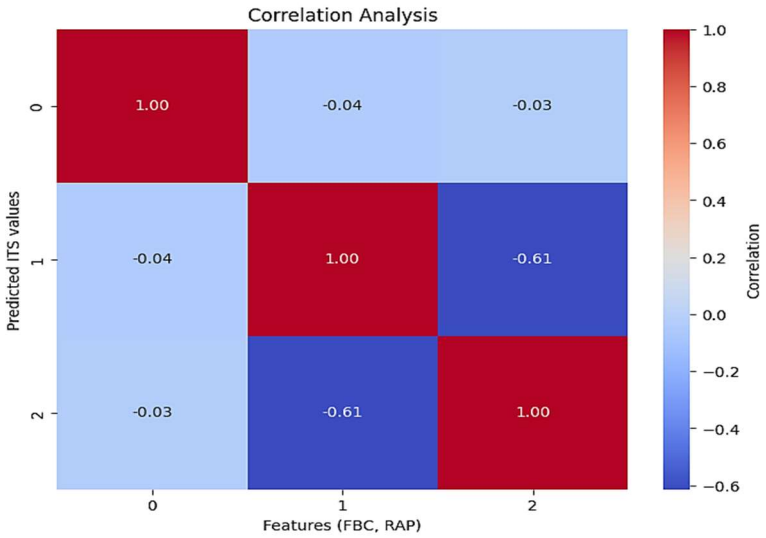


Figure 10 — Correlation analysis (model 1)

The final equation of the model is expressed as:

$$\text{ITS} = 0.294 \cdot \text{FBC} + 13.57 \cdot \text{RAP} + 387.49. \quad (1)$$

This equation captures the relationship learned by the neural network between the input features and the predicted 'ITS' values.

The training process involves the use of the mean squared error (MSE) loss function and the Adam optimizer. The key equations associated with the learning process include:

(1) MSE Loss Function:

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2. \quad (2)$$

The Mean Squared Error is employed as the loss function, where n is the number of data points, y_i is the true 'ITS' value, and $\hat{y}_i$ is the predicted 'ITS' value.

(2) Adam Optimization:

The Adam optimizer updates the model weights using the following equations:
update rules at each time step (t):

$$t = t + 1, \quad (3)$$

compute gradient at time step t:

$$g_t = \nabla_\theta \cdot J(\theta_t), \quad (4)$$

update first moment estimate:

$$m_t = \beta_1 \cdot m_{t-1} + (1 - \beta_1) \cdot g_t, \quad (5)$$

update second moment estimate:

$$m_t = \beta_1 \cdot m_{t-1} + (1 - \beta_1) \cdot g_t, \quad (6)$$

bias-corrected first moment estimate:

$$\hat{m}_t = \frac{m_t}{1 - \beta_1^t}, \quad (7)$$

bias-corrected second moment estimate:

$$\hat{v}_t = \frac{v_t}{1 - \beta_2^t}, \quad (8)$$

update parameters:

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \alpha \cdot \frac{\hat{m}_t}{\sqrt{\hat{v}_t} + \varepsilon}. \quad (9)$$

Here, $J(\theta_t)$ represents the objective function with respect to the parameters θ_t, $\nabla_\theta \cdot J(\theta_t)$ is the gradient of the objective function, and ε is a small constant (e.g., (1e-8) added to avoid division by zero.

These equations play a crucial role in adjusting the model parameters during training, aiming to minimize the MSE loss and enhance the predictive accuracy of the 'ITS' values.

The second model performs linear regression analysis on a dataset containing four columns: 'FBC', 'RAP', 'ITS_Dry', and 'ITS_Wet.' The data is loaded into a Pandas DataFrame and then divided into features (X) and target variables (y). The dataset undergoes further partitioning into training (80 %) and testing (20 %) sets using `train_test_split`. To maintain consistent scales across features, feature scaling is applied using `StandardScaler`.

The linear regression model is trained on the training data utilizing the `LinearRegression` class from scikit-learn. Predictions are generated on the scaled test set. Notably, this model considers both 'ITS_Dry' and 'ITS_Wet' as distinct outputs. Visual assessment of the model's performance is conducted through the

creation of two scatter plots (**Fig. 11**). The first subplot presents a scatter plot with the line of best fit for 'ITS_Dry,' while the second subplot does the same for 'ITS_Wet.'

The correlation analysis was performed as shown in **Figure 12**.

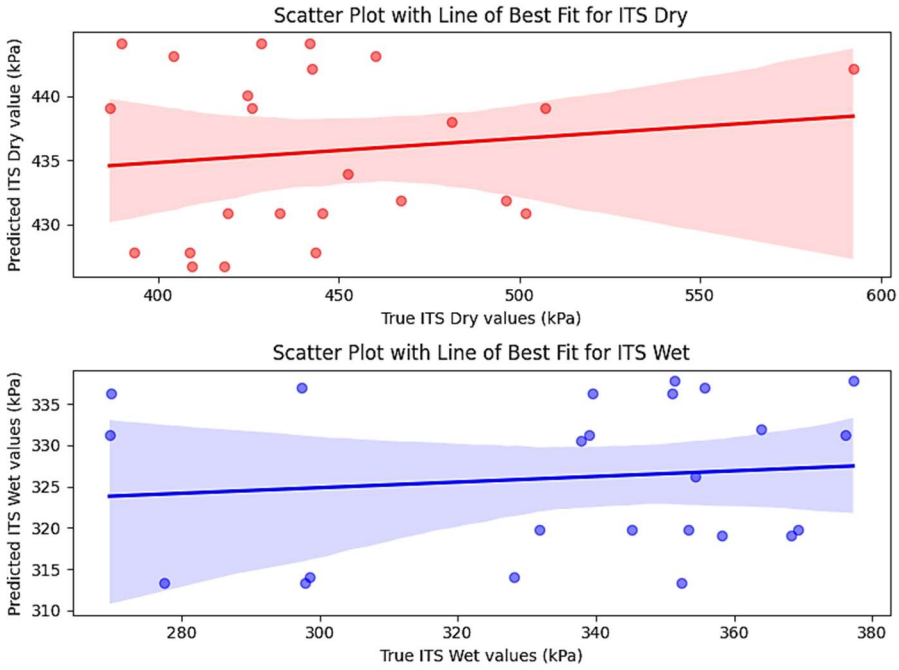


Figure 11 — Scatter Plot with Line of Best Fit for ITS Dry and ITS wet (model 2)

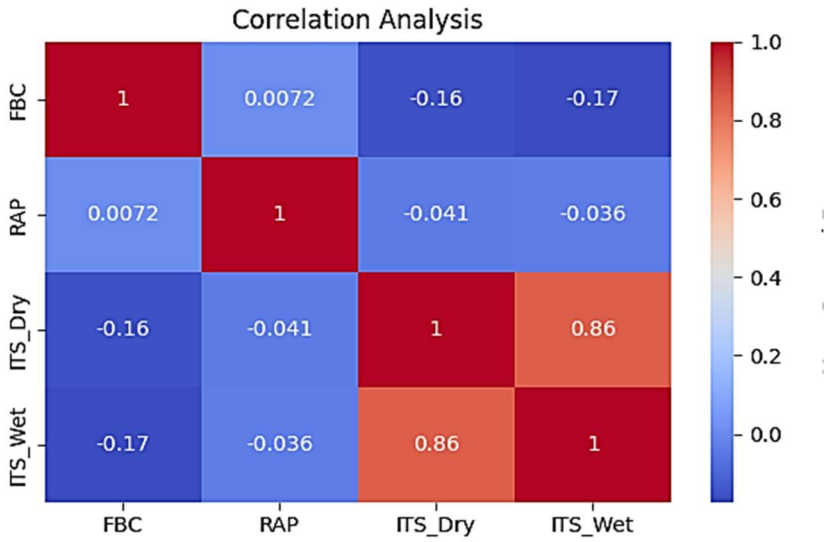


Figure 12 — Correlation analysis (model 2)

The Neural Network models are designed with two hidden layers, comprising 256 and 128 neurons, and ReLU activation functions. These models are compiled using the Adam optimizer with a learning rate of 0.001 and mean squared error loss. The features are standardized using `StandardScaler`, and the Neural Network models are then trained for 300 epochs as shown in **Figure 13**.

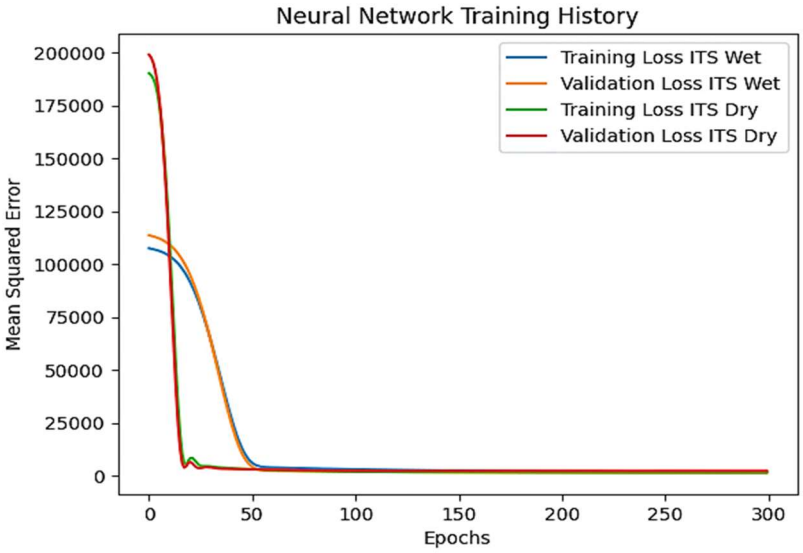


Figure 13 — Neural network training history (model 3)

The third model utilizes Support Vector Regression (SVR) to predict Indirect Tensile Strength (ITS) under wet and dry conditions was used. The dataset is structured with features ('FBC' and 'RAP') and corresponding target variables ('ITS_wet' and 'ITS_dry'). The dataset is then split into training and testing sets for both wet and dry conditions. To ensure consistent scaling, feature standardization is performed using `StandardScaler`. Two SVR models are trained separately for wet and dry conditions, employing a linear kernel.

Following training, predictions are made on the test set, and model performance is evaluated using key metrics such as *R*-squared and correlation coefficients for both wet and dry conditions. The dataset is split into training and testing sets, and feature standardization is performed using `StandardScaler`. The model is trained for 300 epochs with a batch size of 32, and the training history (**Fig. 14**), including loss and validation loss.

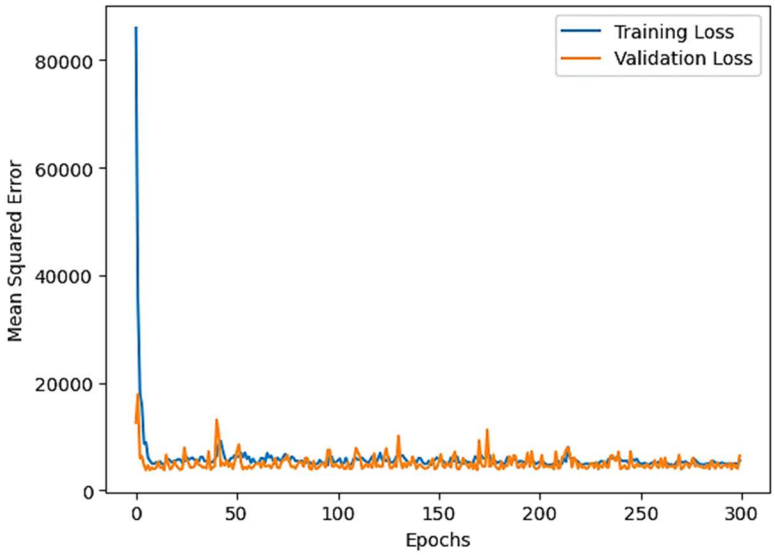


Figure 14 —Training and Validation Loss histories (model 3)

The ITS metric performance is:
For ITS wet: *R*-squared: 0.7125; correlation: – 0.025.
For ITS dry: R-squared: 0.7801; correlation: – 0.023.
The ITS metric performance is:
For ITS wet: *R*-squared: 0.7125; correlation: – 0.025.
For ITS dry: *R*-squared: 0.7801; correlation: – 0.023.
The resulted equations for this model were:

$$\text{ITS wet} = 341.33 + - 1.44 \cdot \text{FBC} + 2.81 \cdot \text{RAP}, \quad (10)$$

$$\text{ITS dry} = 412.30 + - 1.48 \cdot \text{FBC} + 2.77 \cdot \text{RAP}. \quad (11)$$

In the checking model (using Random Forest) scatter plots are generated to provide a visual representation of the predictions made by both Random Forest and Neural Network models against the true 'ITS' values for both wet and dry conditions (**Fig. 15**).

Furthermore, a correlation analysis is conducted to determine the correlation coefficients between thetrue and predicted 'ITS' values for both Random Forest and Neural Network models in wet and dry conditions (**Fig. 16**).

The model evaluates two predictive models, namely Random Forest and Neural Network, for estimating 'ITS' values in both wet and dry conditions based on the features 'FBC' and 'RAP'. The Random Forest models are constructed using the `Random Forest Regressor` from scikit-learn with 100 estimators, while the Neural Network models are built using Keras with a consistent architecture for wet and dry conditions.

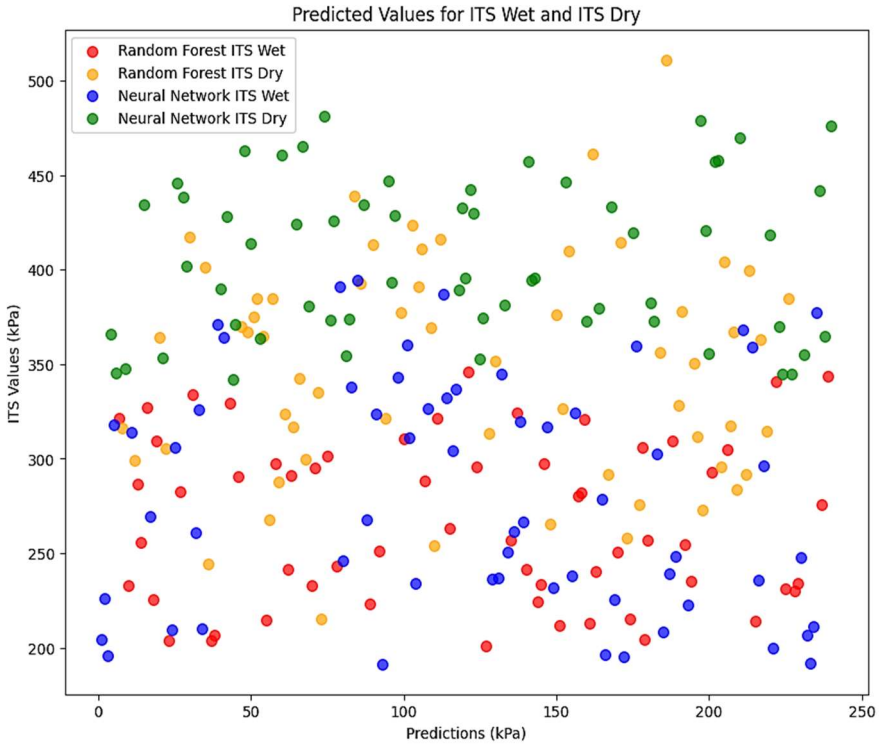


Figure 15 — Scatter plot of ITS Wet and Dry values predicted by Random Forest and Neural Network models (model 3)

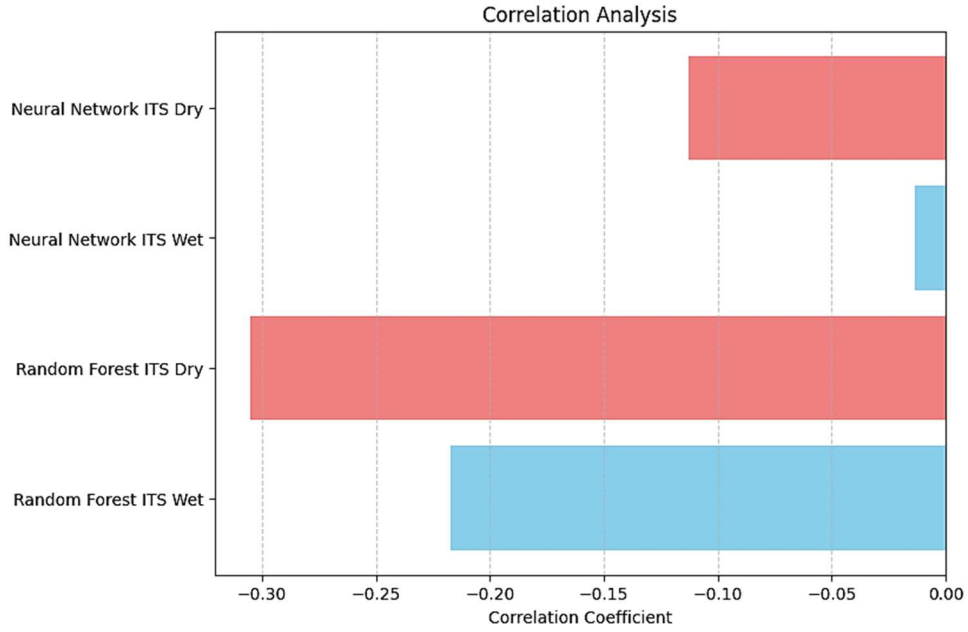


Figure 16 — Correlation analysis with correlation coefficients (model 3)

Conclusions

In conclusion, the comprehensive analysis undertaken in this study sheds light on the intricate relationships between foamed bitumen content (FBC), reclaimed asphalt pavement (RAP), and the indirect tensile strength (ITS) of asphalt mixtures. The impact of FBC on mechanical properties and enhanced performance, coupled with the sustainable practices associated with RAP, collectively contribute to the overall durability and resistance to distress of asphalt pavements.

The developed model successfully captures the relationship between ITS metric and its contributing factors, FBC and RAP. The model demonstrates a reasonably high $R2$-value of 0.734, indicating a good fit to the data.

Further analysis of the model's performance in different conditions reveals that the ITS metric exhibits distinct behaviour in wet and dry conditions. For ITS wet, the $R2$-value of 0.712 and a low correlation of — 0.025 suggest a moderate fit to the data. In contrast, ITS dry demonstrates a higher $R2$-value of 0.780 and a similarly low correlation of — 0.02, indicating a slightly better fit in dry conditions.

Linear regression analysis and support vector regression (SVR) models are also explored, each providing valuable insights into the prediction of ITS under different conditions. The models' evaluation, including scatter plots, correlation analyses, and $R2$-metrics, demonstrates the effectiveness of these approaches in capturing the inherent complexities of the asphalt mixture.

Furthermore, the comparison between Random Forest and Neural Network models proves the versatility of ML techniques in predicting asphalt ITS values for both wet and dry conditions.

References

1. Roberts, F. L., Mohammad, L. N.,Wang, L. B. History of Hot Mix Asphalt Mixture Design in the United States. 2011 [in English].

2. Cooper, S. B. et al. Balanced asphalt mixture design through specification modification: Louisiana's experience, Transportation Research Record. 247 (1), 2014. DOI: https://doi.org/10.3141/2447-10 [in English].

3. Baghaee M. T., Baaj, H. Application of compressible packing model for optimization of asphalt concrete mix design. *Construction and Building Materials.* 159, 2018. P. 530–539 [in English].

4. Kar, S. S. et al. Impact of low viscosity grade bitumen on foaming characteristics. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*. 60 (2), 2018. P. 40–52 [in English].

5. Csanyi, L. H. Foamed asphalt in bituminous paving mixtures. *Highway Research Board Bulletin*, 160, 1957. P. 108–122 [in English].

6. Wirtgen, G. Wirtgen cold recycling technology. 2012 [in English].

7. Williams, B. A., Copeland, A., Ross, T. C. Asphalt pavement industry survey on recycled materials and warm-mix asphalt usage: 2017. 2018 [in English].

8. Iwanski, M. M., Chomicz-Kowalska, A., Maciejewski, K. Resistance to moisture-induced damage of half-warm-mix asphalt concrete with foamed bitumen. *Materials*. 13 (3), 2020, 654. DOI: http://doi.org/ma13030654 [in English].

9. Kar, S. S. et al. Impact of binder on properties of foamed bituminous mixtures. *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Construction Materials*. 170 (4), 2017. P. 194–204 [in English].

10. Hoy, M., Horpibulsuk, S., Arulrajah, A. Strength development of Recycled Asphalt Pavement - Fly ash geopolymer as a road construction material. *Construction and Building Materials*, 117, 2016. P. 209–219 [in English].

11. Dong, F. et al. Comparison of high temperature performance and microstructure for foamed WMA and HMA with RAP binder. *Construction and Building Materials*, 134, 2017. P. 594–601 [in English].

12. Li, J., Fu, W., Zang, H. Design Method for Proportion of Cement-Foamed Asphalt Cold Recycled Mixture. MATEC Web of Conferences, 142, 2018, 02002 [in English].

13. Li, Z. et al. Effect of cement on the strength and microcosmic characteristics of cold recycled mixtures using foamed asphalt. *Journal of Cleaner Production*, 230, 2019, P. 956–965 [in English].

14. Bala, N., Napiah, M., Kamaruddin, I. Nanosilica composite asphalt mixtures performance-based design and optimisation using response surface methodology. *International Journal of Pavement Engineering*. 21 (1), 2020. P. 29–40 [in English].

15. Abreu, L. P. F. et al. Suitability of different foamed bitumens for warm mix asphalts with increasing recycling rates. *Construction and Building Materials*, 142, 2017. P. 342–353 [in English].

16. Arefin, M. S. et al. Effect of short-term and long-term ageing on dynamic modulus of foamed warm mix asphalt. International *Journal of Pavement Engineering*. 21 (4), 2020. P. 524–536 [in English].

17. Kar, S. S. et al. Impact of Chemical Composition on Foaming Characteristics of Asphalt Binder. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*. 146 (3), 2020, 04020045 [in English].

18. Bairgi, B. K., Mannan, U. A., Tarefder, R. A. Influence of foaming on tribological and rheological characteristics of foamed asphalt. *Construction and Building Materials*. 205, 2019. P. 186–195 [in English].

19. Hasan M. R. et al. Characterizations of foamed asphalt binders prepared using combinations of physical and chemical foaming agents. *Construction and Building Materials.* 204, 2019. P. 94–104 [in English].

20. Taziani, E. A. et al. Investigation on the combined effect of fibers and cement on the mechanical performance of foamed bitumen mixtures containing 100 % RAP. Advances in Materials Science and Engineering, 2016 [in English].

21. Chomicz-Kowalska, A., Ramiaczek, P. Comparative Evaluation and Modification of Laboratory Compaction Methods of Road Base Mixtures Manufactured in Low-emission CIR Technology with Foamed Bitumen and Bitumen Emulsion. In: Procedia Engineering. Elsevier Ltd. 2017. P. 560–569 [in English].

22. Hou, Y. et al. Dynamic Characteristics of Warm Mix Foamed Asphalt Mixture in Seasonal Frozen Area. Advances in Materials Science and Engineering, 1825643, 2019 DOI: https://doi.org/10.1155/20191825643 [in English].

23. Guatimosim, F. V. et al. Laboratory and field evaluation of cold recycling mixture with foamed asphalt. *Road Materials and Pavement Design*, 19 (2), 2018. P. 385–399 [in English].

24. Sánchez, D. B., Airey, G., Caro, S., Grenfell, J. Effect of foaming technique and mixing temperature on the rheological characteristics of fine RAP-foamed bitumen mixtures. *Road Materials and Pavement Design*, 21 (8) 2020, 2143–2159. DOI: https://doi.org/10.1080/14680629. 2019. 159322 [in English].

25. Gandhi, T., Rogers, W., Amirkhanian, S. Laboratory evaluation of warm mix asphalt ageing characteristics. *International Journal of Pavement Engineering*, 11 (2), 2010. P. 133–142 [in English].

26. Kamran, F. et al. Performance evaluation of stabilized base course using asphalt emulsion and asphaltenes derived from Alberta oil sands. In *Transportation Research Record. SAGE Publications Ltd*. 2675 (10), 2021. P. 764–775. DOI: https://doi.org/10.1177/03611981211012692 [in English].

27. Vapnik, V. The nature of statistical learning theory. Springer Science & Business Media. 1999 [in English].

28. Gopalakrishnan, A., Kim, S. Support Vector Machines Approach to HMA Stiffness Prediction. *Journal of Engineering Mechanics*, 137 (2), 2010. P. 324–335. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)EM. 1943-7889. 0000214 [in English].

29. Maalouf, M., Khoury, N., Trafalis, T. B. Support vector regression to predict asphalt mix performance. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 32 (16), 2008. P. 1989–1996 [in English].

30. Nazemi, M., Heidaripanah, A. Support vector machine to predict the indirect tensile strength of foamed bitumen-stabilised base course materials. *Road Materials and Pavement Design*, 17 (3), 2016. P. 768–778 [in English].

31. Zhao, Y. et al. Prediction of air voids of asphalt layers by intelligent algorithm. *Construction and Building Materials*, 317, 2022. 125908 [in English].

32. Ziari, H. et al.: Prediction of pavement performance: Application of support vector regression with different kernels. *Transportation Research Record*, 2589, 2016. P. 135–145 [in English].

33. Karballaeezadeh, N. et al. Prediction of remaining service life of pavement using an optimized support vector machine (case study of Semnan–Firuzkuh road). *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 13 (1), 2019. P. 188–198.

34. Huang, Y., Li, J., Fu, J. Review on application of artificial intelligence in civil engineering, CMES - *Computer Modeling in Engineering and Sciences*, 121 (3), Tech Science Press, 2019. P. 845–875. DOI: https://doi.org/10.32604/cmes.2019.07653 [in English].

35. Gong, H. et al. Use of random forests regression for predicting IRI of asphalt pavements. *Construction and Building Materials*, 189, 2018. P. 890–897 [in English].

36. Fathi, A. et al. Parametric Study of Pavement Deterioration Using Machine Learning Algorithms. Proceedings of International Airfield and Highway Pavements Conference, 2019. P. 12. DOI: http://dx.doi.org/10.1061/9780784482476.004 [in English].

37. Gong, H. et al. Investigating impacts of asphalt mixture properties on pavement performance using LTPP data through random forests. *Construction and Building Materials*, 204, 2019. P. 203–212 [in English].

38. Zhan, Y. et al. Effect of aggregate properties on asphalt pavement friction based on random forest analysis. *Construction and Building Materials*, 292. 2021 [in English].

39. Daneshvar, D., Behnood, A. Estimation of the dynamic modulus of asphalt concretes using random forests algorithm. *International Journal of Pavement Engineering*, 23 (2), 2022. P. 250–260 [in English].

Салех Алі[1], *https://orcid.org/0000-0002-6275-0297*
Ласло Гаспар[2], *д-р техн. наук, проф., https://orcid.org/0000-0002-0574-4100*

[1]*Університет Іштвана Сечені, Факультет будівництва, Дьєр, Угорщина*
[2]*Інститут транспортних наук KTI, Некомерційна ТОВ, Будапешт, Угорщина*

МОДЕЛЮВАННЯ НЕПРЯМОЇ МІЦНОСТІ НА РОЗТЯГ ТЕПЛИХ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ ЗІ ЗМІННИМ ВМІСТОМ РЕГЕНЕРОВАНОГО АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ (RAP)

Анотація

Вступ. Сьогодні існує світова тенденція підвищення стійкості дорожнього сектора. У багатьох країнах спостерігається зростання використання різних промислових відходів, а також економічних та екологічних методів будівництва і технічного обслуговування.

Постановка проблеми. Використання теплих асфальтобетонних сумішей та застосування відносно високого вмісту регенерованих асфальтобетонних матеріалів у нових асфальтобетонних сумішах також може мати негативні наслідки.

Мета. Метою дослідження було моделювання непрямої міцності на розтяг теплих асфальтобетонних сумішей зі змінним вмістом регенерованого асфальтобетонного покриття (RAP) на основі серії угорських лабораторних тестів.

Матеріали та методи. Було розроблено три моделі для прогнозування непрямої міцності на розтяг, цього важливого механічного параметра теплих асфальтобетонних сумішей, як функції вмісту спіненого бітуму (FBC) та частки RAP у новій асфальтобетонній суміші. Зокрема, було застосовано методи лінійного регресійного аналізу та підтримуючих векторних регресійних моделей (SVR).

Результати. Порівняння, проведене між моделями випадкового лісу та нейронної мережі, ілюструє та доводить універсальність методів машинного навчання у прогнозуванні значень непрямої міцності асфальтобетону як у вологих, так і в сухих умовах. Це дослідження покращує наше розуміння багатогранної динаміки, що впливає на ефективність асфальтобетонних сумішей, та надає цінні знання для оптимізації проектування та будівельних практик дорожнього покриття в різних умовах навколишнього середовища. Розроблена модель успішно відображає взаємозв'язок між показником ITS (вологий і сухий) та його чинниками, такими як вміст спіненого бітуму (FBC) і RAP, з високим значенням коефіцієнта детермінації R^2.

***Ключові слова*:** машинне навчання, модель підтримуючих векторів регресії, нейронна мережа, спінений бітум, теплий асфальтобетон.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.174

УДК 691.16

Копинець І. В., *канд. техн. наук, https://orcid.org/0000-0002-0908-4795*
Соколова О. Б., *https://orcid.org/0000-0003-4202-8661*
Юнак А. Л., *https://orcid.org/0000-0002-5294-5554*

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

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА УЩІЛЬНЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЇ СУМІШІ

Анотація

Вступ. Якість ущільнення асфальтобетонної суміші у шарі дорожнього одягу оцінюють за показником її коефіцієнта ущільнення. Під коефіцієнтом ущільнення розуміють відношення середньої густини вирубок (кернів) до середньої густини переформованих з них зразків.

Проблематика. Під час підготування проб до виготовлення переформованих зразків має місце відокремлення перерізаних мінеральних матеріалів, яке може вплинути на склад асфальтобетонної суміші та призвести до суттєвих відмінностей порівняно з фактичним складом асфальтобетонної суміші. Аналіз закордонних джерел показав, що коефіцієнт ущільнення визначають за відношенням середньої густини кернів до середньої густини зразків, виготовлених із суміші, яку було використано для влаштування шару дорожнього одягу. Історичний аналіз нормативних документів показав, що вітчизняному методу визначення коефіцієнта ущільнення вже понад 40 років, а за аналізом літературних джерел встановлено, що питанню визначення коефіцієнта ущільнення не надавали уваги. Тому виникає потреба у дослідженні впливу відокремлення перерізаних мінеральних матеріалів на властивості переформованих зразків та значення коефіцієнта ущільнення.

Мета. Удосконалити метод визначення коефіцієнта ущільнення асфальтобетонної суміші.

Матеріали і методи. Асфальтобетонна суміш з найбільшим номінальним розміром зерен заповнювача 20 мм, типу А, неперервчастого зернового складу. Керни, відібрані з шару дорожнього одягу, влаштованого з вищезазначеної асфальтобетонної суміші. Методи випробування з визначення вмісту розчинного бітуму, зернового складу мінеральної частини асфальтобетонної суміші, середньої густини, водонасичення та коефіцієнта ущільнення.

Результати. Уміст розчинного бітуму суттєво змінюється залежно від методу підготування кернів до випробування. Відокремлення перерізаних мінеральних матеріалів призводить до збільшення вмісту розчинного бітуму в досліджуваній пробі. У випадку використання кернів для визначення вмісту розчинного бітуму, його в асфальтобетонній суміші є незначним. Відокремлення перерізаних мінеральних матеріалів також суттєво впливає на зерновий склад мінеральної частини та проявляється у збільшенні вмісту мінеральних матеріалів, які проходять через сито з певними розмірами отворів. Відокремлення перерізаних зерен не впливає на середню густину переформованих зразків та, відповідно, показник коефіцієнта ущільнення, але має суттєвий вплив на показник водонасичення, який суттєво відрізняється від показника водонасичення зразків, виготовлених з асфальтобетонної суміші.

Висновки. Існуючий метод підготування кернів до виготовлення переформованих зразків суттєво впливає на вміст розчинного бітуму у досліджуваній пробі та її зерновий склад. Під час підготування кернів має місце збільшення вмісту розчинного бітуму та збільшення кількості мінеральних матеріалів, які проходять через сито з певним розміром отворів. Середня густина зразків, виготовлених з асфальтобетонної суміші, та середня густина переформованих зразків є ідентичною, що дозволяє удосконалити метод визначення коефіцієнта ущільнення та

використовувати для його визначення середню густину зразків, виготовлених з асфальтобетонної суміші.

Ключові слова: асфальтобетонна суміш, вміст розчинного бітуму, водонасичення, зерновий склад, керн, середня густина.

Вступ

Якість ущільнення асфальтобетонної суміші у шарі дорожнього одягу оцінюють за показником її коефіцієнта ущільнення. Вимоги до коефіцієнта ущільнення встановлені в пункті 20.8.10 ДБН В.2.3-4:2015 [1], а метод його визначення — в розділі 33 ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [2]. Відповідно до розділу 33 ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [2] під коефіцієнтом ущільнення розуміють відношення середньої густини вирубок (кернів) до середньої густини переформованих з них зразків. Для визначення коефіцієнта ущільнення потрібно відібрати керни або вирубки відповідно до вимог підрозділу 4.2 ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [2], якими передбачено відбирання кернів або вирубок на відстані (200—300) м від початку ділянки влаштованого шару та один від одного у поздовжньому напрямку, рівномірно по ширині влаштованого шару. Також у цьому підрозділі передбачено, що для ділянок невеликої довжини, що не забезпечує можливість відбирання не менше ніж трьох проб, керни або вирубки відбирають через рівні проміжки по всій ширині влаштованого шару. У подальшому відібрані керни або вирубки використовують для визначення їхньої товщини, середньої густини, водонасичення та вмісту бітуму, а також для виготовлення переформованих з них зразків. Згідно з пунктом 7.1.2 ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [2] вирубки та керни або їх окремі частини, що мають бути використані для виготовлення переформованих зразків, витримують у сушильній шафі за температури 150 °С не менше ніж 2 год. Після цього з країв проби ложкою або кельмою закругленої форми відокремлюють мінеральні матеріали, що були перерізані під час відбирання проби з конструктивних шарів дорожнього одягу та під час випилювання з проби зразків з непорушеною структурою. Нагріті вирубки та керни подрібнюють, використовуючи кельму заокругленої форми, та перемішують до однорідного стану. Під час підготування проб має місце відокремлення перерізаних мінеральних матеріалів, то можна припустити, що таке відокремлення вплине на склад асфальтобетонної суміші та може призвести до суттєвих відмінностей порівняно з фактичним складом асфальтобетонної суміші. Аналіз закордонних джерел показав [3, 4], що коефіцієнт ущільнення визначають за відношенням середньої густини кернів до середньої густини зразків, виготовлених із суміші, яку було використано для влаштування шару дорожнього одягу. Також варто звернути увагу на те, що коефіцієнт ущільнення визначають з точністю до тисячних, а не до сотих, як це передбачено вимогами ДБН В.2.3-4:2015 [1]. Історичний аналіз нормативних документів показав, що вітчизняному методу визначення коефіцієнта ущільнення вже понад 40 років, а за аналізом літературних джерел встановлено, що питанню визначення коефіцієнта ущільнення не надавали уваги. Тому виникає потреба у дослідженні впливу відокремлення перерізаних мінеральних матеріалів на властивості переформованих зразків та значення коефіцієнта ущільнення.

Основна частина

Вихідні матеріали

Для дослідження було прийнято дрібнозернисту асфальтобетонну суміш з найбільшим номінальним розміром зерен заповнювача 20 мм, типу А, неперервчастого зернового складу згідно з ДСТУ 8959:2019 [5].

Керни було відібрано з шару дорожнього одягу, влаштованого з вищезазначеної асфальтобетонної суміші, діаметром 150 мм та середньою товщиною 7,0 см.

Методи випробування

Уміст розчинного бітуму

Уміст розчинного бітуму в асфальтобетонній суміші визначали методом екстрагування згідно з ДСТУ EN 12697-1:2022 [6]. При цьому виконували два паралельні випробування. Уміст розчинного бітуму визначали у відсотках за масою мінеральних матеріалів.

Зерновий склад

Зерновий склад асфальтобетонної суміші визначали згідно з підрозділом 31.3 ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [2] після екстрагування бітуму.

Середня густина

Середню густину визначали згідно з розділом 8 ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [2]. Суть цього методу полягає у визначенні гідростатичним зважуванням середньої густини зразків, які виготовлені в лабораторії або відібрані із конструктивних шарів дорожнього одягу.

Водонасичення

Водонасичення визначали згідно з розділом 14 ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [2]. Суть цього методу полягає у визначенні кількості води, яку поглинає зразок за заданого режиму насичення.

Коефіцієнт ущільнення

Коефіцієнт ущільнення визначали за відношенням середньої густини кернів до середньої густини переформованих з них зразків, а також за відношенням середньої густини кернів до середньої густини зразків, виготовлених з асфальтобетонної суміші.

Результати випробування

Уміст розчинного бітуму

Уміст розчинного бітуму було визначено для асфальтобетонної суміші, кернів асфальтобетону, кернів асфальтобетону після відокремлення перерізаних мінеральних матеріалів та матеріалу, відокремленого від кернів асфальтобетону. Результати випробування з визначення вмісту розчинного бітуму в асфальтобетонній суміші наведено в **табл. 1**. Під час відокремлення перерізаного мінерального матеріалу було встановлено, що кількість відокремленого матеріалу становить (22 ± 3) %.

Таблиця 1

Результати визначення вмісту розчинного бітуму

Ч.ч.	Властивість, одиниця вимірювання	Результат випробування	Точність вимірювання	
			Середній квадратичний відхил	Невизначеність
1	Вміст розчинного бітуму в асфальтобетонній суміші, % за масою мінеральних матеріалів	6,0	0,0	0,1
2	Вміст розчинного бітуму в кернах асфальтобетону, % за масою мінеральних матеріалів	6,1	0,0	0,1
3	Вміст розчинного бітуму в кернах асфальтобетону після відокремлення перерізаного мінерального матеріалу, % за масою мінеральних матеріалів	6,3	0,1	0,2
4	Вміст розчинного бітуму у відокремленому матеріалі, % за масою мінеральних матеріалів	5,8	0,0	0,1

Результати випробування показали, що вміст розчинного бітуму в асфальтобетонній суміші становить 6,0 % за масою мінеральних матеріалів. Дещо більший уміст розчинного бітуму було встановлено у кернах асфальтобетону, що може бути пов'язано із наявністю значної кількості перерізаних мінеральних матеріалів. Найбільший вміст розчинного бітуму було встановлено в кернах асфальтобетону після відокремлення перерізаного мінерального матеріалу, а найменший — у відокремленому матеріалі. Можна констатувати, що відокремлення перерізаного матеріалу призводить до збільшення вмісту розчинного бітуму, що в подальшому може вплинути на середню густину та водонасичення переформованих зразків і, відповідно, достовірність результатів

визначення коефіцієнта ущільнення асфальтобетонної суміші. Отримані результати дозволяють поставити під сумнів доцільність визначення вмісту розчинного бітуму в кернах асфальтобетону з використанням підготування кернів асфальтобетону відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [2], яке пов'язане з відокремленням перерізаного мінерального матеріалу.

Зерновий склад

Зерновий склад також було визначено для асфальтобетонної суміші, кернів асфальтобетону, кернів асфальтобетону після відокремлення перерізаних мінеральних матеріалів та матеріалу, відокремленого від кернів асфальтобетону. Результати випробування з визначення зернового складу наведено в **табл. 2**.

Таблиця 2

Результати визначення зернового складу

Показник	Уміст, % за масою, зерен мінерального матеріалу, менших даного розміру, мм									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Вимоги ДСТУ 8959:2019	100-95	92-83	81-67	55-45	42-27	33-18	26-12	20-9	14-6	11-5
Зерновий склад асфальтобетонної суміші	99,6	90,7	79,6	51,2	40,7	30,8	25,7	18,5	13,5	9,6
Середній квадратичний відхил	0,5	0,2	0,0	0,8	0,6	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1
Невизначеність	1,0	0,4	0,2	1,6	1,2	1,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Зерновий склад кернів асфальтобетону	100	89,7	78,8	49,3	38,2	31,4	22,5	16,9	11,5	8,3
Середній квадратичний відхил	0,0	0,2	0,1	0,8	0,6	0,6	0,1	0,2	0,1	0,1
Невизначеність	0,0	0,4	0,2	1,6	1,2	1,2	0,2	0,4	0,2	0,2
Зерновий склад кернів асфальтобетону після відокремлення перерізаного мінерального матеріалу	100,0	91,2	80,5	55,8	44,1	36,2	26,0	18,8	13,4	8,6
Середній квадратичний відхил	0,0	0,3	0,2	0,7	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1
Невизначеність	0,0	0,6	0,4	1,4	1,0	0,8	0,2	0,2	0,2	0,2
Зерновий склад відокремленого матеріалу	100,0	90,5	76,9	51,7	40,8	30,9	25,0	17,0	11,5	7,9
Середній квадратичний відхил	0,0	1,4	5,6	1,7	0,7	0,1	0,7	0,4	0,3	0,3
Невизначеність	0,2	2,8	11,2	3,4	1,4	0,2	1,4	0,8	0,6	0,6

Результати випробування показали, що зерновий склад асфальтобетонної суміші відповідає установленим вимогам. Зерновий склад кернів асфальтобетону також відповідає установленим вимогам та є наближеним до зернового складу асфальтобетонної суміші, а відповідний відхил становить від мінус 0,4 % до 3,2 %. При цьому найбільший відхил характерний для проходу через сито з отворами розміром 0,63 мм, 2,5 мм та 5 мм і пов'язаний із зменшенням кількості зерен мінерального матеріалу, які проходять через сито з відповідними отворами. Зерновий склад кернів

асфальтобетону після відокремлення перерізаного мінерального матеріалу не відповідає установленим вимогам за вмістом зерен розміром менше ніж 5 мм, 2,5 мм і 1,25 мм. Відхил від зернового складу асфальтобетонної суміші становить від мінус 5,4 % до 1,0 %. При цьому найбільший відхил характерний для проходу через сито з отворами розміром 1,25 мм, 5 мм та 2,5 мм та пов'язаний із збільшенням кількості зерен мінерального матеріалу, які проходять через сито з відповідними отворами. Досить неочікуваним виявився зерновий склад відокремленого матеріалу, який за отриманими результатами відповідає установленим вимогам та є наближеним до зернового складу асфальтобетонної суміші, а відповідний відхил становить від мінус 0,5 % до 2,7 %. При цьому найбільший відхил характерний для проходу через сито з отворами розміром 10 мм, 0,071 мм та 0,315 мм і пов'язаний із зменшенням кількості зерен мінерального матеріалу, які проходять через сито з відповідними отворами. Можна констатувати, що відокремлення перерізаного матеріалу призводить до суттєвої зміни зернового складу, які проявляються у збільшенні кількості зерен мінерального матеріалу, які проходять через сито з отворами певного розміру.

Середня густина та водонасичення

Середню густину та водонасичення було визначено для зразків, виготовлених з асфальтобетонної суміші, кернів та переформованих зразків (з відокремленням перерізаних зерен мінерального матеріалу). Результати випробування з визначення середньої густини та водонасичення наведено в **табл. 3** та **табл. 4**.

Таблиця 3

Результати визначення середньої густини та водонасичення кернів

Ч.ч.	Властивість, одиниця вимірювання	Результат випробування керна					
		1	2	3	4	5	6
1	Середня густина, г/см^3	2,44	2,45	2,41	2,43	2,43	2,41
2	Водонасичення, % за об’ємом	1,1	1,1	2,9	1,1	1,2	2,7

Таблиця 4

Результати визначення середньої густини та водонасичення виготовлених зразків

Ч.ч.	Властивість, одиниця вимірювання	Результат випробування	Точність вимірювання	
			Середній квадратичний відхил	Невизначеність
1	Середня густина зразків, виготовлених з асфальтобетонної суміші, г/см^3	2,44	0,01	0,02
2	Середня густина переформованих зразків, г/см^3	2,44	0,00	0,00
3	Водонасичення зразків, виготовлених з асфальтобетонної суміші, % за об’ємом	0,9	0,2	0,4
4	Водонасичення переформованих зразків , % за об’ємом	1,4	0,2	0,4

Результати випробування показали, що середня густина та водонасичення кернів певною мірою відрізняються та становлять від 2,41 г/см^3 до 2,45 г/см^3 та від 1,1 % за об’ємом до 2,9 % за об’ємом. Це свідчить про неможливість застосування вимоги останнього абзацу підрозділу 8.3 ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [2] щодо різниці між найбільшим і найменшим результатами паралельних визначень не більше ніж 0,01 г/см^3 та підрозділу 14.3 ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [2] щодо різниці між

найбільшим і найменшим результатами паралельних визначень не більше ніж 0,5 % за об'ємом. Також було встановлено, що середня густина зразків, виготовлених з асфальтобетонної суміші, є ідентичною середній густині переформованих зразків. Оскільки показники середньої густини є однаковими, то метод визначення коефіцієнта ущільнення не вплине на отримуваний результат. Тому можна вважати, що для визначення коефіцієнта ущільнення може бути використано середню густину зразків, виготовлених з асфальтобетонної суміші, що повинно прискорити визначення коефіцієнта ущільнення та значно зменшити витрати часу на його визначення. У випадку водонасичення отримано різницю в 0,5 % за об'ємом, що є достатньо суттєвою. Така різниця може бути пов'язана з тим, що суміш, використана для виготовлення переформованих зразків, містить меншу кількість крупнішого заповнювача, що призводить до утворення більшої кількості пустот між зернами мінерального матеріалу і навіть збільшення вмісту розчинного бітуму в цій суміші не призводить до отримання близьких показників водонасичення. Можна констатувати, що відокремлення перерізаного матеріалу не призводить до зміни середньої густини зразків, однак суттєво впливає на показники їх водонасичення.

Коефіцієнт ущільнення

Як уже було зазначено, на показники коефіцієнта ущільнення не впливає метод його визначення. Однак потрібно звернути увагу на точність визначення показника коефіцієнта ущільнення. Пунктом 20.8.10 ДБН В.2.3-4:2015 [1] передбачено визначення коефіцієнта ущільнення з точністю до сотих, а світова практика передбачає визначення коефіцієнта ущільнення з точністю до тисячних, а якщо буди точнішим, то до десятих, але у відсотках від середньої густини лабораторних зразків. Використання підходу ДБН В.2.3-4:2015 [1] призводить до того, що коефіцієнт ущільнення 0,985 потрібно заокруглити до 0,99, а якщо врахувати округлення до сотих показника середньої густини, то можна отримати не зовсім достовірну інформацію про якість ущільнення асфальтобетонної суміші.

Висновки

Існуючий метод підготування кернів до виготовлення переформованих зразків суттєво впливає на вміст розчинного бітуму у досліджуваній пробі та її зерновий склад. Під час підготування кернів має місце збільшення вмісту розчинного бітуму та збільшення кількості мінеральних матеріалів, які проходять через сито з певним розміром отворів.

Середня густина зразків, виготовлених з асфальтобетонної суміші, та середня густина переформованих зразків є ідентичною, що дозволяє удосконалити метод визначення коефіцієнта ущільнення та використовувати для його визначення середню густину зразків, виготовлених з асфальтобетонної суміші. Це повинно прискорити визначення коефіцієнта ущільнення та значно зменшити витрати часу на його визначення. Для більш точного визначення коефіцієнта ущільнення доцільно встановити вимоги до нього з округленням до тисячних, а також уточнити відповідні показники коефіцієнта ущільнення залежно від шару дорожнього одягу.

Відокремлення перерізаних мінеральних зерен суттєво впливає на показник водонасичення, тому водонасичення можна вважати ненадійною властивістю для визначення якості ущільнення асфальтобетонної суміші.

Список літератури

1. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015. 91 с. (Інформація та документація).

2. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. Київ. 2017, 75 с. (Інформація та документація).

3. ZTV Asphalt-StB 2007 Additional technical terms of contract and guidelines for the construction of road surfacing from asphalt. Keln. FGSV Verlag GmbH (Інформація та документація).

4. Manual of contract documents for highway works. Volume 1. Specification for highway works. Series 900 Road pavements – Bituminous bound materials. 2021. 89 p. URL: https://standardsforhighways.co.uk (дата звернення: 23.09.2024).
5. ДСТУ 8959:2019 Асфальтобетонні суміші та асфальтобетон дорожні на основі бітумів, модифікованих полімерами. Технічні умови. Київ, 2019. 17 с. (Інформація та документація).
6. ДСТУ EN 12697-1:2022 (EN 12697-1:2020, IDT) Бітумні суміші. Методи випробувань. Частина 1. Вміст розчинного в'яжучого. Київ, 2022. 53 с. (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. DSTU B V.2.7-319:2016 Sumishi asfaltobetonni i asfaltobeton dorozhniy ta aerodromnyy. Metody vyprobuvan (State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-319:2016) Mixtures of asphalt and asphalt road and airfield. Test methods). Kyiv, 2016. 64 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
3. ZTV Asphalt-StB 2007 Additional technical terms of contract and guidelines for the construction of road surfacing from asphalt. Keln. FGSV Verlag GmbH (Information and documentation) [in English].
4. Manual of contract documents for highway works. Volume 1. Specification for highway works. Series 900 Road pavements – Bituminous bound materials. 2021. 89 p. URL: https://standardsforhighways.co.uk (Last accessed 06.06.2023) [in English].
5. DSTU 8959:2019 Asfaltobetonni sumishi ta asfaltobeton dorozhni na osnovi bitumiv, modyfikovanykh polimeramy. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU 8959:2019) Asphalt mixtures and paving asphalt concrete based on bitumen modified with polymers. Technical specifications. Kyiv, 2019. 17 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
6. ДСТУ EN 12697-1:2022 (EN 12697-1:2020, IDT) Bitumni sumishi. Metody vyprobuvan′. Chastyna 1. Vmist rozchynnoho v″yazhuchoho [State Standard of Ukraine (ДСТУ EN 12697-1:2022) Bituminous mixtures. Test methods. Part 1. Soluble binder content]. Kyiv, 2022. 53 p. (Information and documentation) [in English].

Ivan Kopynets, *Ph.D., https://orcid.org/0000-0002-0908-4795*
Oksana Sokolova, *https://orcid.org/0000-0003-4202-8661*
Alina Yunak, *https://orcid.org/0000-0002-5294-5554*

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

IMPROVEMENT OF THE METHOD FOR DETERMINING THE COMPACTION COEFFICIENT OF ASPHALT CONCRETE MIXTURE

Abstract

Introduction. The quality of asphalt concrete mixture compaction in the road pavement layer is assessed by the compaction coefficient. The compaction coefficient refers to the ratio of the average density of cores to the average density of samples reformed from them.

Problem Statement. During sample preparation for reforming, there is a separation of cut mineral materials, which can affect the composition of the asphalt concrete mixture and lead to significant differences compared to the actual composition. The analysis of foreign sources revealed that the compaction coefficient is determined by the ratio of the average density of cores to the average density of samples made from the mixture used for constructing the road layer. A historical review of regulatory documents shows that the domestic method for determining the compaction coefficient has been in use for over 40 years. Additionally,

a literature review found that this issue has not been adequately addressed. Thus, there is a need to study the effect of cut mineral material separation on the properties of reformed samples and the value of the compaction coefficient.

Objective. To improve the method for determining the compaction coefficient of asphalt concrete mixture.

Materials and Methods. The asphalt concrete mixture with a maximum nominal aggregate size of 20 mm, type A, continuous grading. Cores were taken from the road pavement layer constructed with the aforementioned asphalt concrete mixture. Testing methods include determining soluble bitumen content, aggregate grading, average density, water saturation, and the compaction coefficient.

Results. The soluble bitumen content changes significantly depending on the core preparation method. The separation of cut mineral materials leads to an increase in soluble bitumen content in the test sample. When using cores to determine soluble bitumen content, the deviation from the content in the asphalt mixture is negligible. The separation of cut mineral materials also significantly affects the grading of the aggregate, resulting in an increase in the amount of material passing through sieves with certain hole sizes. The separation of cut aggregates does not affect the average density of reformed samples and, accordingly, the compaction coefficient but has a significant impact on the water saturation, which differs significantly from the water saturation of samples made from the asphalt concrete mixture.

Conclusions. The current method of core preparation for reformed sample creation significantly affects the soluble bitumen content and the aggregate grading in the test sample. During core preparation, an increase in soluble bitumen content and the amount of material passing through sieves with specific hole sizes occurs. The average density of samples made from the asphalt concrete mixture and the average density of reformed samples are identical, allowing for the improvement of the compaction coefficient determination method by using the average density of samples made from the asphalt concrete mixture.

Keywords: asphalt concrete mixture, water saturation, aggregate grading, core, average density, soluble bitumen content.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.182

УДК 691.168

Соколов О. В., *д-р філос. з буд. та цив. інженерії, https://orcid.org/0000-0002-4694-9647*

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

ПОРІВНЯННЯ УЩІЛЬНЮВАНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОЇ СУМІШІ ІЗ ЗОЛОЮ-ВИНЕСЕННЯ ТА ВАПНЯКОВИМ НАПОВНЮВАЧЕМ

Анотація

Вступ. В Україні близько 30 % всієї електроенергії виробляється від спалювання твердого палива — вугілля, сланцю, торфу. У нашій країні налічується близько 15 діючих ТЕС на яких вторинним продуктом утворюється близько 5 – 6 млн тон золошлакових відходів в рік. Таким чином, відходи паливно-енергетичного комплексу, що утворюються в топках теплових електростанцій, являють собою величезні скупчення золи у вигляді пилоподібних залишків і кускового шламу, а також різні золо-шлакові суміші. Ці продукти високотемпературної обробки (1 200 – 1 700 ºС) мінеральної частини палива, знайшли широке застосування в багатьох країнах світу і враховуючи світову тенденцію, до збільшення частки вторинного ринку використання відходів, слід прогнозувати підвищення темпів їх переробки і в Україні.

Проблематика. Дорожньо-будівельна галузь, є однією із стратегічних галузей промисловості України, зараз особливо гостро стоїть питання якості та доступності основних будівельних матеріалів для дорожнього будівництва, що безпосередньо пов’язано з її високою матеріаломісткістю. Відомі запаси якісної сировини, яка могла б бути використана як складові асфальтобетону, постійно зменшуються, тому необхідно шукати альтернативні джерела сировини для будівельних матеріалів і вивчати можливість їх застосування. У зв’язку з цим, найбільш ефективним використанням місцевих сировинних ресурсів є використання відходів промислового виробництва, що може стати одним із вирішень проблеми нестачі сировинних матеріалів неорганічного походження.

Мета. Дані дослідження були присвячені порівнянню наповнювачів різного походження на технологічні властивості асфальтобетонних сумішей.

Матеріали і методи. Для проведення досліджень було прийнято мінеральний порошок з вапняку та золи-винесення.

Результати. Розрахунковим методом визначено залишкову пористість зразків асфальтобетону та встановлено, що асфальтобетон із золою-винесення отриманий за 69 обертів гіраторного ущільнювача має нижчу залишкову пористість ніж асфальтобетон із вапняковим наповнювачем, що свідчить про можливість зменшення вмісту бітуму в асфальтобетоні із золою-винесення.

Висновки. Використання золи-винесення у складі асфальтобетону є перспективним рішенням, оскільки це дозволяє зменшити негативний екологічний вплив на навколишнє середовище, зменшити витрати від складування золовідходів, одночасно забезпечуючи високу якість покриву автомобільної дороги.

Розвиток і модернізація дорожньої інфраструктури має стратегічне значення для економічного зростання та підвищення конкурентоспроможності України на світовій арені. Використання в дорожньому будівництві досліджених матеріалів дозволить зменшити видобуток кондиційних природних матеріалів і зменшити шкідливий вплив відходів на довкілля.

Ключові слова: асфальтобетонна суміш, відходи промисловості, зола-винесення, точка блокування.

Вступ

Однією із передумов проєктування складу гарячої асфальтобетонної суміші є те, що густина виготовлених в лабораторії зразків, які використовують для визначення оптимального вмісту бітуму, повинна наближатися до кінцевої густина асфальтобетону шару дорожнього одягу. Якщо густина асфальтобетону занадто низька, то довговічність такого матеріалу буде знижена, а якщо густина асфальтобетону занадто висока, то такий матеріал матиме тенденцію до випотівання в'яжучого або утворення колії. Густина асфальтобетону при ущільнені в польових умовах практично завжди є на 1,5 % меншою, ніж густина виготовлених в лабораторії зразків. Це вказує на те, що навантаження ущільнення, які створюють у лабораторних умовах занадто високі [1].

Система проєктування складу суміші Superpave враховує різні умови руху та навколишнього середовища. Одним із головних устаткувань в системі Superpave займає гіраторний ущільнювач Superpave. Гіраторний ущільнювач використовують для ущільнення асфальтобетонних сумішей підібраного складу за проєктної кількості обертань у лабораторії, щоб змогти оцінити об'ємні властивості ущільненого зразка. Оцінені об'ємні властивості включають пористість, пори в мінеральному заповнювачі, пори заповнені бітумом, і співвідношення мінерального порошку до ефективного вмісту бітуму.

Для перевіряння швидкості ущільнення включено два додаткові параметри: густина за початкової кількості обертань (Ninitial) і густина за найбільшої кількості обертань (Nmaximum). Передбачається, що лабораторна проєктна кількість залишкових пор пов'язана з кінцевою густиною асфальтобетону. Загальні характеристики асфальтобетону сильно залежать від конструкції дорожнього одягу та якості будівництва.

Міністерство транспорту штату Іллінойс розробило альтернативу Ndesign, яка називається концепцією «точки блокування», щоб запобігти надмірному ущільненню та подальшому руйнуванню заповнювача в асфальтобетонній суміші [2]. Точку блокування, визначену як обертання, за якого заповнювач «з'єднується» разом, а подальше ущільнення призводить до руйнування заповнювача та дуже невеликого додаткового ущільнення. Дані порівнювали з кривою зростання, проведеною для визначення найбільшої кількості проходів котка по дорозі перед тим, як збільшення густини на місці нівелюється або зменшується.

Було відзначено, що суміші не ущільнюються за однакової кількості проходів, оскільки кожна суміш відрізняється. Ущільнення було зупинено на піку густини до того, як відбулося надмірне руйнування заповнювача. Концепція точки блокування була розроблена на основі порівняння даних Marshall і Superpave за три роки та кривих зростання густини під час улаштування шару дорожнього одягу [2]. Спочатку точку блокування визначили як перше обертання в наборі з трьох обертань за однакової висоти, якому передував один набір з двох обертань за однакової висоти (кожне на 0,1 мм більше, ніж набір із трьох обертань). Вважалося, що точка блокування вказує на розвиток деякого ступеня зчеплення крупного заповнювача і пов'язана з кривою збільшення щільності під час ущільнення на об'єкті. Стандартне відхилення кількості обертів, що дорівнює точці блокування, було менше, ніж стандартне відхилення кількості обертів для отримання 4 % повітряних пустот.

Ваврик і Карпентер [3] уточнили визначення точки блокування як перше обертання в першій появі трьох обертань за однакової висоти, яким передують два набори з двох обертань за однакової висоти (кожне на 0,1 мм вище, ніж набір із трьох обертань), як показано на **рис. 1**.

Даний метод дозволяє визначити закінчення ущільнюваності асфальтобетонних сумішей з використанням гіраторного ущільнювача.

Суть методики полягає в тому, що зразок асфальтобетонної суміші поміщають у циліндричну форму, обмежену вставками, і витримують за постійної температури в межах визначених допусків упродовж усього часу випробування. Зразок асфальтобетонної суміші ущільнюють згідно з ДСТУ EN 12697–31 [97] за 100 обертів, визначаючи висоту зразка асфальтобетонної суміші після кожного оберту. За результатами оцінювання зміни товщини зразка асфальтобетонної суміші визначають точку блокування, що є характеристикою ущільнюваності асфальтобетонної суміші.

Основна частина

Концепцію точки блокування було взято за основу для розроблення методу для порівняння технологічних властивостей асфальтобетонних сумішей з різними типами наповнювачів. Завдяки цьому методу можна оцінити ущільнення асфальтобетонних сумішей з отриманням оптимальної залишкової пористості матеріалу.

Суть цього методу полягає в оцінюванні технологічних властивостей асфальтобетонної суміші за точкою блокування як перший оберт в блоці з трьох послідовних обертів за яких товщина зразка зменшується менше ніж на 0,1 мм, яким передують два блоки з двох обертів за яких товщина зразка зменшується менше ніж на 0,1 мм, як показано на **рис. 1** і в **табл. 1**.

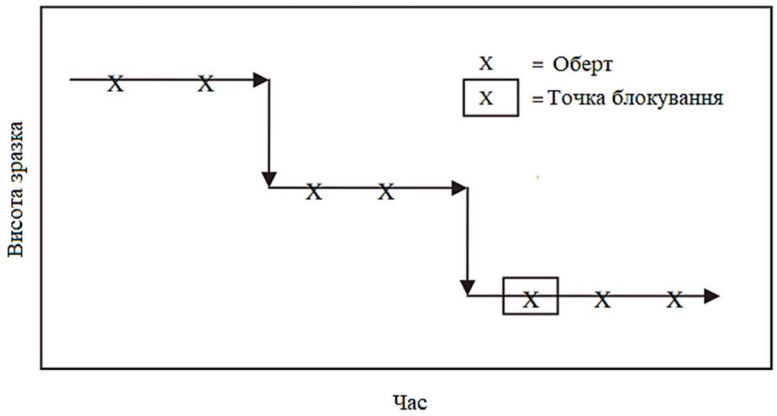


Рисунок 1 — Визначення точки блокування

Таблиця 1

Визначення точки блокування за кількістю обертів гіратора

Кількість обертів	Висота	Густина	Блоки
70	105,258	2 341	1
71	105,215	2 342	2
72	105,179	2 342	1
73	105,139	2 343	2
74	105,098	2 344	1
75	105,054	2 345	2
76	105,007	2 346	3
77	104,973	2 347	
78	104,940	2 348	
79	104,897	2 349	
80	104,867	2 349	

Для проведення випробувань було підібрано зерновий склад асфальтобетонної суміші згідно ДСТУ EN 13108-1 [4].

За результатами випробування було встановлено, що точка блокування для асфальтобетонної суміші із золою-винесення відповідає 69 обертам гіраторного ущільнювача, а точка блокування для асфальтобетонної суміші з вапняковим наповнювачем відповідаю 74 обертам (**табл. 2**). Тобто можна стверджувати, що ущільнення асфальтобетонної суміші із золою-винесення відбувається швидше ніж асфальтобетонної суміші з вапняковим наповнювачем. Також встановлено, що об'ємна густина

асфальтобетону із золою-винесення при меншій кількості обертів є більшою і складає 2,397 г/см^3, а в асфальтобетоні з вапняковим наповнювачем — 2,380 г/см^3.

Таблиця 2

Результати випробування асфальтобетону відповідно до точки блокування

Матеріал		Асфальтобетон із вапняком		Асфальтобетон із золою-винесення	
Кількість обертів		74	80	69	80
Очевидна густина крупного заповнювача фракції 8/16 мм, Мг/м^3	ρa	2,653	2,653	2,653	2,653
Очевидна густина крупного заповнювача фракції 4/8 мм, Мг/м^3	ρa	2,689	2,689	2,689	2,689
Очевидна густина крупного заповнювача фракції 2/4 мм, Мг/м^3	ρa	2,675	2,675	2,675	2,675
Очевидна густина дрібного заповнювача фракції 0/2 мм, Мг/м^3	ρa	2,676	2,676	2,676	2,676
Очевидна густина мінерального порошку, г/см^3	ρf	2,840	2,840	2,610	2,610
Очевидна густина бітуму, г/см^3	ρb	1,016	1,016	1,016	1,016
Об’ємна щільність асфальтобетону, Мг/м^3	ρ_{bssd}	2,380	2,385	2,397	2,407
Вміст крупного заповнювача фракції 8/16, %	pa	35,000	35,000	35,0	35,000
Вміст крупного заповнювача фракції 4/8, %	pa	19,000	19,000	19,0	19,000
Вміст крупного заповнювача фракції 2/4 мм, %	pa	7,000	7,000	7,0	7,000
Вміст дрібного заповнювача фракції 0/2 мм, %	pa	33,000	33,000	33,0	33,000
Вміст наповнювача, %	pf	6,000	6,000	6,0	6,000
Вміст бітуму (понад 100 %), %	pb	5,300	5,300	5,3	5,300
Вміст бітуму (в 100 %), %		5,030	5,030	5,03	5,030
Розрахункова максимальна щільність суміші мінеральних матеріалів, Мг/м^3	ρa	2,680	2,680	2,666	2,666
Середня густина мінеральної частини, Мг/м^3	$\rho_m{}^м$	2,260	2,265	2,276	2,286
Максимальна щільність асфальтобетонної суміші, Мг/м^3	ρ_{mc}	2,476	2,476	2,465	2,465
Пористість мінеральної частини, % за об’ємом	$V_{пор}{}^м$	15,650	15,470	14,62	14,270
Вміст пор у мінеральному заповнювачі, % за об’ємом	*VMA*	15,650	15,470	14,62	14,270
Залишкова пористість, % за об'ємом	V_m	3,900	3,700	2,7	2,300
Різниця між залишковою пористістю та водонасиченням, %		2,600	1,900	1,5	1,400
Відсоток пор, заповнених в’яжучим, % за об’ємом		11,800	11,800	11,9	11,900
Відсоток пор, заповнених в’яжучим, %	*VFB*	75,300	76,400	81,2	83,600

Висновки

Розрахунковим методом визначено залишкову пористість зразків асфальтобетону та встановлено, що асфальтобетон із золою-винесення отриманий за 69 обертів гіраторного ущільнювача має нижчу залишкову пористість ніж асфальтобетон із вапняковим наповнювачем, що свідчить про можливість зменшення вмісту бітуму в асфальтобетоні із золою-винесення.

Використання золи-винесення у складі асфальтобетону є перспективним рішенням, оскільки це дозволяє зменшити негативний екологічний вплив на навколишнє середовище, зменшити витрати від складування золовідходів, одночасно забезпечуючи високу якість покриву автомобільних доріг.

Розвиток і модернізація дорожньої інфраструктури має стратегічне значення для економічного зростання та підвищення конкурентоспроможності України на світовій арені.

Впровадження асфальтобетону із золою-винесення в Україні відкриває нові можливості для розвитку інфраструктури, забезпечуючи можливість ремонтувати старі та будувати нові дороги за більш вигідними цінами. Заощаджені кошти внаслідок ефективного використання матеріалів можуть бути направлені на відбудову країни в умовах післявоєнного періоду.

Важливо надати пріоритет дорожньому будівництву, як частині відновлення економіки після війни, оскільки це сприятиме залученню інвестицій, створенню нових робочих місць і покращенню умов для життя населення.

Для досягнення успішного впровадження нових технологій під час будування і ремонтування автомобільних доріг необхідна співпраця між державними органами, приватним сектором та науковими установами для сприяння інноваційному розвитку та впровадженню передових практик.

Список літератури

1. Brown, E. R., and M. S. Buchanan, NCHRP Research Results Digest 237: Superpave Gyratory Compaction Guidelines, Transportation Research Board, National Research Council, 1999. URL: https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_rrd_237.pdf.

2. Brian D. Prowell, E. Ray Brown NCHRP REPORT 573 Subject Areas Materials and Construction Superpave Mix Design: Verifying Gyration Levels in the Ndesign Table NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM URL: https://trb.org/publications/nchrp/nchrp_rpt_573.pdf.

3. Vavrik, W. R., and S. H. Carpenter, Calculating Air Voids at Specified Numbers of Gyrations in Superpave Gyratory Compactor, Transportation Research Record 1630: Asphalt Mixtures: Stiffness Characterization, Variables, and Performance, Transportation Research Board, National Research Council, 1998. DOI: https://doi.org/10.3141/1630-14.

4. ДСТУ EN 13108-1:2019 Бітумомінеральні суміші. Технічні вимоги до матеріалів. Частина 1. Асфальтобетон (EN 13108-1:2006, IDT). Київ, 2019. 43 с.

References

1. Brown, E. R., and M. S. Buchanan, NCHRP Research Results Digest 237: Superpave Gyratory Compaction Guidelines, Transportation Research Board, National Research Council, 1999 URL: https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_rrd_237.pdf [in English].

2. Brian D. Prowell, E. Ray Brown NCHRP REPORT 573 Subject Areas Materials and Construction Superpave Mix Design: Verifying Gyration Levels in the Ndesign Table NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM URL: https://trb.org/publications/nchrp/nchrp_rpt_573.pdf [in English].

3. Vavrik,W. R., and S. H. Carpenter, Calculating Air Voids at Specified Numbers of Gyrations in Superpave Gyratory Compactor, Transportation Research Record 1630: Asphalt Mixtures: Stiffness Characterization, Variables, and Performance, Transportation Research Board, National Research Council, 1998. DOI: https://doi.org/10.3141/1630-14 [in English].

4. DSTU EN 13108-1:2019 Bitumomineralni sumishi. Tekhnichni vymohy do materialiv. Chastyna 1. Asfaltobeton (Bituminous and mineral sums. Technical means for materials. Part 1. Asphalt concrete) (EN 13108-1:2006, IDT). Kyiv, 2019. 43 p. [in English].

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

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

COMPARISON OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES WITH FLY ASH AND LIMESTONE AGGREGATE

Abstract

Introduction. In Ukraine, about 30 % of all electricity is generated from the combustion of solid fuels — coal, shale, peat. In our country, there are about 15 operating thermal power plants that generate about 5 – 6 million tons of ash and slag waste per year as a secondary product. Thus, the fuel and energy complex waste generated in the furnaces of thermal power plants is a huge accumulation of ash in the form of dusty residues and lumpy sludge, as well as various ash and slag mixtures. These products of high-temperature processing (1 200 – 1 700 ºC) of the mineral part of the fuel are widely used in many countries of the world and, given the global trend towards an increase in the share of the secondary market for the use of waste, it is necessary to predict an increase in the rate of their processing in Ukraine.

Problem Statement. The road construction industry is one of the strategic industries of Ukraine, and the issue of quality and availability of basic building materials for road construction is particularly acute now, which is directly related to its high material intensity. The known reserves of high-quality raw materials that could be used as asphalt concrete components are constantly decreasing, so it is necessary to look for alternative sources of raw materials for construction materials and explore the possibility of their use. In this regard, the most effective use of local raw materials is the use of industrial waste, which can be one of the solutions to the problem of lack of raw materials of inorganic origin.

Objective. This study was devoted to the comparison of aggregates of different origin on the technological properties of asphalt mixtures.

Materials and methods. Mineral filler from limestone and fly ash was used for the study.

Results. The residual porosity of asphalt concrete samples was determined by the calculation method and it was found that asphalt concrete with fly ash obtained after 69 turns of the gyratory compactor has a lower residual porosity than asphalt concrete with limestone aggregate, which indicates the possibility of reducing the bitumen content in asphalt concrete with fly ash.

Conclusions. The use of fly ash in asphalt concrete is a promising solution, as it reduces the negative environmental impact on the environment, reduces the cost of ash waste storage, while ensuring high quality road pavement.

The development and modernization of road infrastructure is of strategic importance for Ukraine's economic growth and competitiveness in the region. The use of the investigated materials in road construction will reduce the extraction of conditioned natural materials and reduce the harmful impact of waste on the environment.

Keywords: asphalt mix, fly ash, industrial waste, blocking point.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.188

УДК 625.8:691.21

Соколов О. В., *д-р філос. з буд. та цив. інженерії, https://orcid.org/0000-0002-4694-9647*

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІЗНИХ НАПОВНЮВАЧІВ НА АТМОСФЕРОСТІЙКІСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ

Анотація

Вступ. Властивості бітумомінерального матеріалу визначаються особливостями зв'язків, що виникають між окремими мінеральними зернами, і залежать від властивостей бітуму, товщини шару бітуму, що покриває мінеральні зерна, а також від процесів взаємодії мінеральних матеріалів і бітуму на їхній спільній поверхні розділу. Для забезпечення міцного і стійкого зв'язку між зернами бітум має рівномірно покривати тонким шаром поверхню мінеральних матеріалів. Для підвищення міцності дорожнього покриву, влаштованого з бітумомінерального матеріалу, необхідно, щоб максимальна кількість бітуму була адсорбована мінеральним матеріалом, а вміст вільного бітуму зведений до мінімального значення.

Проблематика. Залежно від природи мінерального матеріалу і хімічного складу бітуму по різному змінюються властивості його тонких шарів. На активній мінеральній поверхні міцність бітуму в тонкому шарі збільшується із зменшенням його товщини, на інактивній поверхні міцність бітуму із зменшенням товщини шару мало змінюється.

Мета. Дані дослідження були присвячені встановленню впливу наповнювачів різного походження на об'ємні властивості асфальтобетонів і механічні властивості асфальтобетонів, а також на їх атмосферостійкість.

Матеріали і методи. Для проведення досліджень було прийнято мінеральний порошок з вапняку, граніту, кварциту та золи-винесення.

Результати. Результати випробування показали, що із збільшенням вмісту бітуму відбувається поступове зменшення дійсної густини асфальтобетонної суміші та зростання середньої густини асфальтобетону. При цьому, нема чіткої залежності зміни середньої густини мінеральної частини та її пористості від вмісту бітуму, однак існує взаємозв'язок між цими двома показниками. У той же час, поступове збільшення вмісту бітуму призводить до збільшення кількості пор, заповнених в'яжучим.

Висновки. Всі досліджувані наповнювачі може бути використано для виробництва асфальтобетонних сумішей, однак у певних випадках необхідно вживати заходи з підвищення водостійкості асфальтобетону шляхом використання добавок на основі поверхнево-активних речовин або ж використовувати дані наповнювачі в суміші із наповнювачем з вапняку або інших осадових карбонатних гірських порід.

Використання в дорожньому будівництві досліджених матеріалів дозволить зменшити видобуток кондиційних природних матеріалів і зменшити шкідливий вплив відходів на довкілля.

Ключові слова: асфальтобетон, атмосферостійкість, бітум, водостійкість, механічні властивості, морозостійкість, наповнювач, об'ємні властивості.

Вступ

Властивості бітумомінерального матеріалу визначаються особливостями зв'язків, що виникають між окремими мінеральними зернами, і залежать від властивостей бітуму, товщини шару бітуму, що покриває мінеральні зерна, а також від процесів взаємодії мінеральних матеріалів і бітуму

на їхній спільній поверхні розділу. Для забезпечення міцного і стійкого зв'язку між зернами бітум має рівномірно покривати тонким шаром поверхню мінеральних матеріалів. Рівномірність і ступінь покриття, у свою чергу, залежать від змочування бітумом поверхні мінеральних матеріалів [1]. Після змочування відбувається процес вибіркової адсорбції окремих компонентів бітуму і, в першу чергу, поверхнево-активних речовин. Під час взаємодії мінеральних матеріалів і бітуму найбільш важливе значення мають процеси хімічної адсорбції, що протікають на межі розділу бітум — мінеральний матеріал. Можна вважати, що найміцніше зчеплення зерен досягається, коли вони зв'язані між собою в результаті контакту структурованими оболонками бітуму. Більшість бітумомінеральних сумішей містять в своєму складі дуже тонкі мінеральні зерна з високо розвиненою питомою поверхнею і, отже, підвищеною адсорбційною здатністю. Мінеральні матеріали, які використовують в дорожньому будівництві, як правило, гідрофільні, і тому вода легко змиває з їх поверхні бітумну плівку, зв'язану лише дією слабких молекулярних ван-дер-вальсових сил.

Для підвищення міцності дорожнього покриву, влаштованого з бітумомінерального матеріалу, необхідно, щоб максимальна кількість бітуму була адсорбована мінеральним матеріалом, а вміст вільного бітуму зведений до мінімального значення [2]. Цим вимогам зазвичай задовольняють щільні бітумомінеральні матеріали, що містять в своєму складі тонкий мінеральний порошок із карбонатних осадових гірських порід. Наявність такого порошку забезпечує найбільш сприятливі умови для максимального переведення бітуму в адсорбований стан. Хемосорбційні процеси, що розвиваються на поверхні мінеральних зерен при взаємодії з поверхнево-активними речовинами бітуму створюють умови для утворення міцних зв'язків між бітумом і поверхнею мінеральних матеріалів, і, відповідно, зміцнення всієї системи в цілому з забезпеченням найбільш високої міцності, тепло- і водостійкості. Проте, для забезпечення потрібної деформативності бітумомінерального матеріалу, а також водостійкості необхідно мати в його складі певну кількість вільного бітуму. Протікання адсорбційних процесів, утворюючих різні за міцністю і стійкістю зв'язки на поверхні розділу мінеральний матеріал — бітум, значною мірою залежить від мінералогічного і хімічного складу, характеру і чистоти поверхні мінерального матеріалу.

Залежно від природи мінерального матеріалу і хімічного складу бітуму по різному змінюються властивості його тонких шарів. На активній мінеральній поверхні міцність бітуму в тонкому шарі збільшується із зменшенням його товщини, на інактивній поверхні міцність бітуму із зменшенням товщини шару мало змінюється.

Основна частина

Для отримання якісних асфальтобетонних сумішей бітум треба перевести в такий стан, за якого він легко та рівномірно обволікає мінеральний матеріал. Для цього бітум та інші складники асфальтобетонної суміші нагрівають до певної температури, що залежить від марки використовуваного бітуму. У даних дослідженнях температуру нагрівання бітуму під час змішування з мінеральним матеріалом та температури асфальтобетонної суміші на початку ущільнення було установлено на основі температурно–в'язкістної залежності (**рис. 1**). Технологічні властивості бітумів характеризують за значенням їхньої динамічної в'язкості. Так, згідно з [3] за температуру змішування бітуму з мінеральним матеріалом приймають температуру, за якої динамічна в'язкість бітуму становить (0,17 ± 0,02) Па·с, а за температуру початку ущільнення — температуру, за якої динамічна в'язкість бітуму становить (0,28 ± 0,03) Па·с. Установлені на основі температурно-в'язкістної залежності температури виробництва та початку ущільнення асфальтобетонних сумішей становили відповідно від 148 °С до 152,5 °С та від 139 °С до 143 °С.

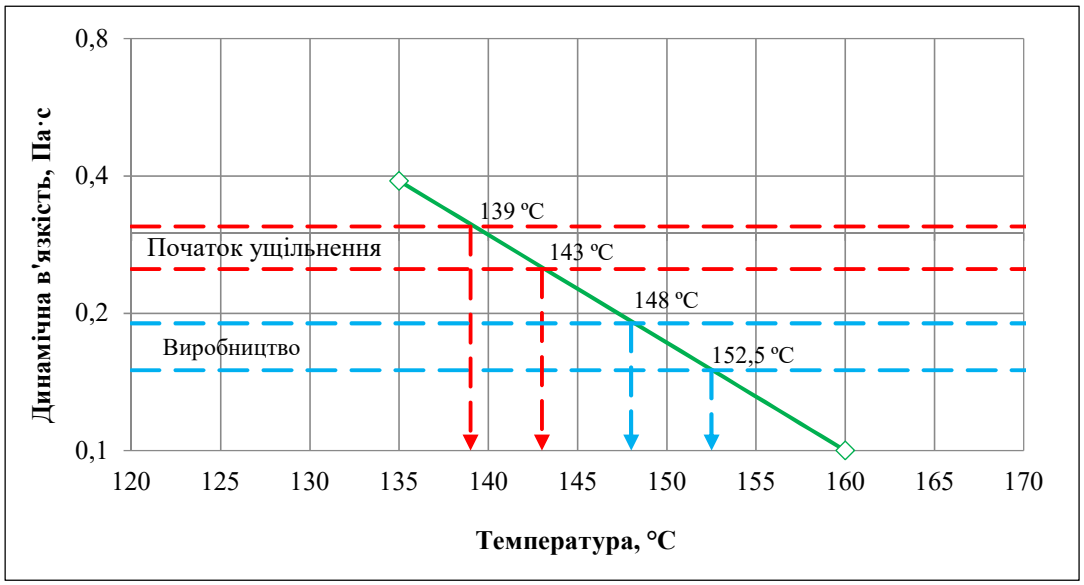


Рисунок 1 — Залежність в'язкості бітуму марки БНД 70/100 від температури

Було виготовлено асфальтобетонні суміші з вмістом бітуму 7,0 %, 7,5 % та 8,0 % за масою мінеральних матеріалів із запроектованим зерновим складом.

Процес виготовлення асфальтобетонних сумішей в лабораторії здійснювали з дотриманням стандартної послідовності та змісту технологічних операцій згідно з ДСТУ Б В.2.7–319 [4]. Це включало в себе ряд етапів, таких як підготовка мінеральних матеріалів, нагрівання та додавання бітуму, змішування компонентів, формування суміші та її охолодження.

Важливою частиною процесу було забезпечення точності вмісту бітуму у суміші, щоб забезпечити відповідні характеристики асфальтобетону. Тому кожен етап виробництва контролювали згідно встановлених нормативних вимог.

Результати випробування асфальтобетонів з наповнювачем із вапняку наведені у **табл. 1** і на **рис. 2 – 5**.

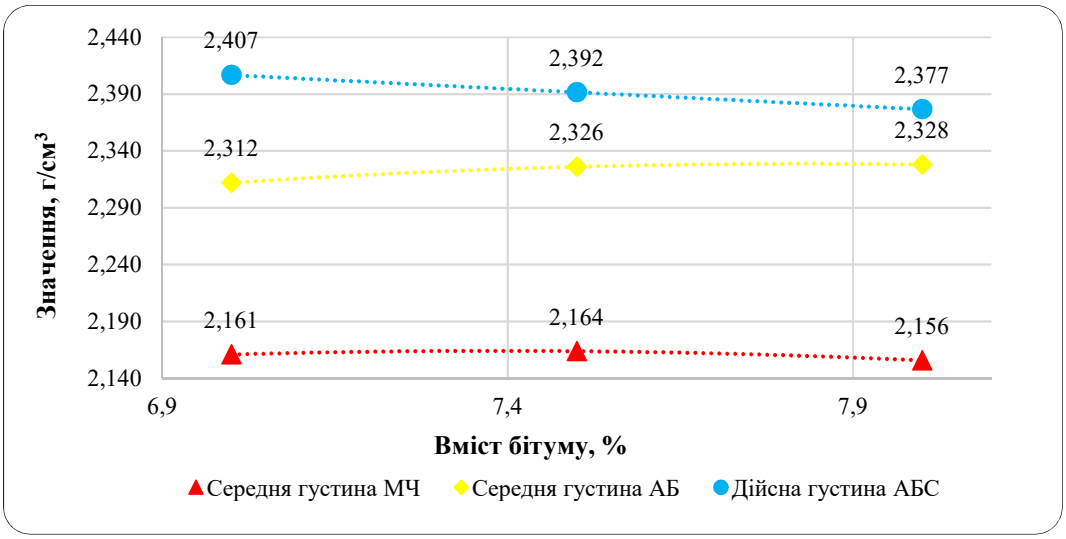


Рисунок 2 — Залежність значень густини від вмісту бітуму

Таблиця 1

Результати випробування асфальтобетонів з наповнювачем із вапняку

Ч.ч.	Найменування показника	Результати випробування		
1	Середня густина дрібного заповнювача фракції 2 – 5 мм, г/см^3	2,679	2,679	2,679
2	Середня густина дрібного заповнювача фракції 0,071 – 2 мм, г/см^3	2,661	2,661	2,661
3	Очевидна густина мінерального порошку, г/см^3	2,631	2,631	2,631
4	Очевидна густина бітуму, г/см^3	1,016	1,016	1,016
5	Середня густина асфальтобетону, г/см^3	2,312	2,326	2,328
6	Вміст дрібного заповнювача фракції 2 – 5 мм, %	25	25	25
7	Вміст дрібного заповнювача фракції 0,071 – 2 мм, %	63	63	63
8	Вміст наповнювача, %	12	12	12
9	Вміст бітуму (понад 100 %), %	7,000	7,500	8,000
10	Вміст бітуму (в 100 %), %	6,540	6,980	7,410
11	Дійсна густина мінеральної частини, г/см^3	2,662	2,662	2,662
12	Середня густина мінеральної частини, г/см^3	2,161	2,164	2,156
13	Дійсна густина суміші, г/см^3	2,407	2,392	2,377
14	Пористість мінеральної частини, % за об'ємом	18,825	18,713	19,020
15	Залишкова пористість, % об'ємом	3,940	2,740	2,050
16	Кількість пор, заповнених в'яжучим, % за об'ємом	14,887	15,972	16,973
17	Кількість пор, заповнених в'яжучим, %	79,080	85,350	89,240
18	Водонасичення, % об'ємом	2,570	1,250	0,500
19	Пористість мінеральної частини, % за об'ємом (ДСТУ EN)	18,825	18,713	19,020
20	Різниця між залишковою пористістю та водонасичення, %	1,370	1,490	1,550
21	Міцність за температури 20 °С, МПа	4,220	4,500	4,400
22	Міцність за температури 50 °С, МПа	1,520	1,680	1,620
23	Міцність за температури 20 °С, МПа, (після водонасичення)	3,860	4,190	4,180
24	Коефіцієнт довготривалої водостійкості	0,910	0,930	0,950
25	Коефіцієнт морозостійкості	0,850	0,860	0,860

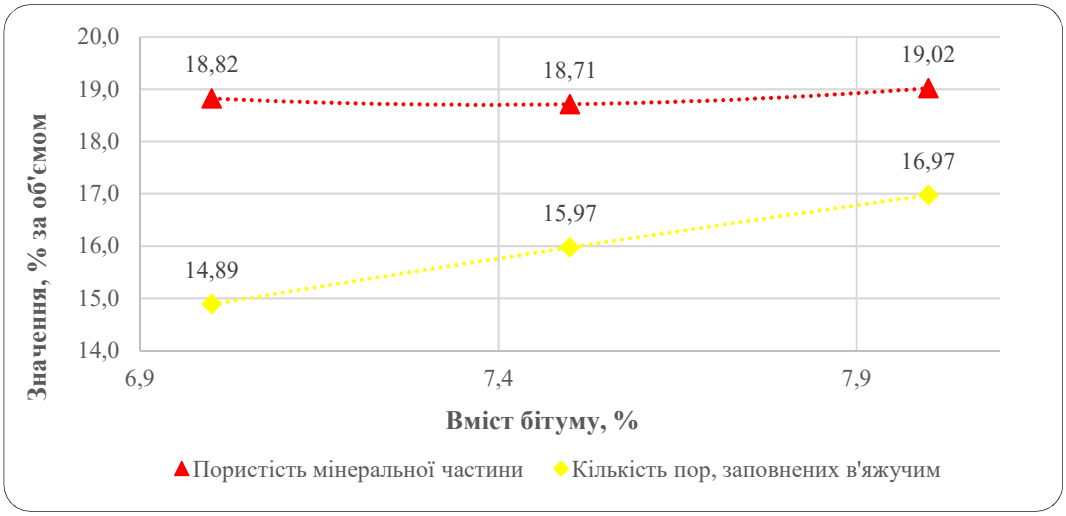


Рисунок 3 — Залежність значень пористості від вмісту бітуму

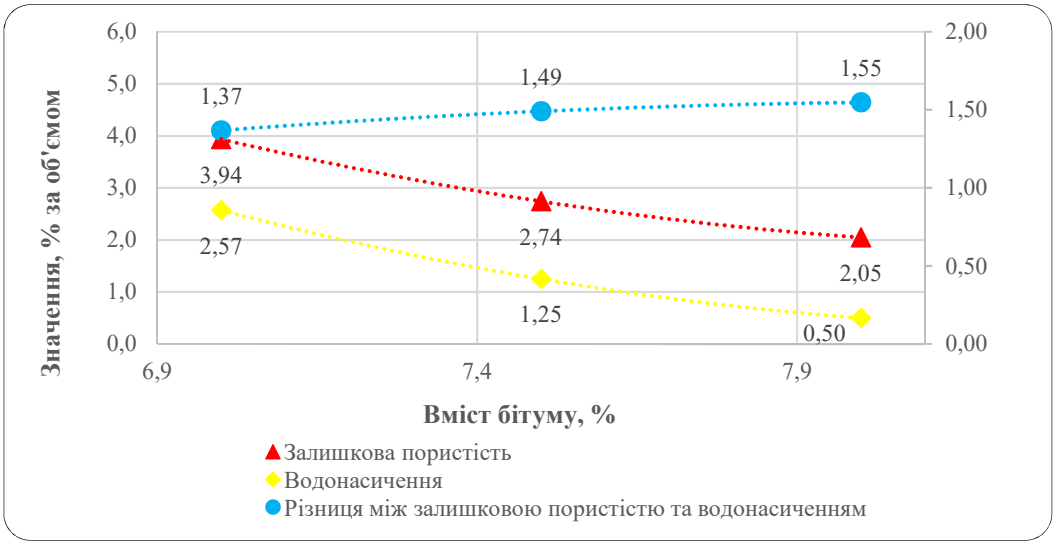


Рисунок 4 — Залежність об'ємних властивостей від вмісту бітуму

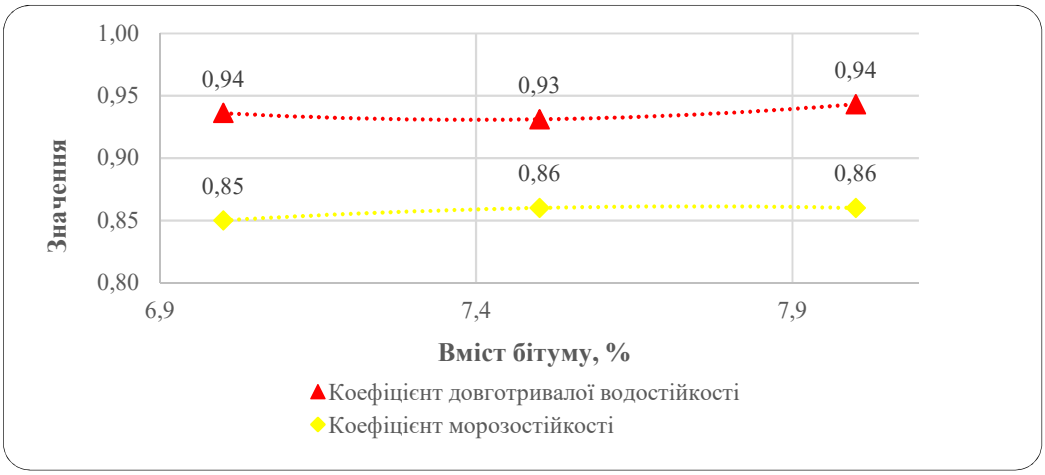


Рисунок 5 — Залежність атмосферостійкості від вмісту бітуму

Результати випробування показали, що із збільшенням вмісту бітуму відбувається поступове зменшення дійсної густини асфальтобетонної суміші та зростання середньої густини асфальтобетону. При цьому, немає чіткої залежності зміни середньої густини мінеральної частини та її пористості від вмісту бітуму, однак існує взаємозв'язок між цими двома показниками. У той же час, поступове збільшення вмісту бітуму приводить до збільшення кількості пор, заповнених в'яжучим.

Залишкова пористість та водонасичення зменшуються із збільшенням вмісту бітуму. При цьому існує чітка залежність між даними показниками. Варто зазначити, що при зменшенні кількості залишкових пор в асфальтобетоні, різниця між залишковою пористістю та водонасиченням збільшується, що свідчить про більшу кількість замкнутих пор у щільнішому асфальтобетоні.

Вміст бітуму не суттєво впливає на міцність асфальтобетону, його водо- та морозостійкість. У всіх випадках результати випробування знаходяться в межах похибки випробування. При цьому найбільшою міцністю відзначається асфальтобетон з 7,5 % бітуму.

Результати випробування асфальтобетонів з наповнювачем із золи-винесення наведені у **табл. 2** і на **рис. 6 – 11**.

Таблиця 2

Результати випробування асфальтобетонів з наповнювачем із золи-винесення Бурштинської ТЕС

Ч.ч.	Найменування показника	Результати випробування		
1	Середня густина дрібного заповнювача фракції 2 – 5 мм, г/см^3	2,679	2,679	2,679
2	Середня густина дрібного заповнювача фракції 0,071 – 2 мм, г/см^3	2,661	2,661	2,661
3	Очевидна густина мінерального порошку, г/см^3	2,602	2,602	2,602
4	Очевидна густина бітуму, г/см^3	1,016	1,016	1,016
5	Середня густина асфальтобетону, г/см^3	2,301	2,319	2,325
6	Вміст дрібного заповнювача фракції 2 – 5 мм, %	25	25	25
7	Вміст дрібного заповнювача фракції 0,071 – 2 мм, %	63	63	63
8	Вміст наповнювача, %	12	12	12
9	Вміст бітуму (понад 100 %), %	7	7,500	8
10	Вміст бітуму (в 100 %), %	6,540	6,980	7,410
11	Дійсна густина мінеральної частини, г/см^3	2,658	2,658	2,658
12	Середня густина мінеральної частини, г/см^3	2,150	2,157	2,153
13	Дійсна густина суміші, г/см^3	2,404	2,389	2,374
14	Пористість мінеральної частини, % за об'ємом	19,102	18,848	19,015
15	Залишкова пористість, % об'ємом	4,290	2,92	2,060
16	Кількість пор, заповнених в'яжучим, % за об'ємом	14,816	15,924	16,951
17	Кількість пор, заповнених в'яжучим, %	77,570	84,490	89,150
18	Водонасичення, % об'ємом	2,820	1,410	0,540
19	Пористість мінеральної частини, % за об'ємом (ДСТУ EN)	19,102	18,848	19,015
20	Різниця між залишковою пористістю та водонасичення, %	1,470	1,510	1,520
21	Міцність за температури 20 °С, МПа	3,900	4,120	4,160
22	Міцність за температури 50 °С, МПа	1,330	1,390	1,510
23	Міцність за температури 20 °С, МПа, (після водонасичення)	3,470	3,690	3,840
24	Коефіцієнт довготривалої водостійкості	0,890	0,900	0,920
25	Коефіцієнт морозостійкості	0,810	0,830	0,870

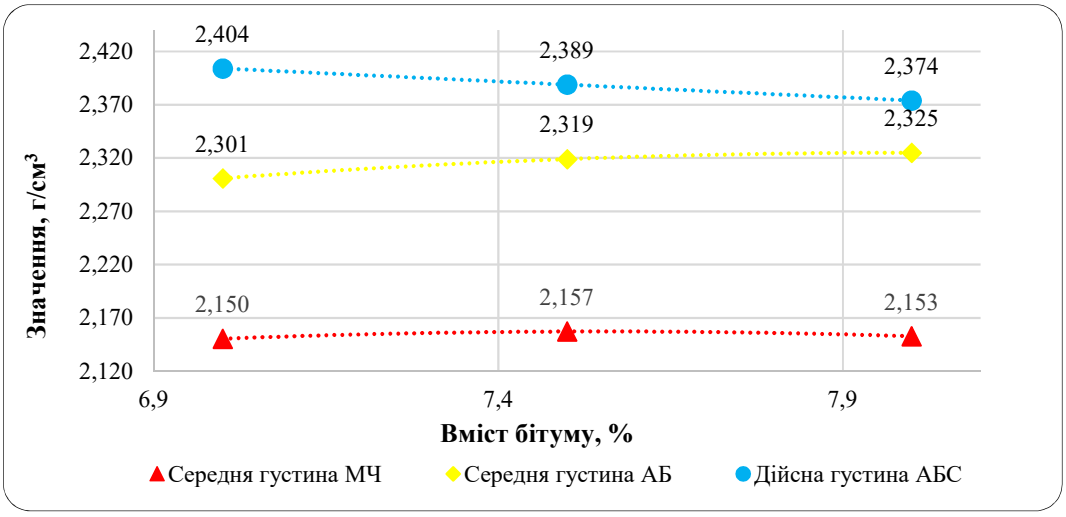


Рисунок 6 — Залежність значень густини від вмісту бітуму

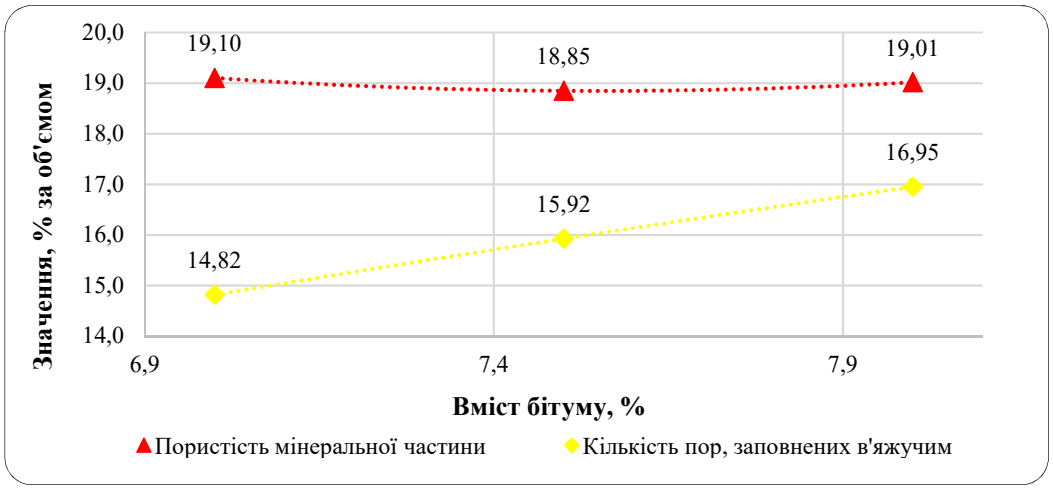


Рисунок 7 — Залежність значень пористості від вмісту бітуму

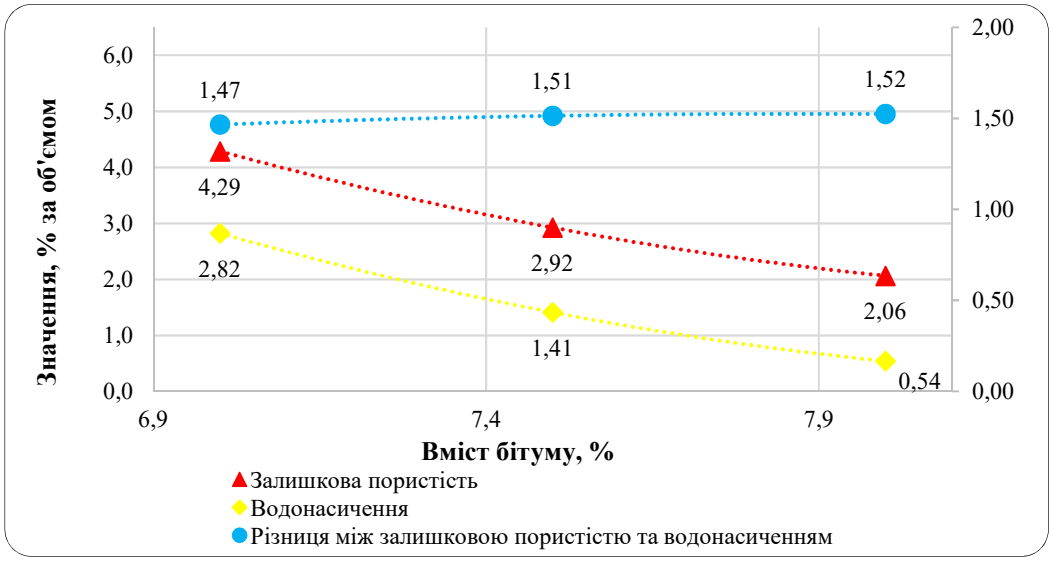


Рисунок 8 — Залежність об’ємних властивостей від вмісту бітуму

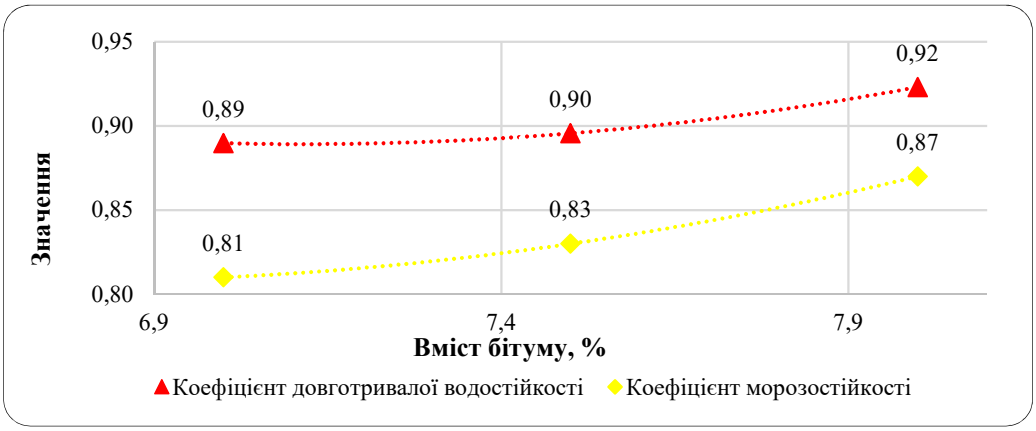


Рисунок 9 — Залежність атмосферостійкості від вмісту бітуму

Результати випробування показали, що із збільшенням вмісту бітуму відбувається поступове зменшення дійсної густини асфальтобетонної суміші та зростання середньої густини асфальтобетону. При цьому, немає чіткої залежності зміни середньої густини мінеральної частини та її пористості від вмісту бітуму, однак існує взаємозв'язок між цими двома показниками. У той же час, поступове збільшення вмісту бітуму призводить до збільшення кількості пор, заповнених в'яжучим.

Залишкова пористість та водонасичення зменшуються у міру збільшення вмісту бітуму. При цьому існує чітка залежність між даними показниками. Варто зазначити, що при зменшенні кількості залишкових пор в асфальтобетоні, різниця між залишковою пористістю та водонасиченням збільшується, що свідчить про більшу кількість замкнутих пор у щільнішому асфальтобетоні.

Вміст бітуму не суттєво впливає на міцність асфальтобетону, його водо- та морозостійкість. У всіх випадках результати випробування знаходяться в межах похибки випробування. При цьому найбільшою міцністю відзначається асфальтобетон з 8,0 % бітуму.

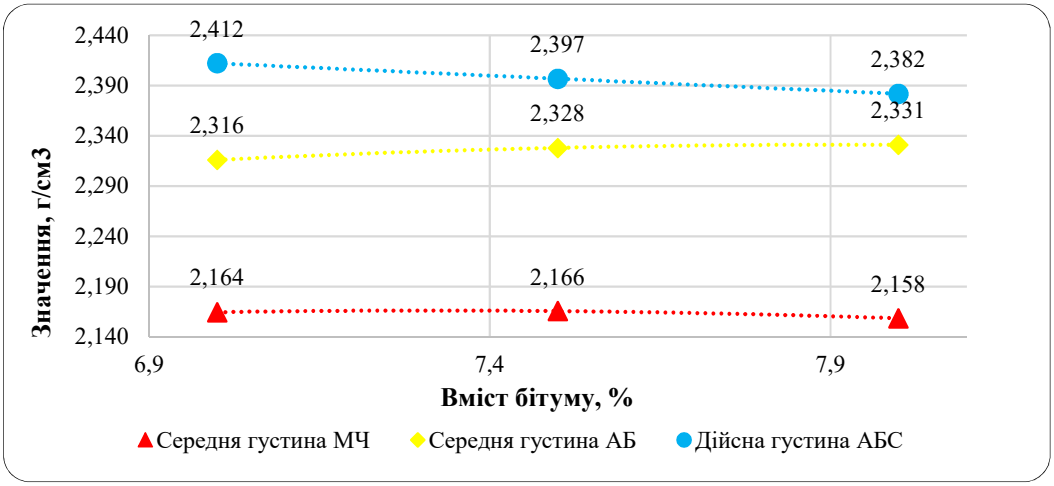


Рисунок 10 — Залежність значень густини від вмісту бітуму

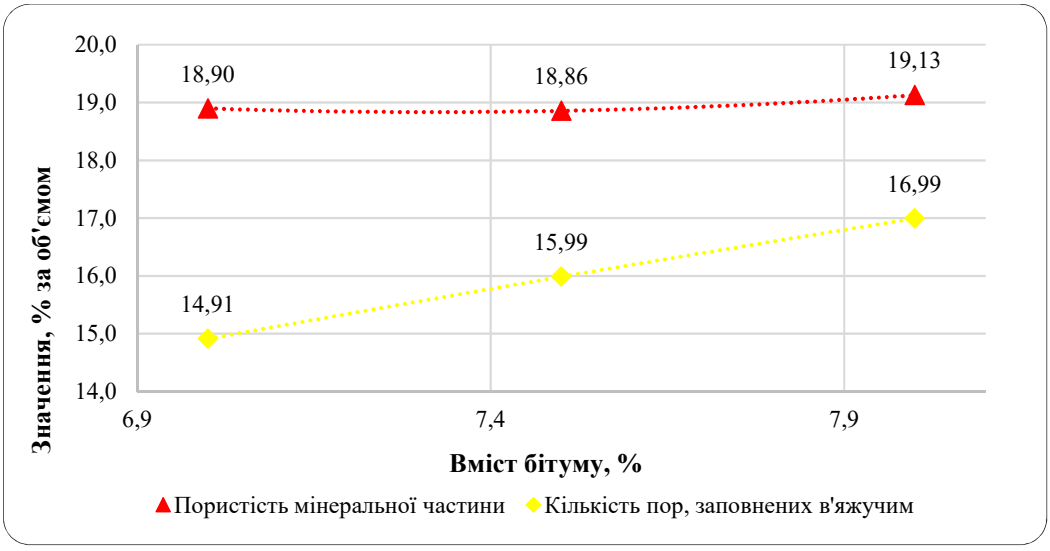


Рисунок 11 — Залежність значень пористості від вмісту бітуму

Результати випробування асфальтобетонів з наповнювачем із кварцттового пилу наведені у **табл. 3** і на **рис. 12 – 15**.

Таблиця 3

Результати випробування асфальтобетонів з наповнювачем із кварцитного пилу

Ч.ч.	Найменування показника	Результати випробування		
1	Середня густина дрібного заповнювача фракції 2 – 5 мм, г/см^3	2,679	2,679	2,679
2	Середня густина дрібного заповнювача фракції 0,071 – 2 мм, г/см^3	2,661	2,661	2,661
3	Очевидна густина мінерального порошку, г/см^3	2,689	2,689	2,689
4	Очевидна густина бітуму, г/см^3	1,016	1,016	1,016
5	Середня густина асфальтобетону, г/см^3	2,316	2,328	2,331
6	Вміст дрібного заповнювача фракції 2 – 5 мм, %	25	25	25
7	Вміст дрібного заповнювача фракції 0,071 – 2 мм, %	63	63	63
8	Вміст наповнювача, %	12	12	12
9	Вміст бітуму (понад 100 %), %	7	7,5	8
10	Вміст бітуму (в 100 %), %	6,540	6,980	7,410
11	Дійсна густина мінеральної частини, г/см^3	2,669	2,669	2,669
12	Середня густина мінеральної частини, г/см^3	2,164	2,166	2,158
13	Дійсна густина суміші, г/см3	2,412	2,397	2,382
14	Пористість мінеральної частини, % за об'ємом	18,897	18,856	19,128
15	Залишкова пористість, % об'ємом	3,980	2,870	2,130
16	Кількість пор, заповнених в'яжучим, % за об'ємом	14,913	15,986	16,995
17	Кількість пор, заповнених в'яжучим, %	78,920	84,780	88,850
18	Водонасичення, % об'ємом	2,610	1,450	0,630
19	Пористість мінеральної частини, % за об'ємом (ДСТУ EN)	18,897	18,856	19,128
20	Різниця між залишковою пористістю та водонасичення, %	1,370	1,420	1,500
21	Міцність за температури 20 °С, МПа	4,080	4,220	4,140
22	Міцність за температури 50 °С, МПа	1,350	1,460	1,490
23	Міцність за температури 20 °С, МПа, (після водонасичення)	3,730	3,840	3,790
24	Коефіцієнт довготривалої водостійкості	0,910	0,910	0,920
25	Коефіцієнт морозостійкості	0,820	0,840	0,850

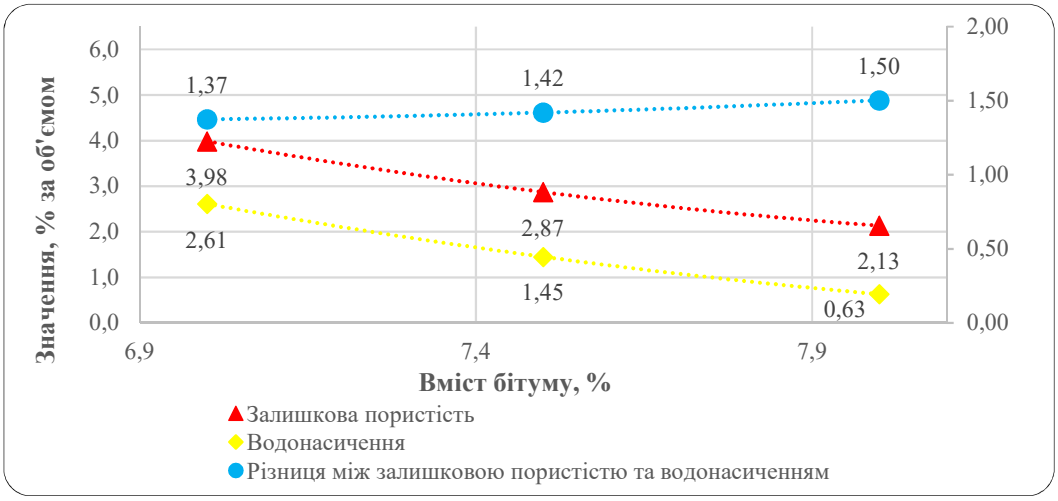


Рисунок 12 — Залежність об'ємних властивостей від вмісту бітуму

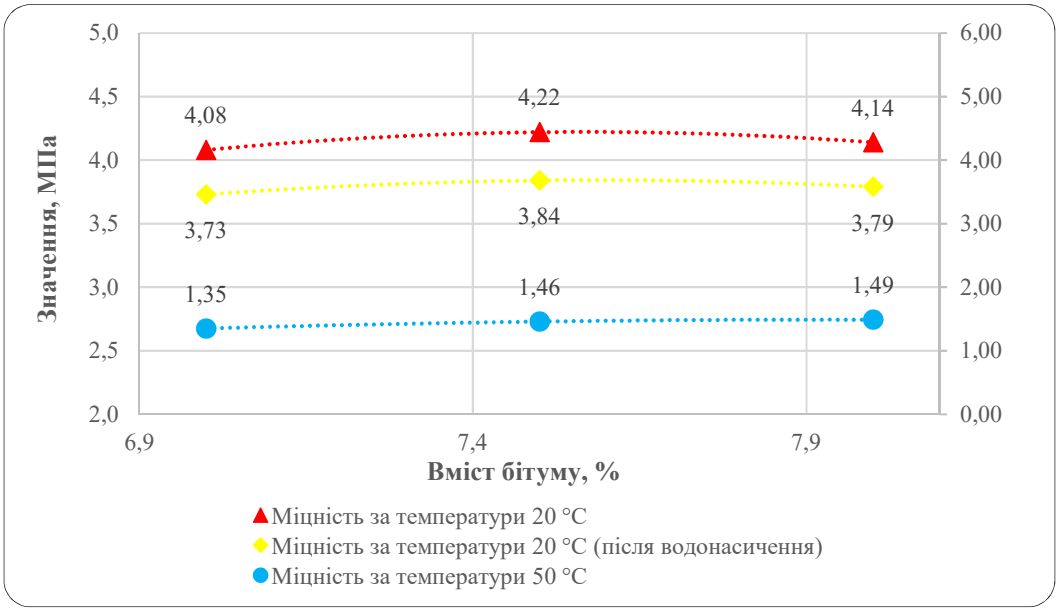


Рисунок 13 — Залежність міцності від вмісту бітуму

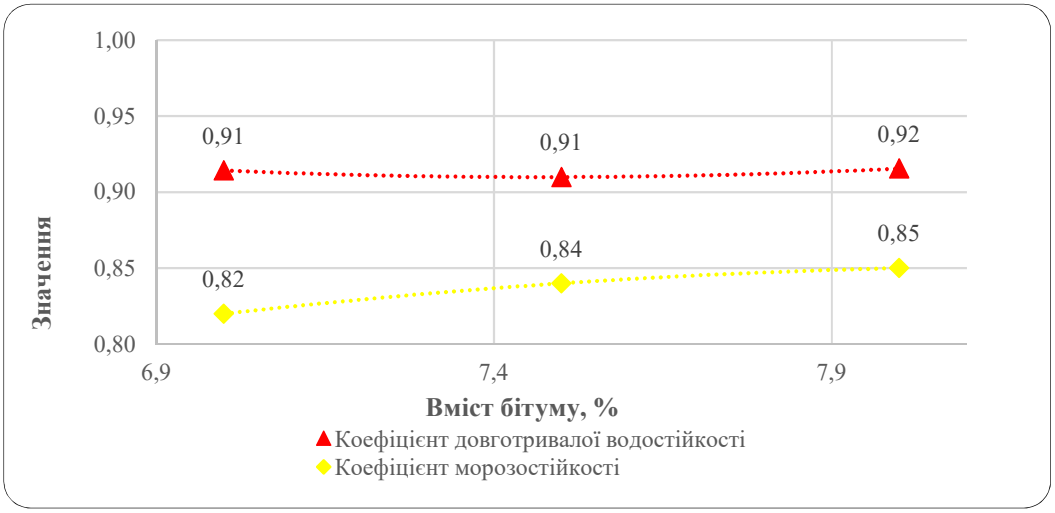


Рисунок 14 — Залежність атмосферостійкості від вмісту бітуму

Результати випробування показали, що із збільшенням вмісту бітуму відбувається поступове зменшення дійсної густини асфальтобетонної суміші та зростання середньої густини асфальтобетону. При цьому, немає чіткої залежності зміни середньої густини мінеральної частини та її пористості від вмісту бітуму, однак існує взаємозв'язок між цими двома показниками. У той же час, поступове збільшення вмісту бітуму призводить до збільшення кількості пор, заповнених в'яжучим.

Залишкова пористість та водонасичення зменшуються у міру збільшення вмісту бітуму. При цьому існує чітка залежність між даними показниками. Варто зазначити, що при зменшенні кількості залишкових пор в асфальтобетоні, різниця між залишковою пористістю та водонасиченням збільшується, що свідчить про більшу кількість замкнутих пор у щільнішому асфальтобетоні.

Вміст бітуму не суттєво впливає на міцність асфальтобетону, його водо- та морозостійкість. У всіх випадках результати випробування знаходяться в межах похибки випробування. При цьому

найбільшою міцністю за температури 20 °С відзначається асфальтобетон з 7,5 % бітуму, а за температури 20 °С — 8,0 %.

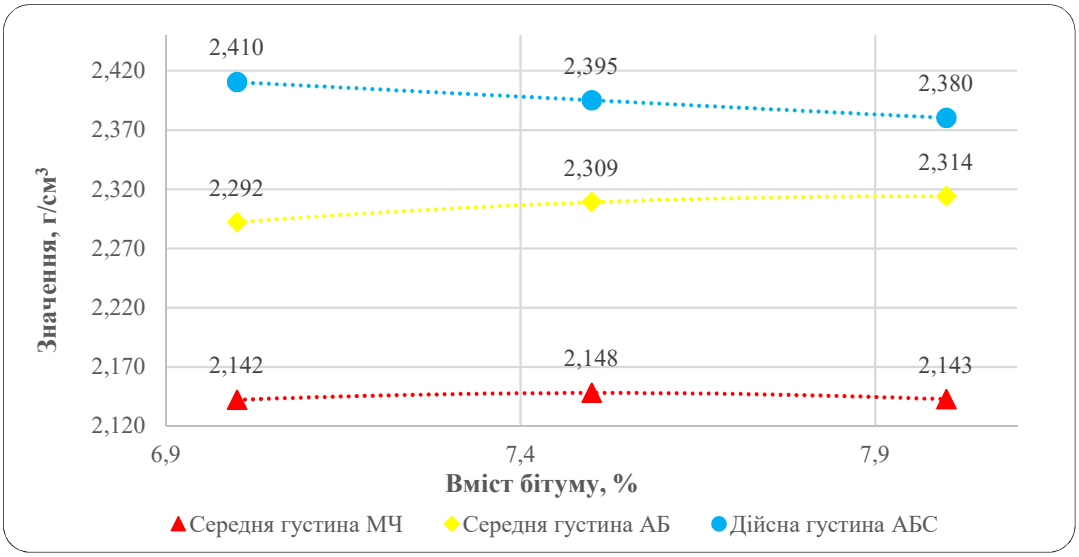


Рисунок 15 — Залежність значень густини від вмісту бітуму

Результати випробування асфальтобетонів з наповнювачем із гранітного пилу наведені у **табл. 4** і на **рис. 16 – 19**.

Таблиця 4

Результати випробування асфальтобетонів з наповнювачем із гранітного пилу

Ч.ч.	Найменування показника	Результати випробування		
1	Середня густина дрібного заповнювача фракції 2 – 5 мм, г/см^3	2,679	2,679	2,679
2	Середня густина дрібного заповнювача фракції 0,071 – 2 мм, г/см^3	2,661	2,661	2,661
3	Очевидна густина мінерального порошку, г/см^3	2,671	2,671	2,671
4	Очевидна густина бітуму, г/см^3	1,016	1,016	1,016
5	Середня густина асфальтобетону, г/см^3	2,292	2,309	2,314
6	Вміст дрібного заповнювача фракції 2 – 5 мм, %	25	25	25
7	Вміст дрібного заповнювача фракції 0,071 – 2 мм, %	63	63	63
8	Вміст наповнювача, %	12	12	12
9	Вміст бітуму (понад 100 %), %	7	7,5	8
10	Вміст бітуму (в 100 %), %	6,540	6,980	7,410
11	Дійсна густина мінеральної частини, г/см^3	2,667	2,667	2,667
12	Середня густина мінеральної частини, г/см^3	2,142	2,148	2,143
13	Дійсна густина суміші, г/см^3	2,410	2,395	2,380
14	Пористість мінеральної частини, % за об'ємом	19,673	19,454	19,653
15	Залишкова пористість, % об'ємом	4,910	3,600	2,780
16	Кількість пор, заповнених в'яжучим, % за об'ємом	14,758	15,856	16,871
17	Кількість пор, заповнених в'яжучим, %	75,020	81,500	85,840
18	Водонасичення, % об'ємом	3,620	2,060	1,120

Кінець таблиці 4

Ч.ч.	Найменування показника	Результати випробування		
19	Пористість мінеральної частини, % за об'ємом (ДСТУ EN)	19,673	19,454	19,653
20	Різниця між залишковою пористістю та водонасичення, %	1,290	1,540	1,660
21	Міцність за температури 20 °С, МПа	3,620	3,810	3,860
22	Міцність за температури 50 °С, МПа	1,250	1,290	1,310
23	Міцність за температури 20 °С, МПа, (після водонасичення)	3,010	3,190	3,260
24	Коефіцієнт довготривалої водостійкості	0,830	0,840	0,840
25	Коефіцієнт морозостійкості	0,690	0,740	0,780

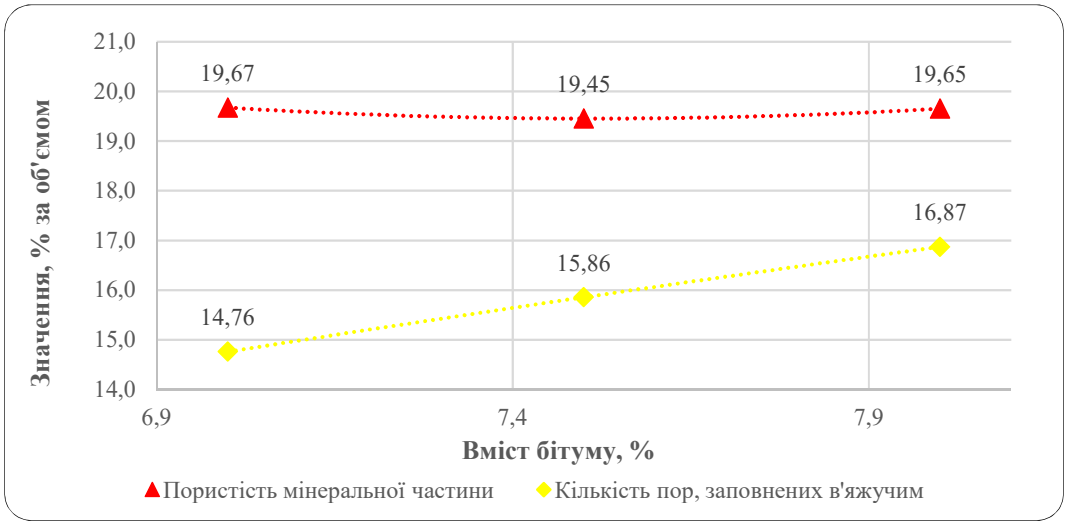


Рисунок 16 — Залежність значень пористості від вмісту бітуму

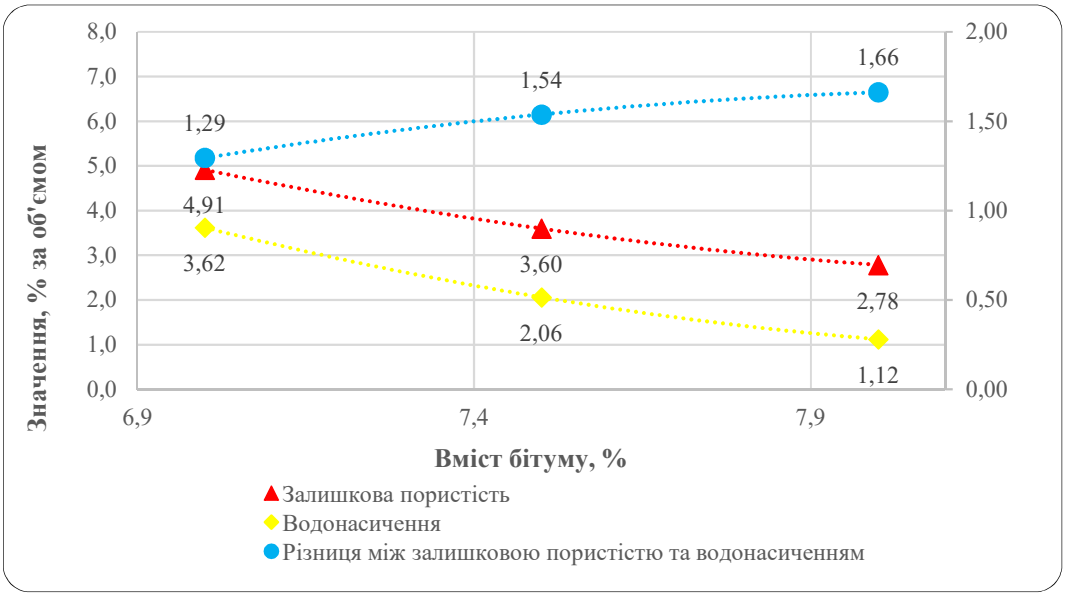


Рисунок 17 — Залежність об'ємних властивостей від вмісту бітуму

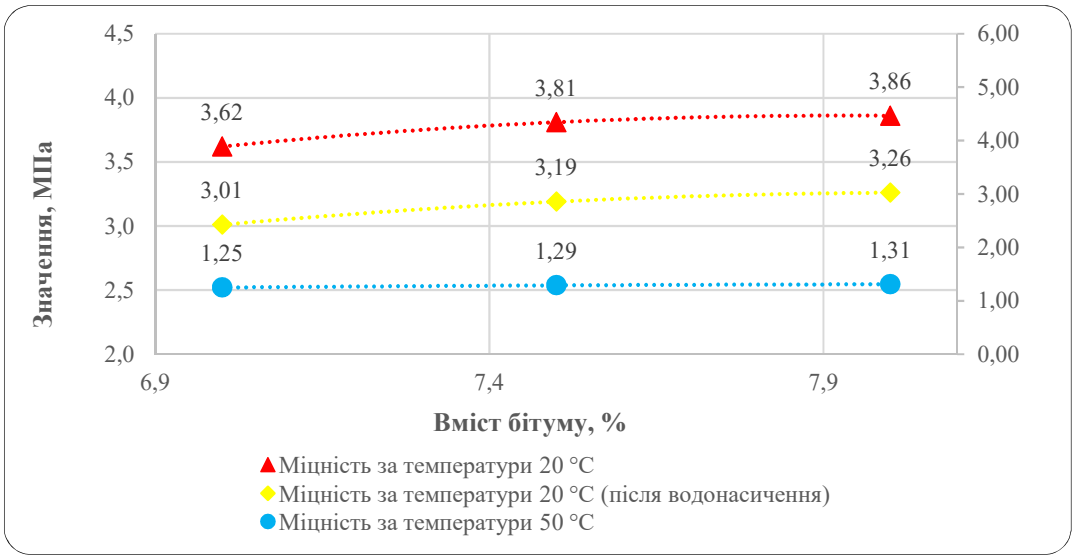


Рисунок 18 — Залежність міцності від вмісту бітуму

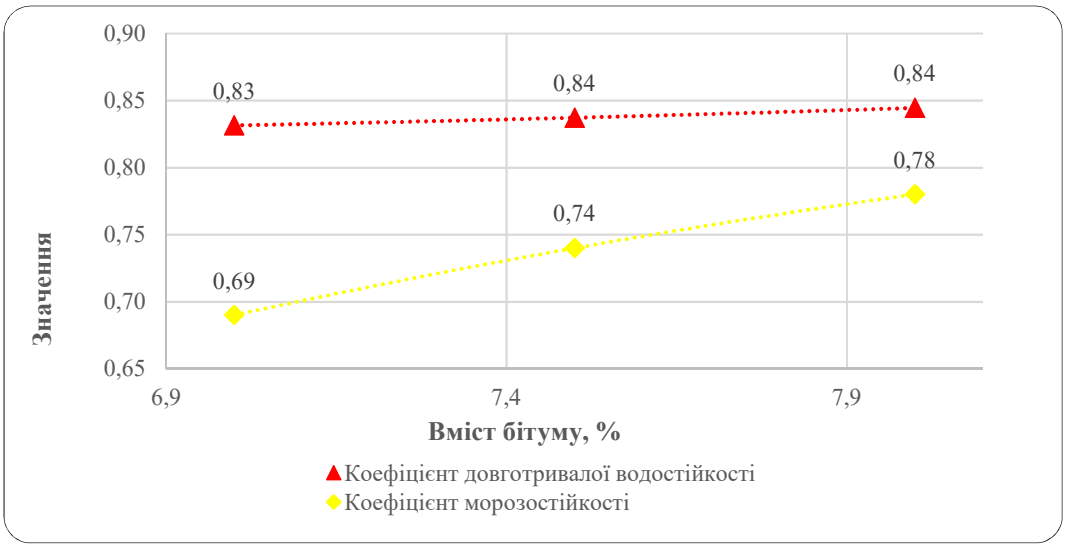


Рисунок 19 — Залежність атмосферостійкості від вмісту бітуму

Висновки

Результати випробування показали, що із збільшенням вмісту бітуму відбувається поступове зменшення дійсної густини асфальтобетонної суміші та зростання середньої густини асфальтобетону. При цьому, немає чіткої залежності зміни середньої густини мінеральної частини та її пористості від вмісту бітуму, однак існує взаємозв'язок між цими двома показниками. У той же час, поступове збільшення вмісту бітуму приводить до збільшення кількості пор, заповнених в'яжучим.

Залишкова пористість і водонасичення зменшуються із збільшенням вмісту бітуму. При цьому існує чітка залежність між даними показниками. Варто зазначити, що при зменшенні кількості залишкових пор в асфальтобетоні, різниця між залишковою пористістю та водонасиченням збільшується, що свідчить про більшу кількість замкнутих пор у щільнішому асфальтобетоні.

Вміст бітуму не суттєво впливає на міцність асфальтобетону та його водостійкість. У всіх випадках результати випробування знаходяться в межах похибки випробування. При цьому найбільшою відзначається асфальтобетон 8,0 % бітуму.

Вміст бітуму має значний вплив на морозостійкість асфальтобетону. Із збільшенням вмісту бітуму від 7,0 % до 8,0 % коефіцієнт морозостійкості зростає з 0,69 до 0,78.

Встановлено, що тип наповнювача практично не впливає на закономірності зміни об'ємних властивостей асфальтобетону, а також міцності. При цьому, найбільшою щільністю відзначається асфальтобетон з наповнювачем із кварциту (2,316 г/см^3 – 2,331 г/см^3), а найменшою — з наповнювачем із граніту (2,292 г/см^3 – 2,314 г/см^3).

У той же час, найменшою залишковою пористістю відзначається асфальтобетон з наповнювачем із вапняку (3,94 % за об'ємом – 2,05 % за об'ємом), а найменшою — з наповнювачем із граніту (4,91 % за об'ємом – 2,78 % за об'ємом). Відповідна тенденція має місце і для водонасичення асфальтобетону.

Міцність асфальтобетону за температури 20 °С та 50 °С також є найбільшою для асфальтобетону з наповнювачем із вапняку, а найменшою — для асфальтобетону з наповнювачем із граніту.

Найбільш суттєвим виявився вплив типу наповнювача на водо- та морозостійкість асфальтобетонів. Так, коефіцієнт довготривалої водостійкості для асфальтобетону з наповнювачем із вапняку залежно від вмісту бітуму становить 0,93 – 0,94, для асфальтобетону з наповнювачем із золи-винесення — 0,89 – 0,92, для асфальтобетону з наповнювачем із кварциту — 0,82 – 0,85, а для асфальтобетону з наповнювачем із граніту — 0,83 – 0,84. Коефіцієнт морозостійкості відповідно становить 0,85 – 0,86; 0,81 – 0,87; 0,82 – 0,85 та 0,69 – 0,78. У випадку наповнювача із вапняку та граніту такі результати можуть бути пов'язані з спорідненістю бітуму на вапняку. Вважається, що між основними гірськими породами та бітумом забезпечується висока зчеплюваність, а з кислими гірськими породами та бітумом навпаки — низька зчеплюваність. Однак у такому випадку нелогічними є результати визначення водо- та морозостійкості асфальтобетону з наповнювачем із кварциту, оскільки даний матеріал на 98 % складається з SiO_2, у той же час асфальтобетон має достатньо високу водо- та морозостійкість.

Таким чином, всі досліджувані наповнювачі може бути використано для виробництва асфальтобетонних сумішей, однак у певних випадках необхідно вживати заходи з підвищення водостійкості асфальтобетону шляхом використання добавок на основі поверхнево-активних речовин або ж використовувати дані наповнювачі в суміші із наповнювачем із вапняку або інших осадових карбонатних гірських порід.

Використання в дорожньому будівництві досліджених наповнювачів із вторинних продуктів промисловості дозволить зменшити видобуток кондиційних природних матеріалів і зменшити шкідливий вплив вторинних продуктів промисловості на довкілля.

Список літератури

1. Пиріг Я. І. Методи оцінки адгезії та когезії бітумних в'яжучих. Харків, 2019. 224 с.
2. Золотарьов В. О. Дорожні бітумні в'яжучі та асфальтобетони. Частина 2. *Дорожні асфальтобетони.* Харків, 2016. 204 с.
3. Grönniger J., Wistuba M.P., Cannone Falchetto A. Reuse ofLinz–Donawitz (LD)slag in asphalt mixtures for pavement application. *Proceedings of the Interantional Conference on Industrial Wasted and Wastewater Treatment & Valorization*, Athens. 2015. P. 21–23.
4. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. Київ, 2026. 56 с. (Інформація та документація).

References

1. Pyrih Ya. I. Metody otsinky adhezii ta kohezii bitumnykh viazhuchykh (. Methods of assessing adhesion and cohesion of bituminous binders). Kharkiv, 2019. 224 p. [in Ukrainian].

2. Zolotarov V. O. Dorozhni bitumni viazhuchi ta asfaltobetony. Chastyna 2. *Dorozhni asfaltobetony* (Road bituminous binders and asphalt concretes. Part 2. Road asphalt concrete). Kharkiv, 2016. 204 p. [in Ukrainian].

3. Grönniger J., Wistuba M. P., Cannone Falchetto A. Reuse ofLinz–Donawitz (LD)slag in asphalt mixtures for pavement application. *Proceedings of the Interantional Conference on Industrial Wasted and Wastewater Treatment & Valorization*, Athens. 2015. P. 21–23 [in English].

4. DSTU B V.2.7-319:2016 Sumishi asfaltobetonni i asfaltobeton dorozhnii ta aerodromnyi. Metody vyprobuvan (Asphalt concrete mixtures and road and airfield asphalt concrete). Kyiv, 2026. 56 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

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

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

RESEARCH ON THE IMPACT OF VARIOUS FILLERS ON THE WEATHER RESISTANCE OF ASPHALT CONCRETE

Abstract

Introduction. The properties of bituminous-mineral materials are determined by the bonds formed between individual mineral grains and depend on the characteristics of the bitumen, the thickness of the bitumen layer covering the mineral grains, as well as the interaction processes between the mineral materials and bitumen at their joint interface. To ensure a strong and stable bond between the grains, the bitumen must evenly cover the surface of the mineral materials with a thin layer. To improve the strength of road pavement made from bituminous-mineral material, it is necessary for the maximum amount of bitumen to be adsorbed by the mineral material, minimizing the content of free bitumen.

Problem Statement. Depending on the nature of the mineral material and the chemical composition of the bitumen, the properties of its thin layers change in various ways. On an active mineral surface, the strength of the bitumen in a thin layer increases as the thickness decreases, while on an inactive surface, the strength of the bitumen remains largely unchanged with a decrease in layer thickness.

Objective. This research is aimed at determining the impact of fillers of different origins on the volumetric properties of asphalt concrete and its mechanical properties, as well as its weather resistance.

Materials and Methods. For the study, mineral powder from limestone, granite, quartzite, and fly ash was used.

Results. The test results showed that as the bitumen content increases, the actual density of the asphalt concrete mixture gradually decreases, while the average density of the asphalt concrete increases. At the same time, there is no clear relationship between changes in the average density of the mineral part and its porosity depending on the bitumen content, though a correlation exists between these two indicators. Simultaneously, the gradual increase in bitumen content leads to an increase in the number of pores filled with binder.

Conclusions. All the tested fillers can be used for asphalt concrete production, but in certain cases, measures need to be taken to improve the water resistance of the asphalt concrete, such as using additives based on surfactants or combining these fillers with limestone or other sedimentary carbonate rocks.

The use of the materials studied in road construction will reduce the extraction of standard natural materials and decrease the negative environmental impact of waste.

Keywords: asphalt concrete, weather resistance, bitumen, water resistance, mechanical properties, frost resistance, filler, volumetric properties.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.203

УДК 665.775

Пиріг Я. І., *канд. техн. наук, ст. наук. співр., https://orcid.org/0000-0003-0957-2251*
Оксак С. В., *канд. техн. наук, доц., https://orcid.org/0000-0002-3084-3469*
Ільїн Я. В., *канд. техн. наук, https://orcid.org/0000-0003-2998-3955*
Місніченко С. О., *https://orcid.org/0009-0004-1697-9249*

Харківський національний автомобільно-дорожній університет (ХНАДУ), м. Харків, Україна

ОГЛЯД МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПЛАСТИЧНОСТІ ЛИТОЇ АСФАЛЬТОБЕТОННОЇ СУМІШІ, ЯКИЙ БАЗУЄТЬСЯ НА ВСТАНОВЛЕНІ ГЛИБИНИ ЗАНУРЮВАННЯ ВИПРОБУВАЛЬНОГО СТРИЖНЯ

Анотація

Вступ. Литі асфальтобетони є одним з найдавніших дорожньо-будівельних матеріалів, що застосовувалися для влаштування покриттів автомобільних доріг.

Проблематика. Литий асфальтобетон є різновидом гарячих асфальтобетонів, особливістю якого є підвищена кількість мінерального порошку та бітумного в'яжучого, завдяки чого литі суміші можуть укладатися в дорожнє покриття без ущільнення. Виходячи з цього одним з найголовніших технологічних показників якості литих асфальтобетонних сумішей є їх пластичність (рухомість). Саме цей показник є одним з найголовніших для проєктування складу литої асфальтобетонної суміші, встановлення оптимальної кількості бітумного в'яжучого та призначення технологічних температур приготування суміші на заводі та укладання її в дорожнє покриття. Не зважаючи на це, на даний час, у вітчизняній дорожній галузі цей показник не визначається та не нормується.

Мета. Метою роботи був огляд методу визначення пластичності литої асфальтобетонної суміші, який базується на встановленні глибини занурення випробувального стрижня, а також встановлення можливості та доцільності його використання для оцінювання якості литих сумішей.

Матеріали та методи. В якості об'єкта дослідження прийнято метод визначення пластичності литої асфальтобетонної суміші, який полягає у встановленні глибини занурення випробувального стрижня, що використовується в країнах Європи для підбору складу литих сумішей та встановлення оптимальних температурних режимів їх виготовлення та укладання в покриття. Перевірка методу визначення пластичності здійснювалась на литій асфальтобетонній суміші ЛАБС-10, виготовленій на нафтовому бітумі БНД 35/50, склад та властивості якої відповідають вимогам чинних вітчизняних нормативних документів.

Результати. У статті представлені результати апробації методу визначення пластичності литої асфальтобетонної суміші, який базується на встановленні глибини занурення випробувального стрижня. Встановлені переваги та недоліки даного методу та приладу, що використовується для визначення пластичності суміші, а також намічені подальші кроки щодо його вдосконалення. На основі експериментальної перевірки даного методу визначено його чутливість до складу литих асфальтобетонних сумішей та температури їх виготовлення. Встановлено, що комплексне оцінювання литих асфальтобетонних сумішей за показниками технологічної та експлуатаційної пластичності, дозволяє визначати на стадії проєктування складу литих сумішей оптимальний вміст бітумного в'яжучого та призначати найбільш раціональний температурний режим приготування та укладання сумішей.

Висновки. На основі експериментальної перевірки методу визначення пластичності (рухомості) литих асфальтобетонних сумішей, який базується на оцінюванні пластичності за глибиною занурювання випробувального пристрою (плунжера, штока, молотка) у суміш, встановлено можливість і доцільність його використання для: проєктування складу литих сумішей; вибору оптимальної кількості бітумного в'яжучого та встановлення прийнятних технологічних температур приготування та укладання сумішей.

Ключові слова: лита асфальтобетонна суміш, метод, пластичність (рухомість) суміші, температура.

Вступ

Литий асфальтобетон є найдавнішим різновидом гарячих асфальтобетонів [1], що зараз знаходить широке використання в дорожньому та цивільному будівництві для влаштування дорожніх та мостових покриттів, покриттів на паркінгах, у виробничих і житлових приміщеннях, влаштування гідроізоляції та інше. На відміну від інших видів, литі асфальтобетонні суміші при укладанні в покриття за рахунок високої пластичності (рухомості) ущільнюються під власною вагою. Виходячи з цього, важливим показником якості литих асфальтобетонних сумішей є саме їх пластичність (рухомість). На жаль, на даний час, ні у вітчизняній дорожній галузі, ні в дорожніх галузях інших країн світу цей важливий показник не є стандартизованим та обов'язковим для визначення.

Класифікація методів оцінювання пластичності литих асфальтобетонних сумішей

За час використання литих асфальтобетонних сумішей для влаштування дорожніх покриттів науковцями різних країнах світу було створено певну кількість різних методів оцінювання пластичності, які можуть бути умовно розділені на такі, що базуються на:

1) визначенні часу або глибини занурювання випробувального пристрою (плунжера, штока, молотка) у суміш;
2) оцінювані діаметра розтікання суміші під дією власної ваги;
3) встановленні значення крутного моменту мішалки під час перемішування литої суміші.

Методам кожної групи притаманні загальні особливості, переваги та недоліки.

Методи першої групи є найдавнішими та найбільш розповсюдженими (консистометр Хєтчинсона, метод А. І. Риб'єва, метод Люєра та інші [2 – 5]). Загальний принцип їх дії полягає у визначенні або часу занурення індентора встановленої довжини у суміш або глибини занурення інденторау у суміш за встановлений час. Перевагою методів цієї групи є простота конструкції приладів, що використовуються та відповідно їх низька вартість, малий час проведення випробування. Недоліками методів є: відносно великий обсяг суміші, потрібної для проведення випробування, швидке остигання поверхні суміші, що позначається на результатах (особливо це актуально у випадку проведення випробування за надто високих температур суміші чи надто низької температури навколишнього середовища). Методи цієї групи, враховуючи їх переваги та недоліки, використовуються зазвичай для проведення операційного контролю якості литих асфальтобетонних сумішей під час їх виготовлення на асфальтобетонних заводах та укладанні на місці влаштування дорожнього покриття.

Методи другої групи засновані на принципі розтікання суміші під дією власної ваги. Найбільш відомим є метод, що базується на використанні приладу Д. Абрамса [6, 7]. Методи цієї групи також є відносно простими у використанні, не потребують складного обладнання, дозволяють відносно швидко отримати результат та використовувати одну й ту ж саму суміш для декількох випробувань. До недоліків методу можна віднести: відносно великий обсяг литої асфальтобетонної суміші, потрібний для проведення випробування; різна швидкість остигання суміші в процесі випробування залежно від температурної чутливості бітумного в'яжучого, складу литої суміші та температури проведення випробування; ймовірність отримання похибок у випадку налипання суміші на стінки приладу (спостерігається у випадку низької температури випробування або високої в'язкості бітумного в'яжучого, що входить до складу суміші, у процесі випробування) або розриву суцільності литої суміші під час її витікання (спостерігається у випадку використання високов'язких бітумів або модифікованих бітумних в'яжучих), які впливають на точність результатів та їх збіжність.

Методи, що входять до третьої групи є найбільш сучасними (зазвичай прилади оснащують різноманітними датчиками та комп'ютеризованими системами отримання та оброблення даних) і характеризуються найбільш точними та відтворюваними результатами, однак через недоліки, до яких

відноситься складність випробувального обладнання, його значна вартість, обмеженість сфери застосування (переважно для оцінювання пластичності сумішей із максимальним розміром зерен заповнювача 8 мм), ці прилади використовують виключно в наукових цілях у дослідницьких лабораторіях і майже не застосовуються у виробничих лабораторіях. Згідно з принципами, що покладені в основу методів цієї групи, пластичність оцінюється за вимірюванням крутного моменту лопатей мішалки, який утворюється при перемішуванні асфальтобетонної суміші [8 – 10].

Прилад та методика визначення пластичності литих асфальтобетонних сумішей

У даний час співробітниками кафедри Технології дорожньо-будівельних матеріалів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету на замовлення Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України виконується робота, направлена на розроблення методу оцінювання пластичності (рухомості), що буде застосовуватися під час проєктування складу литих асфальтобетонних сумішей та оцінювання їх технологічних властивостей. В якості одного з можливих, розглянуто метод визначення пластичності литих асфальтобетонних сумішей, що було розроблено та стандартизовано в Чеській республіці. Використовуючи схему приладу (**рис. 1**), яка наведена в чеських національних стандартах (TP 238 [11] та ČSN 73 6160 [12]), за власні кошти виготовлено відповідний прилад, зовнішній вигляд якого представлено на **рис. 2**.

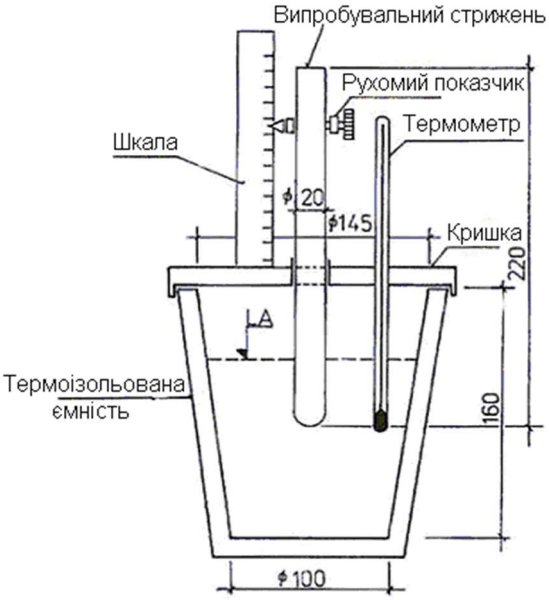


Рисунок 1 — Схема приладу для визначення пластичності (рухомості) литої асфальтобетонної суміші [11, 12]

Даний метод відноситься до першої групи та який базується на визначенні глибини занурювання випробувального пристрою в литу асфальтобетонну суміш за фіксований час (30 с).

Конструктивно прилад складається з наступних складових (**рис. 2**):

— товстостінної металевої ємності (1) у вигляді усіченого конуса (висота внутрішньої частини (160 ± 1) мм, діаметр більшої основи (145 ± 1) мм, діаметр меншої основи (100 ± 1) мм, в якій розміщують литу асфальтобетонну суміш, пластичність якої визначають;

— металевої кришки (2) з отворами для випробувального стрижня, термометра та візуального спостереження;

— металевого випробувального стрижня (3) діаметром 20 мм та вагою 350 г з показчиком глибини занурення;

— термометра (4), в якості якого використано вимірювач температури, що містить датчик і пристрій зчитування (діапазон вимірювання температури від 100 ºС до 300 ºС, найменша поділка шкали 1 ºС, точність 1 ºС);

— металевої лінійки (5) з межею вимірювань не менше 20 см та ціною поділки 1 мм.

Методика визначення пластичності литої асфальтобетонної суміші складається з підготовки суміші та безпосередньо її випробування. Литу асфальтобетонну суміш в кількості 4 кг виготовляли згідно з розділом 5 ДСТУ Б В.2.7-319 [13]. Виготовлену суміш завантажували в металеву ємність відповідного обсягу та разом з приладом (металева ємність, кришка та металевий випробувальний стрижень) розташовували в сушильній шафі за температури (200 ± 2) °С та витримували впродовж 30 хв.

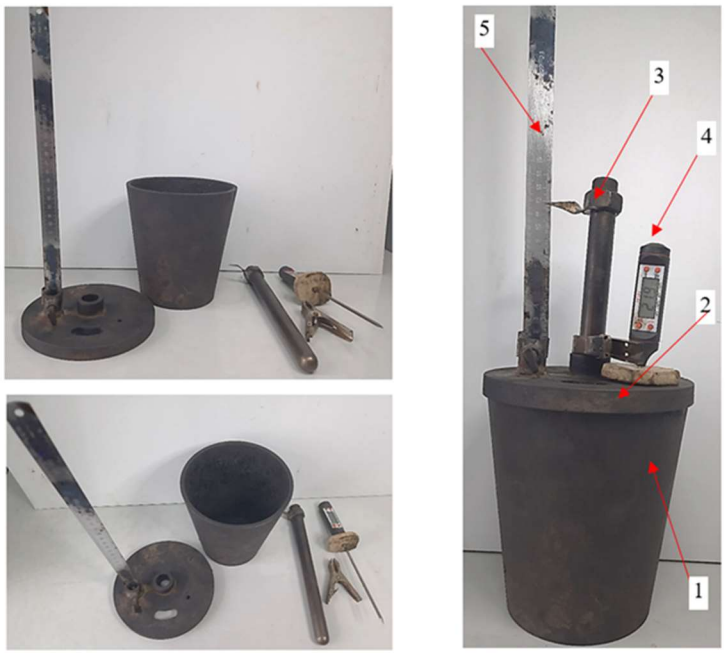


Рисунок 2 — Зовнішній вигляд приладу для визначення пластичності литої асфальтобетонної суміші

Витриману за технологічної температури литу асфальтобетонну суміш завантажували у металеву ємність та закривали кришкою. У відповідний отвір в кришці встановлювали термометр, занурюючи його в суміш, та фіксували температуру під час випробування. У відповідний отвір в кришці встановлювали випробувальний стрижень, нижня поверхня якого повинна бути занурена в суміш на (3 ± 0,2) см. За допомогою лінійки відмічали вихідне положення покажчика глибини занурення. Випробувальний стрижень відпускали, після чого відбувалося його занурення під дією власної ваги в литу асфальтобетонну суміш впродовж 30 с. Кожні 5 с за допомогою лінійки фіксували положення покажчика глибини занурення.

Після закінчення випробування литу асфальтобетонну суміш вивантажували у металеву ємність та ретельно переміщували. Ємність із сумішшю розташовували в сушильній шафі за температури що на 10 ºС є вищою, ніж температура попереднього випробування, та після досягнення в сушильній шафі температури випробування, витримували впродовж 30 хв. Випробування повторювали за температур в діапазоні від 200 °С до 260 °С з поступовим підвищенням температури випробування на 10 °С. За необхідності діапазони температур випробування можуть бути розширені до 160 °С … 280 °С, при цьому відповідне коригування температурного режими повинно бути здійснено після випробування за перших двох температур.

Використовуючи експериментально отримані дані та номограму, представлену на **рис. 3**, було побудовано для кожної температури випробування залежність глибини занурення випробувального стрижня в суміш від часу занурення.

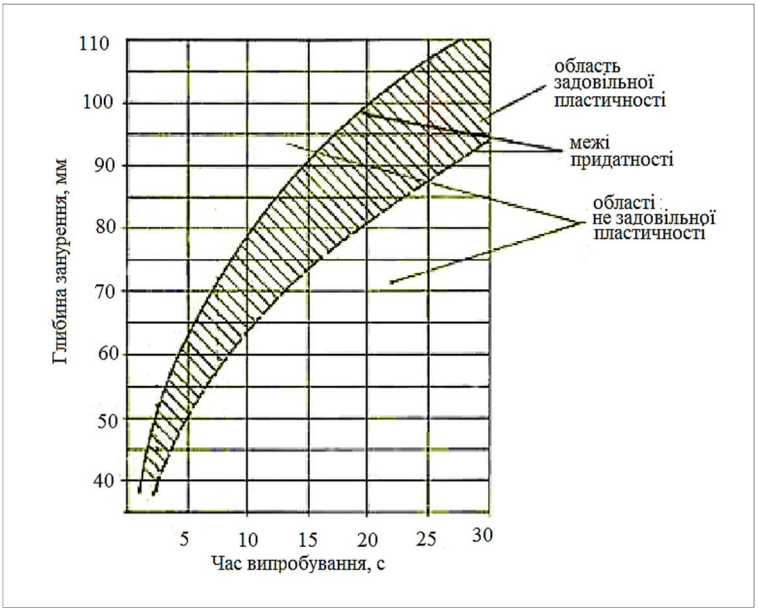


Рисунок 3 — Номограма для оцінювання рухомості литої суміші

Для кожної залежності встановлюють рівняння типу:

$$y = A + B \cdot T \,, \tag{1}$$

де y — глибина занурення штока, мм;
A та B — коефіцієнти лінійної залежності;
T — час занурення випробувального стрижня, с.

Використовуючи отримане рівняння визначають коефіцієнт кореляції, який повинен бути не меншим ніж 0,9.

За оптимальну температуру приготування литих асфальтобетонних сумішей може бути прийнята температура, за якої залежність глибини занурення випробувального стрижня від часу випробування знаходиться в межі придатності, представленій на номограмі (**рис. 3**), а інтервал можливих технологічних температур може бути визначено за залежністю глибини занурення випробувального стрижня за часу занурення 10 с та 20 с від температури випробування (**рис. 4**).

Під час апробації даного методу визначення пластичності (рухомості) литої асфальтобетонної суміші встановлено, що його суттєвими перевагами є: відносно невеликий обсяг литої асфальтобетонної суміші, потрібний для проведення випробування (≈ 4 кг); відносно малий час проведення випробування; проведення випробування в закритій термоізольованій ємності, що запобігає остиганню суміші та зменшує похибки під час проведення випробування; можливість точної фіксації температури литої суміші впродовж всього часу випробування; можливість проведення випробування за будь-якої температури в межах (180 – 280) °С; можливість розміщення приладу в сушильній шафі, що дозволяє проводити випробування за необхідною температурою; інформативність методу, яка полягає в отриманні за одне випробування експериментальних даних, за якими можливо побудувати залежність глибини занурення випробувального стрижня від часу його занурення та оцінити зміну швидкості занурення від часу випробування.

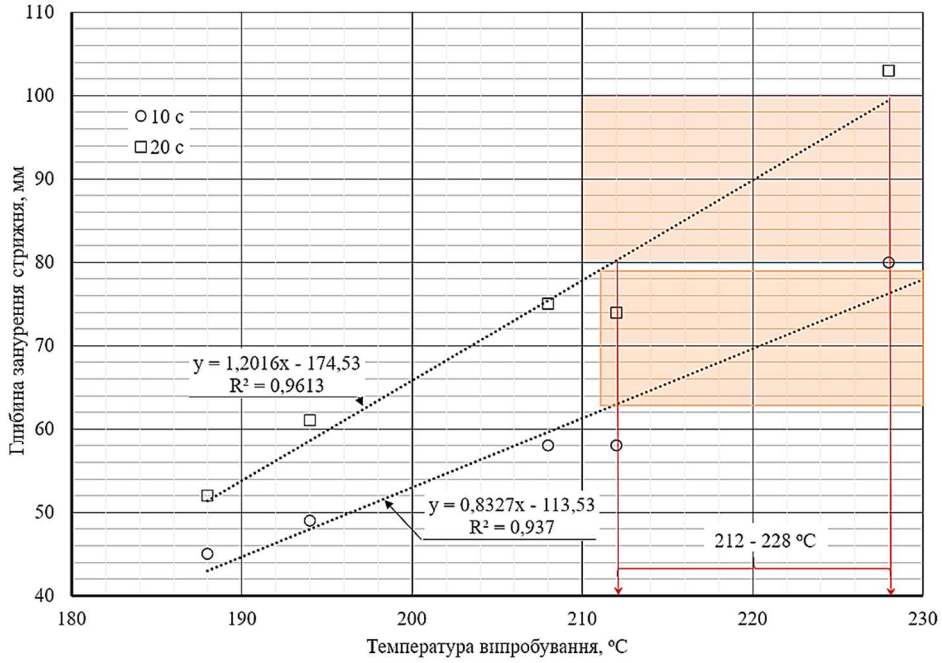


Рисунок 4 — Визначення інтервалу технологічних температур, що забезпечує задовільну пластичність (рухомість) литої асфальтобетонної суміші

До недоліків методу можна віднести:

— необхідність під час випробування одночасного контролювати два параметри (час та глибину занурення випробувального стрижня), що може призводити до певних похибок;

— під час випробування за високих технологічних температур спостерігається значне зниження температури литої асфальтобетонної суміші в металевій ємності; для запобігання цього є необхідним дообладнання металевої ємності, в якій знаходиться лита асфальтобетонна суміш, теплоізоляційним кожухом;

— залежність збіжності результатів випробування від гранулометричного складу литої асфальтобетонної суміші та температури випробування (з підвищенням вмісту крупного щебеню в суміші спостерігається зменшення точності отриманих результатів).

Для встановлення збіжності, отриманих даним методом результатів, було здійснено визначення пластичності (рухомості) литої асфальтобетонної суміші за різних температур. На основі отриманих даних (ряд залежностей наведено на (**рис. 5**) встановлено, що за однієї температури впродовж перших 10 с результати, незалежно від температури випробування, майже не відрізняються. Зі збільшенням часу випробування до 15 с різниця між значеннями показника пластичності збільшується до 4 – 8 мм, а при збільшенні часу випробування до 30 с різниця для деяких випробувань зростає до 10 мм. Таким чином, збіжність результатів визначення пластичності литих асфальтобетонних сумішей, основаної на визначенні глибини занурювання випробувального стрижня, після 10 с випробування не перевищує 1 – 2 мм, а після 20 с випробування 5 – 10 мм.

Експериментальне перевіряння визначення пластичності литих асфальтобетонних сумішей

Експериментальне перевіряння методу визначення пластичності литої суміші, який базується на встановленні глибини занурювання випробувального стрижня, здійснювали на суміші виду ЛАБС-10, гранулометричний склад якої відповідає вимогам, наведеним в проєкті ДСТУ ХХХХ-6:202Х «Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон. Технічні умови. Частина 6. Литі суміші», що в даний час знаходиться на затвердженні в Національному органі стандартизації України ДП «УкрНДНЦ».

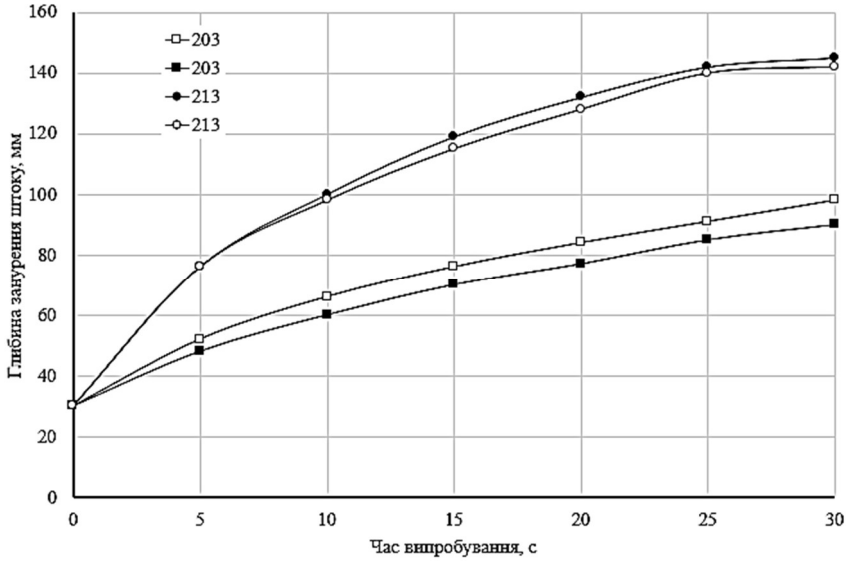


Рисунок 5 — Оцінювання збіжності визначення пластичності (рухомості) литої суміші

В якості в'яжучого використано нафтовий дорожній бітум, що має наступні характеристики: пенетрація за температури 25 ºС – (41 × 0,1) мм, температура розм'якшеності – 52,2 ºС, температура крихкості – мінус 11 ºС, зчеплюваність з поверхнею скла за температури 85 ºС – 29,7 %, індекс пенетрації – мінус 1,11. Бітум приймався в кількості 9 %, 10 % та 11 %.

Кам'яні матеріали представлені гранітним щебнем фракції 5 – 10 мм та гранітним відсівом із Шматковського кар'єру Полтавської області.

Стандартні властивості литих асфальтобетонів наведені в **табл. 1**.

Таблиця 1

Стандартні властивості литих асфальтобетонів, що прийняті в дослідженні

Кількість бітуму, %	Температура виготовлення, ºС	Середня густина асфальтобетону, г/см^3	Дійсна густина асфальтобетону, г/см^3	Залишкова пористість, %	Глибина вдавлювання штампа за 40 ºС, мм	Збільшення глибини вдавлювання штампа, мм
9	210	2,341	2,399	2,45	2,57	0,28
	220	2,351		2,01	2,56	0,32
	230	2,357		1,74	2,41	0,29
	240	2,365		1,43	2,16	0,27
10	190	2,332	2,371	1,65	5,49	0,98
	200	2,337		1,54	4,57	0,88
	210	2,349		0,96	3,90	0,69
	220	2,355		0,88	3,23	0,66
	230	2,366		0,24	–	–
11	160	2,307	2,345	1,60	9,57	2,94
	180	2,306		1,65	7,75	2,00
	200	2,330		0,55	5,36	1,26
	220	2,336		0,38	5,20	1,15

Графічні залежності випробування литих асфальтобетонних сумішей представлені на **рис. 6**. Залежно від вмісту дорожнього бітуму в складі литої суміші випробування здійснювали в різних температурних діапазонах:

— для суміші ЛАБС-10 з 9 % бітуму – з 220 °С по 260 °С;
— для суміші ЛАБС-10 з 10 % бітуму – з 190 °С по 240 °С;
— для суміші ЛАБС-10 з 11 % бітуму – з 160 °С по 220 °С.

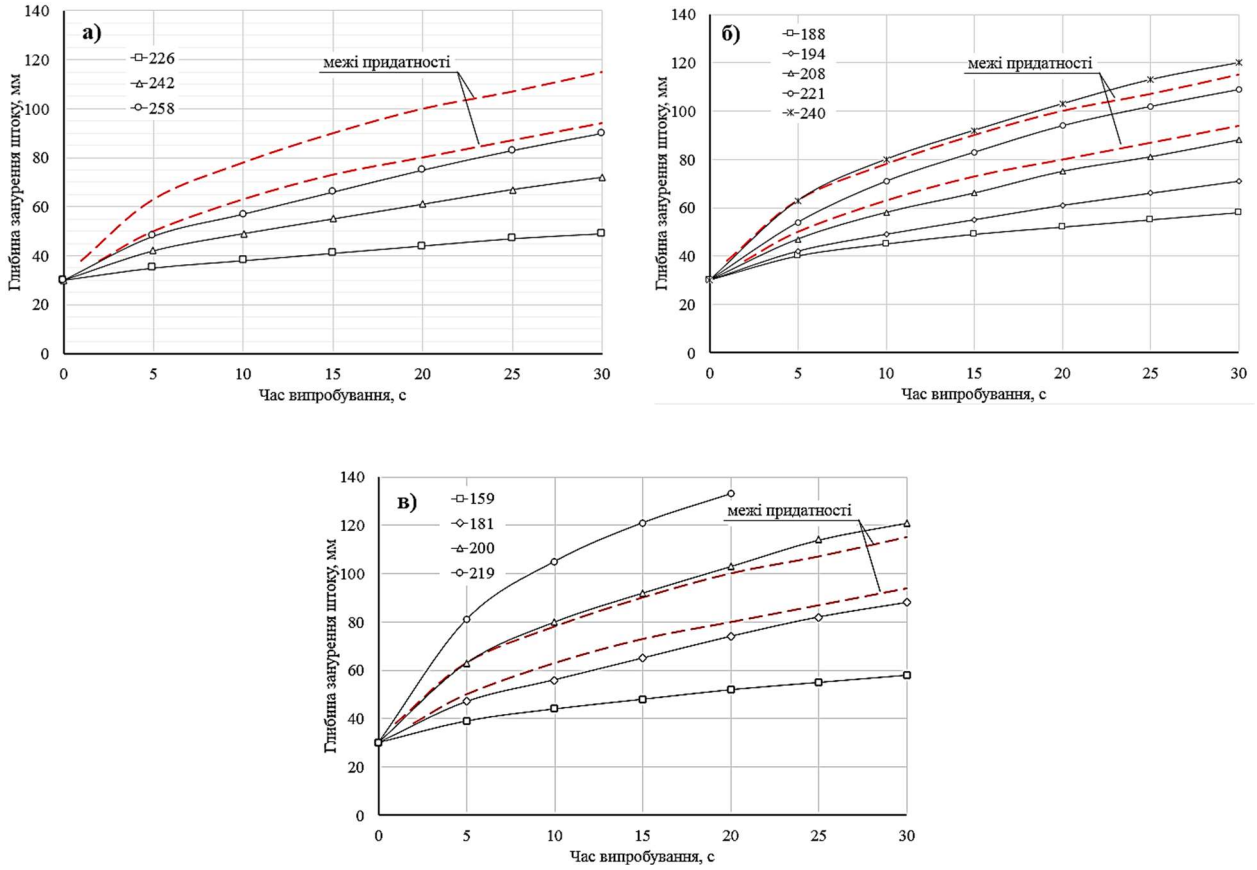


Рисунок 6 — Залежності глибини занурення штоку від часу випробування для литих асфальтобетонних сумішей ЛАБС-10 з різним вмістом бітуму: а – 9 %, б – 10 %, в – 11 %

Для литої асфальтобетонної суміші ЛАБС-10 з 9 % бітуму навіть при випробуванні за температури 258 °С не вдалось досягти нижньої нормованої межі придатності. Випробування за більш високої температури не виконувалось через значне зістарювання литої асфальтобетонної суміші та надто швидке її остигання під час випробування. Для литої асфальтобетонної суміші ЛАБС-10 з 10 % бітуму випробування здійснювалось як за температур, що перевищували 200 °С, так і за температурами, що були нижче. У той же час для асфальтобетонної суміші ЛАБС-10 з 11 % бітуму випробування здійснювалось за температур, що не перевищували 220 °С, оскільки вже при початковій температурі випробування в 200 °С часова залежність глибини занурення випробувального стрижня знаходилась на рівні верхньої нормованої межі.

Графічно визначені інтервали технологічних температур, що забезпечують задовільну пластичність (рухомість) литих асфальтобетонних сумішей складають:

— для суміші ЛАБС-10 з 9 % бітуму – 268 … 283 °С;
— для суміші ЛАБС-10 з 10 % бітуму – 214 … 233 °С;
— для суміші ЛАБС-10 з 11 % бітуму – 181 … 197 °С.

Таким чином різниця між температурами, що відповідають верхній та нижній нормованій межі задовільної пластичності литої асфальтобетонної суміші ЛАБС-10 не залежно від кількості бітуму в її складі, є майже однаковою та становить (15 – 19) °С.

Під час проєктування складу литої асфальтобетонної суміші необхідно приймати такі температурні режими, які забезпечать задовільну технологічну пластичність суміші та нормовану експлуатаційну пластичність литого асфальтобетону, що визначається за показником вдавлювання штампу за температури 40 ºС. На основі співставлення на одному графіку (**рис. 7**) температурних залежностей технологічної пластичності та значень глибини вдавлювання штампу встановлено, що для даного складу литої асфальтобетонної суміші буде оптимальною кількість бітуму 10 %, а температурний діапазон укладання литої суміші в покриття дорівнює (214 – 233) ºС. У випадку збільшення кількості бітуму в складі литої суміші до 11 % спостерігається невідповідність між температурними діапазонами технологічної (181 ºС … 197 ºС) та експлуатаційної (більше ніж 248 ºС) пластичності. При зниженні кількості бітуму в складі литої суміші до 9 % суттєво зростають температури, що відповідають технологічній пластичності суміші (до 270 ºС).

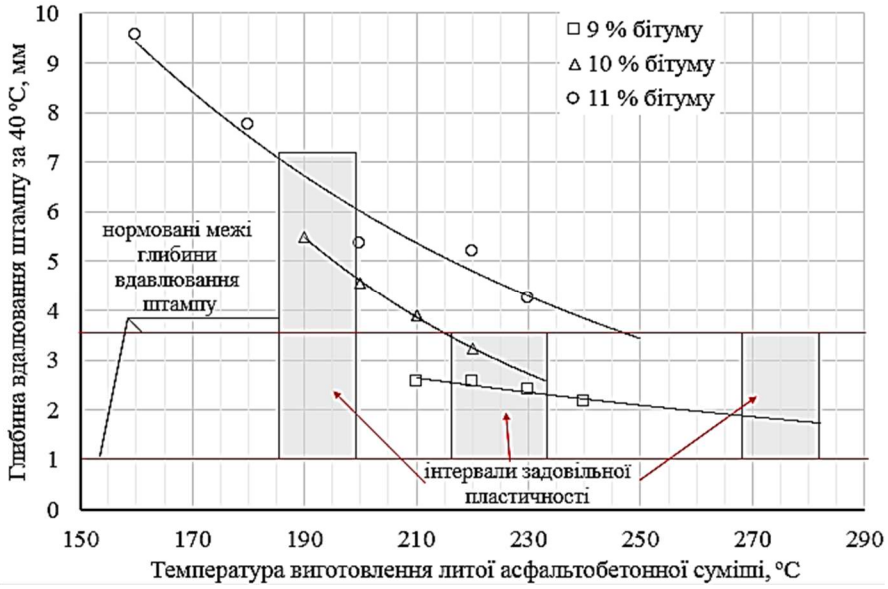


Рисунок 7 — Вибір оптимальної температури виготовлення литих асфальтобетонних сумішей за критеріями технологічної та експлуатаційної пластичності

Висновки

На основі експериментального перевіряння методу визначення пластичності (рухомості) литих асфальтобетонних сумішей, який базується на оцінювання пластичності за глибиною занурювання випробувального пристрою (плунжера, штока, молотка) у суміш, встановлено можливість і доцільність його використання для: проєктування складу литих сумішей; вибору оптимальної кількості бітуму та встановлення прийнятних технологічних температур приготування та укладання сумішей.

Розглянутий метод має суттєві переваги, основними з яких є: простота конструкції приладу; відносно малий час випробування; відносно малий обсяг литої суміші, потрібний для проведення випробування; інформативність методу, яка полягає в можливості отримання за одне випробування набору даних, що дозволяють оцінити пластичність суміші. До недоліків методу можна віднести: необхідність одночасного контролювання двох параметрів випробування; значне зниження температури литої асфальтобетонної суміші під час випробування, що може бути виправлено шляхом дообладнання металевої ємності, в якій знаходиться лита асфальтобетонна суміш, теплоізоляційним кожухом; залежність збіжності результатів випробування від гранулометричного складу литої

асфальтобетонної суміші та температури випробування. Конструкція методу та методологія випробування знаходяться на даний час на стадії доопрацювання.

Список літератури

1. Abraham H. Asphalts and allied substances: their occurrence, modes of produc-tion, uses in the arts and methods of testing. D. Van Nostrand Company, Incorporated. 1920. 1536 p.
2. Staritzky M. Gussasphalt. Berlin, 1934. 112 p.
3. Chen J.S. et al. Fundamental characterization of engineering properties of gussasphalt mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2011. T. 23. No. 12. P. 1719–1726.
4. Luo S. et al. Design of gussasphalt mixtures based on performance of gussasphalt binders, mastics and mixtures. *Construction and Building Materials*. 2017. T. 156. P. 131–141.
5. Jang Y.D., Park T.S., Lee J.S. A study on the performance improvement of gussasphalt mixture. *Journal of the Korean Asphalt Institute*. 2019. T. 9. No. 2. P. 176–193.
6. Muller M. Gussasphalt. Weiterbildung. 16.01.2021. 56 p.
7. Chen F., Jelagin D., Partl M. N. Experimental and numerical analysis of asphalt flow in a slump test. *Road Materials and Pavement Design*. 2019. T. 20. No. Sup 1. P. 446–461.
8. Ali A. et al. Workability evaluation of foamed warm-mix asphalt. *Journal of materials in civil engineering*. 2014. T. 26. No. 6. P. 1-6.
9. Gudimettla J.M., Cooley L.A., Brown E. Workability of hot mix asphalt. *Auburn University*. 2003. 66 p.
10. Bennert T. et al. Assessment of workability and compactability of warm-mix asphalt. *Transportation research record*. 2010. T. 2180. No. 1. P. 36–47.
11. TP 238 Předběžné technické podmínky, Nízkoteplotní asfaltové směsi (NTAS), Ministerstvo dopravy. Odbor pozemních komunikací. Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2011. 29 p.
12. ČSN 73 6160 Zkoušení asfaltových směsí. 2008. 24 p.
13. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробування. [Чинний від 2017-04-01]. К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. 75 с. (Інформація та документація).

Reserences

1. Abraham H. Asphalts and allied substances: their occurrence, modes of produc-tion, uses in the arts and methods of testing. D. Van Nostrand Company, Incorpo-rated. 1920. 1536 p. [in English].
2. Staritzky M. Gussasphalt. Berlin, 1934. 112 p. [in English].
3. Chen J.S. et al. Fundamental characterization of engineering properties of gussasphalt mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2011. T. 23. No. 12. P. 1719–1726 [in English].
4. Luo S. et al. Design of gussasphalt mixtures based on performance of gussasphalt binders, mastics and mixtures. *Construction and Building Materials*. 2017. T. 156. P. 131–141 [in English].
5. Jang Y. D., Park T. S., Lee J. S. A study on the performance improvement of gussasphalt mixture. *Journal of the Korean Asphalt Institute*. 2019. T. 9. No. 2. P. 176–193 [in English].
6. Muller M. Gussasphalt. Weiterbildung. 16.01.2021. 56 p. [in English].
7. Chen F., Jelagin D., Partl M. N. Experimental and numerical analysis of asphalt flow in a slump test. Road Materials and Pavement Design. 2019. T. 20. No. Sup 1. P. 446–461 [in English].
8. Ali A. et al. Workability evaluation of foamed warm-mix asphalt. Journal of materials in civil engineering. 2014. T. 26. No. 6. P. 1–6 [in English].
9. Gudimettla J.M., Cooley L.A., Brown E. Workability of hot mix asphalt. Auburn University. 2003. 66 p. [in English].
10. Bennert T. et al. Assessment of workability and compactability of warm-mix asphalt. Transportation research record. 2010. T. 2180. No. 1. P. 36–47 [in English].
11. TP 238 Předběžné technické podmínky, Nízkoteplotní asfaltové směsi (NTAS), Ministerstvo dopravy. Odbor pozemních komunikací. Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2011. 29 p. [in Czech].
12. ČSN 73 6160 Zkoušení asfaltových směsí. 2008. 24 p. [in Czech].

13. DSTU B V.2.7-319:2016 Sumishi asfaltobetonni i asfaltobeton dorozhnii ta aerodromnyi. Metody vyprobuvannia [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-319:2016) Asphaltic concrete mixtures, road and aerodromes asphaltic concrete. Test methods]. Kyiv, 2016. 75 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Yan Pyrig, *Ph.D., Sen. Research, https://orcid.org/0000-0003-0957-2251*
Serhii Oksak, *Ph.D., Associate Prof., https://orcid.org/0000-0002-3084-3469*
Iaroslav Iliyn, *Ph.D., https://orcid.org/0000-0003-2998-3955*
Serhii Misnichenko, *https://orcid.org/0009-0004-1697-9249*

Kharkiv National Automobile and Highway University (KNAHU), Kharkiv, Ukraine

REVIEW OF THE METHOD FOR DETERMINING THE FLUIDITY OF THE MASTIC MIXTURE BASED ON THE ESTABLISHED IMMERSION DEPTH OF THE TEST ROD

Abstract

Introduction. Mastic asphalt concrete is one of the oldest road construction materials used for road pavements.

Problem Statement. Mastic asphalt concrete is a type of hot asphalt concrete, a feature of which is an increased amount of mineral powder and bitumen binder, due to which mastic mixtures can be placed in the road surface without compaction. Therefore, one of the main technological indicators of the quality of mastic asphalt mixtures is their fluidity. This indicator is one of the most important for designing the composition of the mastic asphalt mix, establishing the optimal amount of bitumen binder and setting the technological temperatures for preparing the mix at the plant and placing it in the road surface. Despite this, this indicator is not currently defined or standardized in the domestic road industry.

The purpose. The aim of the study was to review the method for determining the plasticity of mastic asphalt mixtures based on the immersion depth of the test rod, as well as to establish the possibility and feasibility of its use for assessing the quality of mastic mixtures.

Materials and methods. The object of study is the method for determining the plasticity of mastic asphalt mixtures based on the immersion depth of the test rod, which is used in European countries to select the composition of mastic mixtures and establish the optimal temperature conditions for their manufacture and paving. The method of determining plasticity was tested on a mastic asphalt mixture LABS-10 made on BND 35/50 bitumen, the composition and properties of which meet the requirements of current national regulatory documents.

Results. The article presents the results of testing a method for determining the plasticity of a mastic asphalt mixture based on the immersion depth of the test rod. The advantages and disadvantages of this method and the device used to determine the plasticity of the mixture are identified, and further steps to improve it are outlined. On the basis of experimental verification of this method, its sensitivity to the composition of mastic asphalt mixtures and their production temperature was determined. It has been established that a comprehensive assessment of mastic asphalt mixtures in terms of technological and operational plasticity makes it possible to determine the optimal content of bituminous binder at the design stage of the mastic mixtures composition and to assign the most rational temperature regime for the preparation and placement of mixtures.

Conclusions. On the basis of experimental verification of the method for determining the plasticity (mobility) of mastic asphalt mixtures based on the assessment of plasticity by the depth of immersion of the test device (plunger, rod, hammer) in the mixture, the possibility and expediency of its use for: designing the composition of mastic mixtures; selecting the optimal amount of bitumen and establishing acceptable technological temperatures for the preparation and placement of mixtures were established.

Keywords: mastic asphalt mixture, fluidity of the mixture, method, temperature.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.214

УДК 625.7/.8

Терещенко Т. А., *канд. хім. наук, ст. наук. співр., https://orcid.org/0000-0001-5206-9921*

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

ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕМПЕРАТУР ЗА ТОВЩИНОЮ ШАРІВ АСФАЛЬТОБЕТОНУ І МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ЗАЛЕЖНИХ ПАРАМЕТРІВ У ЦІЛЯХ ПРОЄКТУВАННЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Анотація

Вступ. У статті розглянуто аспекти аналізування результатів випробування нежорсткого дорожнього одягу навантаженням, пов'язані з температурно-залежними характеристиками асфальтобетону.

Проблематика. Проблематика статті стосується питань прогнозування температури за товщиною шару асфальтобетону згідно з математичною моделлю *BELLS*, а також питань приведення параметрів оцінювання і проєктування нежорсткого дорожнього одягу до референтних значень температури.

Мета. Метою статті є аналізування основних положень моделі *BELLS* і моделювання основних температурно-залежних параметрів, що ураховуються під час проєктування нежорсткого дорожнього одягу та ґрунтуються на результатах визначання міцності конструкції і вимірювання чаші прогину за результатами випробування обладнанням *FWD* (прогиномір з падаючим вантажем).

Результати. Розглянуто вплив температур на деформаційні властивості матеріалів нежорсткого дорожнього одягу з виокремленням критичних характеристик — модуля пружності конструкції із шаром покриву з асфальтобетону і параметрів форми чаші прогину, які визначають за результатами випробування дорожніх одягів навантаженням.

Виконано аналіз основних положень моделі прогнозування температур за товщиною шару асфальтобетону та розглянуто етапи розвитку моделі зі стандартизованим алгоритмом розрахунків відповідно до рівняння *BELLS*, який передбачає дві зміщені *sin*-функції в цілях урахування різної тривалості стадій нагрівання і охолоджування шару асфальтобетону в конструкції впродовж повної доби.

У рамках механістично-емпіричної методології проєктування дорожнього одягу стисло проаналізовано моделювання температурно-залежних параметрів — модуля пружності конструкції із шаром покриву з асфальтобетону і параметрів форми чаші прогину, а також прогину в точці прикладання навантаги. Розглянуто приклади виділення критичних параметрів розрахунку відповідно до характеристик конструкції — товщини шару асфальтобетону, міцності ґрунтової основи і розташування об'єкта. Окрему увагу приділено питанням верифікації моделі *BELLS* на об'єктах з різними кліматичними умовами.

Висновки. У сучасній практиці дорожнього будівництва випробування дорожнього одягу навантаженням є невід'ємною складовою оцінювання і проєктування нежорстких дорожніх одягів і поряд із цим потребує точних даних щодо температури у шарі асфальтобетону відповідно до умов випробування. Процедура випробування на прогин із застосуванням обладнання *FWD* ставить питання ефективності вимірювання температури у шарі асфальтобетону з наданням переваги прогнозуванню такої температури. Ефективним є прогнозування температури із застосуванням моделі, що ґрунтується на вісімнадцятигодинному циклі зростання та зниження температури асфальтобетону в конструкції впродовж повної доби, як це стандартизовано *ASTM*.

Перспективним напрямком впровадження такої стандартної моделі та відповідних алгоритмів оцінювання і проєктування дорожнього одягу в Україні є виконання науково-технічного супроводу з подальшою верифікацією та, очікувано, розширенням сфери застосування.

Ключові слова: асфальтобетон, випробування, модель *BELLS*, навантаження, нежорсткий дорожній одяг, прогин, прогнозування, температура, чаша прогину.

Вступ

Прогнозування температури за товщиною шару асфальтобетону є важливою складовою проєктування нежорсткого дорожнього одягу. Приведення певних параметрів до референтних (або потрібних) значень температури асфальтобетону з урахуванням температури на момент випробування дорожнього одягу навантаженням з вимірюванням прогинів є стандартною процедурою та може застосовуватися, наприклад, у загальновідомій механістично-емпіричній системі проєктування [1 – 3].

Поширений у світовій практиці дорожнього будівництва метод типових випробувань дорожніх одягів навантаженням із застосуванням обладнання *FWD* (*Falling Weight Deflectometer*, прогиномір з падаючим вантажем) та аналізування результатів таких випробувань у цілях оцінювання і проєктування потребують безпосереднього вимірювання температури у шарі асфальтобетону або прогнозування її за товщиною шару (шарів) асфальтобетону відповідно до умов випробування із застосуванням математичних моделей.

Вимірювання фактичних значень температури асфальтобетону на встановленій глибині під час загального обстеження мережі доріг чи на рівні окремого проєкту негативно впливає на ефективність робіт і, за певних обставин, може бути нездійсненним. Процедура висвердлювання в асфальтобетоні отворів для приладу вимірювання температури із заповненням мінеральним маслом та забезпеченням температурного балансу перед вимірюванням є тривалою. Поряд із цим, вимірювання значень температури асфальтобетону на глибині, установленій протоколом випробувань, може призвести до внесення похибок внаслідок нерівномірної товщини шару. Чинником похибок також є визначення температури асфальтобетону шляхом інтерполяції між двома точками вимірювань. Не завжди ефективним є й застосування системи реєстрації та збирання даних з установленням датчиків температури в дорожньому одязі. На відміну від перелічених обмежень процедур вимірювання температури прогнозування температури за товщиною шару асфальтобетону згідно із сучасними стандартними методами надає можливість виводити потрібні дані для будь-яких точок та широкого діапазону умов випробування [3, 4]. До таких методів потрібно віднести метод згідно зі стандартом [5].[1]

З урахуванням викладеного вище в статті розглянуто теоретичні засади зі стислим історичним дискурсом розвитку методу прогнозування температури за товщиною шару асфальтобетону і — у рамках механістично-емпіричної системи проєктування, складовою якої є модель, аналогічна [5] — проаналізовано алгоритми моделювання температурно-залежних параметрів: модуля пружності конструкції із шаром покриву з асфальтобетону і прогину / параметрів форми чаші прогину в цілях оцінювання і проєктування нежорсткого дорожнього одягу.

Вплив температури на деформаційні характеристики матеріалів нежорсткого дорожнього одягу

Основні результати досліджень із зазначеного напрямку представлено в першоджерелах [1, 2] відповідно до Програми сезонного моніторингу (*SMP*, *Seasonal Monitoring Program*) у рамках Довгострокової програми функціонування дорожнього одягу (*LTPP*, *Long-Term Pavement Performance*); дані були отримані в процесі випробувань секцій нежорсткого дорожнього одягу на

[1] Доцільно зазначити, що першоджерело [1] у редакції від 2002 року внесено до переліку нормативних посилань цього стандарту ASTM.

територіях США та Канади впродовж двох років із застосуванням обладнання *FWD*. Ділянки випробувань суттєво варіювалися за умовами роботи дорожнього одягу, за товщиною шару асфальтобетону (від 46 мм до 305 мм) і дисперсного шару основи[2]. Характеристики бітумного в'яжучого, характеристики та склад асфальтобетону в рамках *LTPP's SMP* не досліджувалися.

Визначальною в проєктуванні нежорсткого дорожнього одягу характеристикою асфальтобетону, або, за визначенням авторів [1], суміші бітумного в'яжучого та щебеневих (гравійних) матеріалів, є міцність, критерієм якої є значення модуля. У цілому деформаційні характеристики асфальтобетону залежать від його здатності до пружного, або відновлюваного, деформування та пластичності, а також від зміщення в часі прикладання навантаги і розвитку відповідних деформацій.

Асфальтобетон, на відміну від дисперсних матеріалів неукріпленого шару основи / додаткової основи, є чутливим до температур. Найбільш наочно це відображається зміною форми чаші прогину зі зміною температур[3]. Автори [1] пропонують ілюстративний матеріал (**рис. 1** та **рис. 2**), який підтверджує критичний вплив температури на прогини нежорсткого дорожнього одягу із шарами асфальтобетону за результатами випробування обладнанням *FWD*.

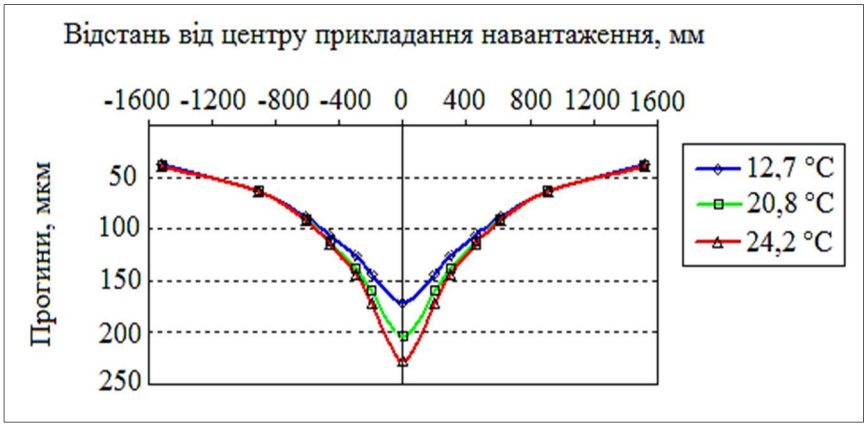


Рисунок 1 — Залежність прогину нежорсткого дорожнього одягу із шарами асфальтобетону від температури для однієї локації випробувань, визначена впродовж одного дня, згідно з [1]

Зображена на **рис. 1** схематична чаша прогину має декілька профілів, отриманих в одній точці протягом одного й того ж самого дня за різних температур. Вплив температури на прогини спостерігається тільки до певної відстані від центра прикладання навантаження, що пояснюється залежністю характеристик асфальтобетону від температури та відсутністю такої залежності для дисперсних матеріалів основи. Як стверджують автори [1], спостережений ефект не може бути віднесений на рахунок різної швидкості зміни температури у різних шарах конструкції дорожнього одягу.

[2] Нормалізацію виконували відносно навантаження 40 кН (~ 9 *kip*). Було охоплено об'єкти, географічна та кліматична локація яких обумовила стан обстежуваних конструкцій дорожнього одягу впродовж періоду моніторингу від «сухого, без змерзання» до «замерзлого у вологому стані». Ураховуючи дані [2] стосовно репрезентативних ділянок, об'єкти розташовано на західній довготі за північної широти від 26°98' до 51°89'; з більш детальною інформацією можна ознайомитися в першоджерелі.

[3] Згідно з [6] термін «чаша прогину» описано таким чином: навантажування поверхні імпульсом сили, створеним обладнанням *FWD*, спричиняє миттєвий прогин дорожнього одягу чашоподібної форми під навантажувальною плитою, який характеризується певними параметрами.

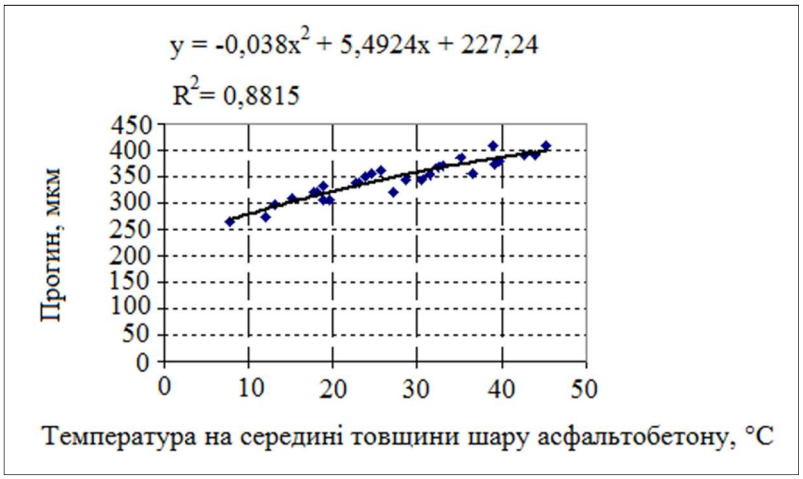


Рисунок 2 — Залежність прогину нежорсткого дорожнього одягу із шарами асфальтобетону від температури для постійної локації випробувань, визначена впродовж року, згідно з [1]

На **рис. 2** наведено залежність прогинів від температури на середині глибини в шарі асфальтобетону для однієї точки випробування, впродовж одного року моніторингу. У даному випадку на залежність прогинів від температури поряд із чинниками випадкових похибок впливають сезонні чинники, що певною мірою визначає величину середньоквадратичного відхилу (**рис. 2**).

Масив даних *LTPP's SMP* дозволив вивести ефективну емпіричну модель регресійного аналізу *BELLS* — прогнозування температури за товщиною шару асфальтобетону залежно від температури поверхні шару, середньої температури повітря за попередню (перед виконанням випробування на прогин) добу в градусах Цельсія, часу виконання випробування та глибини в шарі асфальтобетону, для якої потрібно виконати прогнозування температури.

Розвиток моделей прогнозування температури за товщиною шару асфальтобетону
Особливості прогнозування температури згідно з моделлю *BELLS*

Раніше запроваджена модель прогнозування температури за товщиною шару асфальтобетону в цілях проєктування нежорсткого дорожнього одягу згідно з *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures* (1993 р.) спиралася на дані стосовно температури повітря за п'ять попередніх (перед випробуванням на прогин) діб [3]. Проте ця модель була визнана незручною у використанні, оскільки на практиці впродовж п'яти діб переважно спостерігаються суттєві коливання температурних і погодних умов. У 1995 році на обговорення були винесені інші моделі прогнозування температури за товщиною шару асфальтобетону, зокрема такі, що ураховують середню температуру повітря за одну попередню добу, а також наявність різних градієнтів температур циклів нагрівання та охолоджування. Потрібно додати, що розглядалося й прогнозування ефективної температури на третині товщини шару асфальтобетону (на відміну від прийнятої в *LTPP* ефективної температури на половині товщини шару) — як таке, що забезпечує меншу розбіжність обчислюваних параметрів за умов нагрівання та охолоджування шару, оскільки на цій глибині швидкість нагрівання та охолодження асфальтобетону було знайдено однаковою, проте за результатами верифікації таку модель прийнято не було [3].

У подальшому були виведені рівняння регресії з поєднанням алгоритмів розрахунку температури для різних глибин — рівняння *BELLS* (акронім, складений з перших букв прізвищ розробників), адаптовані для вимірювань за протоколом *LTPP* (*BELLS*2) та для типових випробувань (*BELLS*3) зі стандартизацією другого методу в [5]. Потрібно зазначити, що згідно з [5] виконують прогнозування температури на глибині в шарі асфальтобетону від 25 мм до 150 мм; для глибини

понад 150 мм може бути виконано екстраполяцію, проте стандартну модель для глибини понад 150 мм не калібровано — методи екстраполяції можуть бути застосовними в науково-дослідних цілях.

У зв'язку з тим, що добові коливання температури шару асфальтобетону не можуть бути представлені симетричним синусоїдальним коливанням — період нагрівання є коротшим, охолодження — довшим, у моделі *BELLS*, з метою наближення форм хвиль температурних коливань протягом доби було запропоновано представлення у вигляді двох *sin*-функцій, що відповідають вісімнадцятигодинному циклу коливань температури, як наведено на **рис. 3**; один такий цикл дорівнює 2π рад.

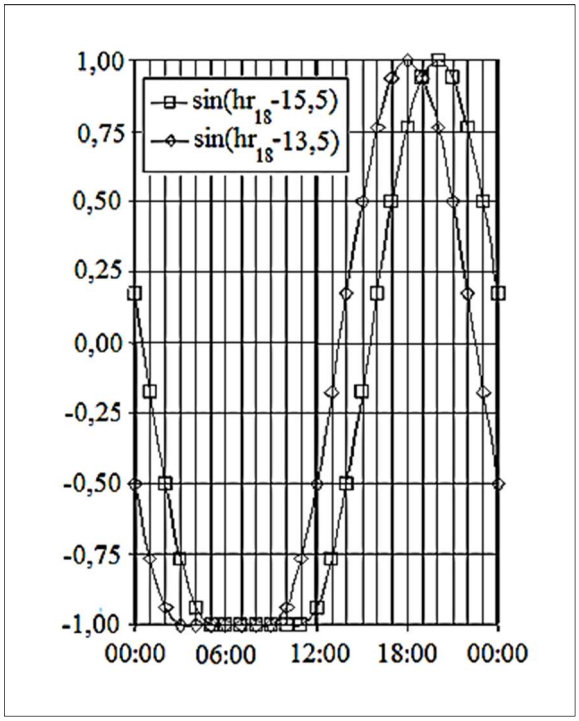


Рисунок 3 — Вісімнадцятигодинна *sin*-функція, застосована в рівняннях *BELLS*

Модель *BELLS* оперує основними параметрами згідно із загальним рівнянням (1):

$$T_d = \beta_0 + \beta_1 IR + \left[\log(d) - 1{,}25\right]\left[\beta_2 IR + \beta_3 T_{(1-day)} + \beta_4 \sin(hr_{18} - 15{,}5)\right] + \beta_5 IR \sin(hr_{18} - 13{,}5), \quad (1)$$

де T_d — температура асфальтобетону на глибині d, °C;

IR — температура на поверхні шару асфальтобетону, виміряна з застосуванням інфрачервоних датчиків, °C;

d — глибина (відстань під поверхнею шару асфальтобетону) для прогнозування температури, мм;

$T_{(1\text{-}day)}$ — середнє найбільшої та найменшої температур повітря за попередню добу, °C;

hr_{18} — час доби в 24-годинній системі, обчислений із застосуванням 18-годинного циклу зростання та зниження температури шару асфальтобетону;

log — десятковий логарифм.

Для виконання розрахунків значення часу вводять у десятковому численні.

Значення коефіцієнтів β_i для методів *BELLS*2 та *BELLS*3 згідно з [2, 4, 5] наведено в **табл. 1**.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів рівняння BELLS для різних протоколів

Коефіцієнт	*BELLS*2	*BELLS*3
β	+ 2,780	+ 0,950
β_1	+ 0,912	+ 0,892
β_2	– 0,428	– 0,448
β_3	+ 0,553	+ 0,621
β_4	+ 2,630	+ 1,830
β_5	+ 0,027	+ 0,042

Згідно з даними [2] за результатами 10 304 вимірювань установлено значення стандартної похибки та середньоквадратичного відхилу відповідно 1,8 °С і 0,977 для *BELLS*2 й 1,9 °С та 0,975 — для *BELLS*3.

Згідно з протоколом *LTPP*, де застосовують рівняння *BELLS*2, алгоритм прикладання навантаги забезпечує загальну тривалість роботи обладнання *FWD* в кожній точці випробування від 5 хв до 6 хв [1]; аналогічною є тривалість затінення дорожнього одягу в точці випробовування. Згідно з типовим випробуванням, коли застосовують рівняння *BELLS*3, у кожній точці виконують переважно чотири скидання падаючого вантажу, що триває орієнтовно 30 с та забезпечує короткочасне затінення. Таким чином різні значення коефіцієнтів *BELLS*2 та *BELLS*3 відповідають різним умовам виконання випробувань.

Застосування вісімнадцятигодинної функції часу в двадцятичотирьохгодинній системі передбачає введення плоского (такого, де *sin* = – 1) сегмента для періоду, коли температура асфальтобетону приймається сталою; для функції часу (hr_{18} – 15,5) плоский сегмент характеризує період від 05:00 год до 11:00 год, для функції (hr_{18} – 13,5) — період від 03:00 год до 09:00 год (**рис. 3**). Відповідно, у разі застосування *sin* (hr_{18} – 15,5) десяткової функції приймають лише години від 11:00 год до 05:00 год. Якщо фактичний час не охоплено цим інтервалом, тоді обчислюють *sin* за умови, що час становить 11:00 год (коли *sin* = – 1). У разі застосування *sin* (hr_{18}-13,5) десяткової функції приймають лише години від 09:00 год до 03:00 год. Якщо фактичний час не охоплено цим інтервалом, обчислюють *sin* за умови, що час становить 09:00 год (коли *sin* = – 1).

У разі, коли випробування дорожнього одягу на прогин припадають на проміжок часу між опівночі та 05:00 год для випадку *sin* (hr_{18} – 15,5) та між опівночі й 03:00 год — для випадку *sin* (hr_{18} – 13,5), до фактичного часу в його десятковому численні додають 24 перед виконанням подальших розрахунків.

За результатами застосування моделі *BELLS* авторами [1, 2] були виведені й прийняті в проєктуванні й оцінюванні дорожнього одягу емпіричні залежності для приведення модулів пружності конструкції із шаром покриву з асфльтобетону і прогинів / параметрів форми чаші прогину до потрібних значень температури.

Моделювання температурно-залежних параметрів у цілях проєктування й оцінювання нежорсткого дорожнього одягу

Оскільки прогнозування температури за товщиною шару асфальтобетону з застосуванням моделі *BELLS* є складовою механістично-емпіричної системи проєктування дорожнього одягу, доцільно стисло розглянути моделювання температурно-залежних параметрів, визначальних для розрахунків. Як зазначено у [1], після обчислення температур на потрібній глибині в шарі асфальтобетону можуть бути розраховані значення прогинів, модулів пружності конструкції із

шаром покриву з асфальтобетону[4] (далі — МПКА) та параметри форми чаші прогину за потрібних значень температури.

Моделювання модулів асфальтобетону

Розглянемо окремі результати, отримані авторами [2] у процесі реалізації різних програм зворотного розрахунку (методи ітерації, пошуку в базі даних та перетворення Бусинеска-Одемарка), які дозволили вивести регресійну залежність *ATAF* (*Asphalt Temperature Adjustment Factor*) — поправного коефіцієнта температури асфальтобетону для значень МПКА.

Спочатку розглянемо оцінювання потрібних МПКА нежорсткого дорожнього одягу на основі залежності (2):

$$\log(E_{ac}) = A + B \cdot T, \tag{2}$$

де E_{ac} — модуль пружності конструкції із шаром покриву з асфальтобетону;
T — температура на середині глибини в шарі асфальтобетону;
A та B — сталі рівняння.

Авторами було виведено залежність значень сталих A і B від географічної широти, як наведено на **рис. 4** і **рис. 5**; автори підкреслюють, що внаслідок впливу низки чинників ці залежності можуть бути прийняті лише для приблизного — грубого оцінювання МПКА.

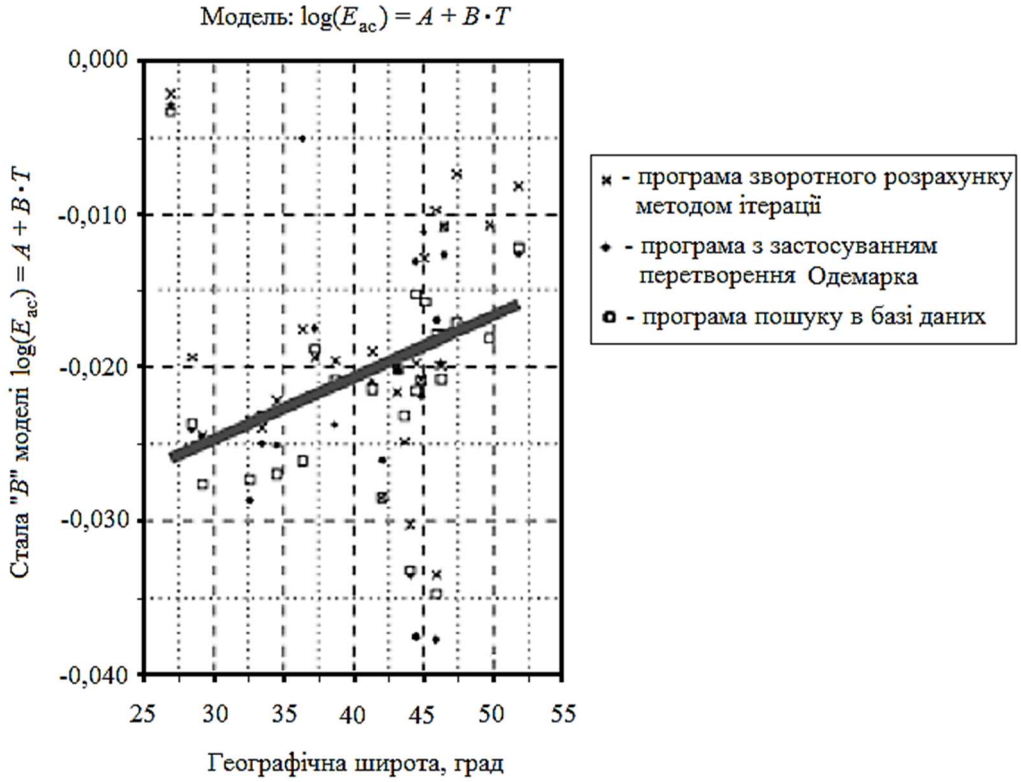


Рисунок 4 — Стала "*B*" залежності (2) відповідно до географічної широти (спостереження на об'єктах США та Канади)

[4] Стосується МПКА, отриманих зворотним розрахунком. З більш детальною інформацією стосовно виконання зворотних розрахунків у цілях оцінювання і проєктування дорожнього одягу можна ознайомитися в [7]. Станом на час роботи над рукописом статті колектив ДП «НІРІ» займається розробленням національного стандарту України, ідентичного [7] – очікувано в цілях науково-технічного супроводу.

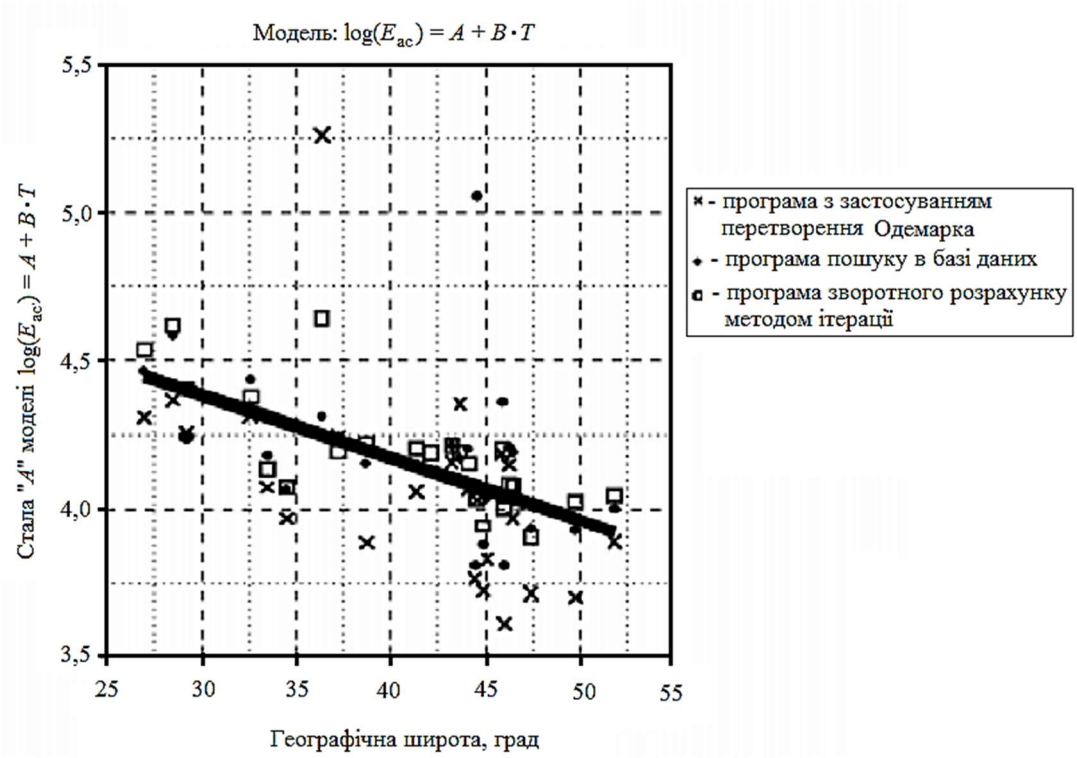


Рисунок 5 — Стала "*A*" залежності (2) відповідно до географічної широти

Як видно з **рис. 4**, представлення значень МПКА у формі десяткового логарифма приводить до від'ємних значень сталої "*B*", оскільки з підвищенням температури значення МПКА зменшуються. Потрібно додати, що графічні залежності, наведені на **рис. 4** і **рис. 5**, виведено на підставі розрахунків за практично всіма точками спостережень *LTPP's SMP*, тоді як значення розрахункових параметрів, отримуваних впродовж періоду спостережень на одній локації, характеризуються більшими коефіцієнтами кореляції та меншою стандартною похибкою.

Для обчислення *ATAF*, відповідно до подання значень МПКА у формі десяткових логарифмів, було запропоновано рівняння (3) [2]:

$$ATAF = 10^{slope \cdot (Tr - Tm)}, \quad (3)$$

де *B* (*slope)* — стала рівняння залежності десяткового логарифма МПКА від температури;
T_r — референтне значення температури асфальтобетону;
T_m — значення температури на середині глибині в шарі асфальтобетону на момент випробовування.

Значення сталої "*B*" приймали як типові для об'єктів спостереження, отримані за результатами випробувань — так, згідно з [2] приймали значення від «мінус 0,0195» до «мінус 0,021». Автори вказують, що отримані значення різняться для точок вимірювання, розташованих на смузі кочення коліс та на середині смуги руху (доцільно зазначити, що таким чином може проявлятися вплив загальної тривалості затінення асфальтобетону, оскільки на смузі кочення коліс значення "*B*" можемо розглядати як такі, що зміщені в напрямку більш високих широт відповідної осі). Для розрахунків згідно з [1] за відсутності інших даних рекомендовано приймати $B = -0{,}021$.

Температурно-залежне моделювання параметрів форми чаші прогину

Як було зазначено вище, МПКА є критично чутливим до температури матеріалу. Оскільки в разі навантажування нежорсткого дорожнього одягу з шарами асфальтобетону форма чаша прогину значною мірою визначається міцнісними характеристиками, зокрема МПКА, використання

параметрів форми чаші прогину в оцінюванні дорожнього одягу потребує обов'язкового коригування таких параметрів відносно температури.

Положення, розглянуті далі в цьому розділі статті, були опрацьовані авторами [2] для семисенсорної конфігурації системи датчиків прогину; автори виконували температурно-залежне моделювання таких параметрів форми чаші прогину *BSF* (*Basin Shape Factor*): *AREA*, *F-1*, *Deflection delta*, *Deflection ratio*. Привернемо увагу — окремі параметри, прийняті як критичні для певних конструкцій дорожнього одягу (товщина шару асфальтобетону, міцність ґрунтової основи, географічне розташування об'єкта).

Параметр *AREA* характеризує безрозмірну площу чаші прогину, отриману шляхом нормалізації виміряних прогинів відносно прогину в центрі. Із загальним рівнянням для розрахунків *AREA* — для будь-якої кількості датчиків прогину, більшої ніж 2 — можна ознайомитися у [7]. Параметр *AREA* є найбільш широко застосовуваним у практиці дорожнього будівництва у цілях оцінювання конструкції дорожнього одягу за результатами випробувань на прогин[5].

Параметр форми *F-1* дозволяє обчислювати, у безрозмірному поданні, кривизну в межах чаші прогину; такий розрахунок виконують діленням різниці прогинів на датчиках *defl*0 та *defl*24 на прогин *defl*12, де число зазначає регламентовану відстань певного датчика від центра прикладання навантаги, виражену в дюймах.

Параметри *delta* та *ratio* характеризують відповідно різницю та відношення прогинів в центрі прикладання навантаги й на регламентованій (відповідно до розташування регламентованої кількості датчиків прогину) відстані від центра прикладання навантаги. Ці параметри позначають як *delta*i та *ratio*i, де «i» — відстань певного *i*-го датчика від центра прикладання навантаги, виражена в дюймах. Згідно з [1] параметр *delta*12 є еквівалентом кривизни поверхні.

Авторами [1, 2] було виведено математичні моделі, що описують залежність чотирнадцяти параметрів форми чаші прогину від температури на середині глибини в шарі та власне товщини шару асфальтобетону, прогину *defl*36 і географічної широти θ. З чотирнадцяти параметрів форми чаші прогину зворотна залежність від температури асфальтобетону виведена лише для *AREA* [1]. Стосовно *defl*36 потрібно додати, що всі параметри форми чаші прогину є прямо чи опосередковано залежними від відношення міцності (жорсткості) дорожнього одягу до міцності (жорсткості) ґрунтової основи, що в розглянутому авторами [2] прикладі розрахунку параметрів конструкції характеризується величиною *defl*36.

Значення поправних коефіцієнтів *BAF* (*Basin Adjustment Factor*) для кожного з параметрів форми чаші прогину обчислюють шляхом приведення значення параметра за референтної температури до його значення за температури на момент вимірювання; згідно з [1] рекомендовано складати таблиці *BAF* для параметрів *AREA* та *F*–1.

Температурно-залежне моделювання прогину в центрі прикладання навантаги

Окрему увагу приділено виведенню залежності прогину в центрі прикладення навантаги *defl*0 від температури на середині глибини в шарі асфальтобетону. Для виведення математичної моделі температурно-залежного поправного коефіцієнта (*TAF* (*Temperature Adjustment Factor*)) для *defl*0 на аналізованому об'єкті було використано значення *delta*36 і виведено рівняння (4):

$$TAF = \frac{defl36 + delta36_{Tr}}{defl36 + delta36_{Tm}}, \tag{4}$$

де $delta36_{Tr}$ — значення параметра *delta*36 за референтної температури;
$delta36_{Tm}$ — значення параметра *delta*36 за температури на момент вимірювання.

На **рис. 6** зображено відповідно отриману коригувальну залежність для шару асфальтобетону за референтної температури 21 °C згідно з [1].

[5] З доступними широкому колу читачів першоджерелами з даного напрямку можна ознайомитися у [8].

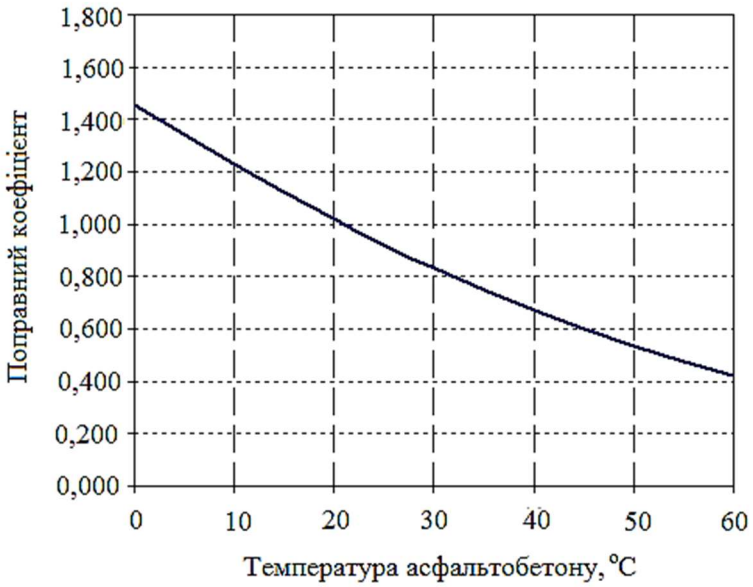


Рисунок 6 — Поправний коефіцієнт за товщини шару асфальтобетону 200 мм і значень *defl*36 = 45 мкм та географічної широти 40°

Автори [1] вказують, що, не зважаючи на існування загальної залежності прогину в центрі прикладання навантаги від температури, на цю залежність впливають також товщина шару та міцність асфальтобетону і, меншою мірою, міцність основи й ґрунтової основи[6], внаслідок чого виведення зазначеної загальної залежності є ускладненим.

Доцільно також додати, що автори [2] вказують на ефективність застосування параметра *delta*i для коригування прогинів і рекомендують приймати параметр *delta*24 за товщини асфальтобетону до 100 мм включно, *delta*36 — за значень товщини асфальтобетону понад 100 мм до 200 мм включно, та *delta*60 — за таких значень понад 200 мм.

Виконаний вище аналіз результатів досліджень підтверджує високу ефективність запропонованого підходу до прогнозування температури за товщиною шару асфальтобетону і моделювання температурно-залежних параметрів у процесі проєктування й оцінювання нежорсткого дорожнього одягу, і поряд із цим ставить важливі питання адаптації відповідних алгоритмів аналізування в України.

Окремі питання верифікації моделі *BELLS*

У першоджерелах [3, 4, 9, 10] дискутується питання ефективності моделі *BELLS* за високих, 40 °С та вище, температур асфальтобетону. Автори [3] вказують на невідповідність у вигляді занижених прогнозованих значень температури відносно фактичних у разі досягнення температури асфальтобетону 32 °С та вище — було надано припущення, що чинником такої невідповідності є географічне розташування об’єктів основоположних досліджень.

Дослідження [9, 10], автори яких стверджують «недооцінювання» прогнозних значень температури за досягнення температур асфальтобетону 40 °С та вище, виконували для об’єктів на низьких широтах, проте виникають питання стосовно розбіжності умов випробувань (у окремих випадках — невідповідності умов впровадженим стандартним положенням) та можливого впливу таких чинників на надані авторами [9, 10] висновки.

Автори роботи [4] приводять результати досліджень колег з південних штатів США (відповідно до границь штату — об’єкти на північній широті між 26° та 36°), згідно з якими рівняння

[6] У цій статті переклад «міцність» застосовано для англомовного відповідника «*stiffness*».

BELLS2 потребувало коригування коефіцієнтів для забезпечення належних значень середньоквадратичного відхилу: так, до виконання калібрування це рівняння приводило до результатів зі значенням R^2 = 0,878, після калібрування з коригуванням коефіцієнтів β_i було забезпечено R^2 = 0,92.

Власні дослідження авторів [4] для об'єктів на території США (відповідно до границь штату — на північній широті між 42° та 49°) також показали необхідність калібрування рівняння *BELLS2* для забезпечення належного значення середньоквадратичного відхилу, яке становило, до та після калібрування, 0,886 та 0,913 відповідно.

У **табл. 2** наведено значення коефіцієнтів β_i для *BELLS*2 на підставі даних [4].

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів BELLS2 з коригуванням на різних об'єктах

Коефіцієнт	Вихідна модель	Модель, коригована для об'єктів на північній широті між 26° та 36°	Модель, коригована для об'єктів на північній широті між 42° та 49°
β	+ 2,780	+ 1,472	+ 1,5008
β_1	+ 0,912	+ 1,079	+ 1,2919
β_2	– 0,428	– 0,924	– 0,8750
β_3	+ 0,553	+ 0,979	+ 0,5300
β_4	+ 2,630	– (оцінено як незначущий)	+ 1,4128
β_5	+ 0,027	+ 0,065	+ 0,0447

Автори [4] розглядають результати власних випробувань як доповнення до результатів *LTPP's SMP* (*LTPP's SMP* охоплює 10 304 вимірювань, дослідження [4] — 596 вимірювань), та запропоновану ними модель *BELLS2* — як калібровану.

Стосовно *BELLS3* зі значеннями β_i відповідно до [5] було отримано результати з R^2 = 0,834, що є значно нижче за встановлене в стандарті [5] значення R^2 = 0,975, проте калібрування *BELLS3* у дослідженні [4] не виконували — автори зазначають, що калібрування *BELLS3* приведе, з точки зору кореляційних параметрів, до отримання результатів, ідентичних калібруванню *BELLS2*.

Потрібно додати, що вплив значень, отримуваних обчислюванням відповідно до рівнянь *BELLS* до та після калібрування, на результати стандартизованих проєктних розрахунків дорожнього одягу авторами розглянутих робіт не засвідчено.

Висновки

У сучасній світовій практиці дорожнього будівництва випробування дорожніх одягів навантаженням з вимірюванням прогинів із застосуванням обладнання *FWD* є невід'ємною складовою обстеження стану мережі автомобільних доріг, а також окремих ділянок — з метою визначення та локалізації дефектів конструкції дорожнього одягу та / або ґрунтової основи.

Виконання таких випробувань і застосування результатів у цілях оцінювання й проєктування нежорсткого дорожнього одягу потребує приведення значень прогинів і модулів пружності конструкції із шаром покриву з асфальтобетону, отримуваних зворотним розрахунком, до референтних або потрібних значень температури, що, у свою чергу, потребує вимірювання або прогнозування температури за товщиною шару асфальтобетону за умов випробування.

Вимірювання температури у шарі асфальтобетону під час виконання *FWD*-випробувань накладає ряд процедурних обмежень і у певних випадках, може бути нездійсненним. Альтернативою визначанню фактичних значень є прогнозування температури за товщиною шару асфальтобетону.

Ефективним є прогнозування температури за товщиною шару асфальтобетону відповідно до моделі *BELLS*, яка ґрунтується на вісімнадцятигодинному циклі зростання і зниження температур асфальтобетону в конструкції впродовж повної доби і є стандартизованою в системі стандартів *ASTM*. Зазначений алгоритм прогнозування температур є, зокрема, складовою широко застосовуваної механістично-емпіричної системи проєктування дорожнього одягу.

Впровадження в Україні стандартних методів випробувань дорожніх одягів навантаженням (та, відповідно, стандартних методів, які підтримують розрахунки) є безальтернативним. Ураховуючи практику та стандарти в національній галузі дорожнього будівництва, окремою метою верифікації моделі *BELLS* може бути підтвердження її придатності для бітумів різного походження — характеристики бітумного в'яжучого та власне асфальтобетонів у рамках основоположних робіт [1, 2] не досліджувалися.

Як ефективний напрямок застосування стандартів, гармонізованих із міжнародними стандартами *ASTM* щодо випробувань дорожніх одягів навантаженням, потрібно розглядати вирішення питань науково-технічного супроводу об'єктів будівництва транспортної інфраструктури.

Список літератури

1. LTPP Guide to Asphalt Temperature Prediction and Correction (A HTML document). Federal Highway Administration, Office of Research, Development, and Technology, Office of Infrastructure. 2016 (as last modified one). 9 p. URL: https://www.fhwa.dot.gov/publications/lists/technical/infrastructure/pavements/ltpp/ (дата звернення 19.03.2024) .

2. Lukanen, E.O., Stubstad, R., and Briggs, R. Temperature predictions and adjustment factors for asphalt pavements. Research Report FHWA-RD-98-085, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Research and Development Turner-Fairbank Highway Research Center 6300 Georgetown Pike McLean, VA 22101-2296. 2000. 79 p. URL: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/15368 (дата звернення 19.03.2024).

3. Inge, E.H., and Kim, Y.R. Prediction of effective asphalt layer temperature. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*, Washington DC, USA, Vol. 1473. 1995. P. 93–100. URL: https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1995/1473/1473-011.pdf (дата звернення 13.03.2024).

4. Kassem, E., Bayomy, F.M.S., Williams, C., Saasita, E., Lamichane, S., Permadi, D.D. Development of Pavement Temperature Prediction Model. Idaho Department of Transportation Research Record RP 279. 2020. 62 p. URL: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/56871/dot_56871_DS1.pdf (дата звернення 19.03.2024).

5. ASTM D7228-06a (2020) Standard Test Method for Prediction of Asphalt-Bound Pavement Layer Temperatures. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. 3 p.

6. Long-Term Pavement Performance Program Manual for Falling Weight Deflectometer Measurements. FHWA-HRT-06-132, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Research and Development Turner-Fairbank Highway Research Center 6300 Georgetown Pike McLean, VA 22101-2296. 2006. 82 p. URL: https://highways.dot.gov/media/6001 (дата звернення 25.03.2024).

7. ASTM D5858-96 (2020) Standard Guide for Calculating *In Situ* Equivalent Elastic Moduli of Pavement Materials Using Layered Elastic Theory ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. 7 p.

8. Терещенко Т. А., Ілляш С. І. Можливості стандартних методів випробування дорожніх одягів навантаженням. *Автошляховик України*. 2022, № 1. Вип. 269. С. 66–74.

9. Solatifar, N., Kavussi, A., Abbasghorbani, M. Prediction of depth temperature of asphalt layers in hot climate area. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2018. Vol. 24. Issue 7. P. 516–525. URL: https://www.researchgate.net/publication/328961821 (дата звернення 13.03.2024 р.).

10. C. C. Liao, B. R. Chen, S. H. Chen, W. H. Huang. Temperature Prediction Model for Flexible Pavements in Taiwan. Selected Papers from the 2009 Geohunan International Conference "Performance modeling and evaluation of pavement systems and materials". (August 3–6, 2009 Changsha, Hunan, China). P. 82–89. URL: https://zlibrary.to/dl/performance-modeling-and-evaluation-of-pavement-systems-and-materials-selected-papers-from-the-2009-geohunan-international-conference-august-3-6-2009-changsha-hunan-china (дата звернення 19.03.2024).

References

1. LTPP Guide to Asphalt Temperature Prediction and Correction (A HTML document). Federal Highway Administration, Office of Research, Development, and Technology, Office of Infrastructure. 2016 (as last modified one). 9 p. URL: https://www.fhwa.dot.gov/publications/lists/technical/infrastructure/pavements/ltpp/ (Accessed 19.03.2024) [in English].

2. Lukanen, E.O., Stubstad, R., and Briggs, R. Temperature predictions and adjustment factors for asphalt pavements. Research Report FHWA-RD-98-085, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Research and Development Turner-Fairbank Highway Research Center 6300 Georgetown Pike McLean, VA 22101-2296. 2000. 79 p. URL: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/15368 (Accessed 19.03.2024) [in English].

3. Inge, E. H., and Kim, Y. R. Prediction of effective asphalt layer temperature. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*, Washington DC, USA, Vol. 1473. 1995. P. 93–100. URL: https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1995/1473/1473-011.pdf (Accessed 13.03.2024) [in English].

4. Kassem, E., Bayomy, F.M.S., Williams, C., Saasita, E., Lamichane, S., Permadi, D. D. Development of Pavement Temperature Prediction Model. Idaho Department of Transportation Research Record RP 279. 2020. 62 p. URL: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/56871/dot_56871_DS1.pdf (Accessed 19.03.2024) [in English].

5. ASTM D7228-06a (2020) Standard Test Method for Prediction of Asphalt-Bound Pavement Layer Temperatures. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. 3 p. [in English].

6. Long-Term Pavement Performance Program Manual for Falling Weight Deflectometer Measurements. FHWA-HRT-06-132, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Research and Development Turner-Fairbank Highway Research Center 6300 Georgetown Pike McLean, VA 22101-2296. 2006. 82 p. URL: https://highways.dot.gov/media/6001 (Accessed 25.03.2024) [in English].

7. ASTM D5858-96 (2020) Standard Guide for Calculating *In Situ* Equivalent Elastic Moduli of Pavement Materials Using Layered Elastic Theory ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. 7 p. [in English].

8. Tereshchenko T. A., Illiash S. I. Mozhlyvosti standartnykh metodiv vyprobuvannia dorozhnikh odiahiv navantazhenniam (Scopes of standard methods for testing road pavements by loading). *Avtošljachovyk Ukraïny*. 2022, No. 1, Issue 269. P. 66–74 [in Ukrainian].

9. Solatifar, N., Kavussi, A., Abbasghorbani, M. Prediction of depth temperature of asphalt layers in hot climate area. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2018. Vol. 24. Issue 7. P. 516–525. URL: : https://www.researchgate.net/publication/328961821 (Accessed 13.03.2024) [in English].

10. C. C. Liao, B. R. Chen, S. H. Chen, W. H. Huang. Temperature Prediction Model for Flexible Pavements in Taiwan. Selected Papers from the 2009 Geohunan International Conference "Performance modeling and evaluation of pavement systems and materials". (August 3–6, 2009 Changsha, Hunan, China). P. 82–89. URL: https://zlibrary.to/dl/performance-modeling-and-evaluation-of-pavement-systems-and-materials-selected-papers-from-the-2009-geohunan-international-conference-august-3-6-2009-changsha-hunan-china (Accessed 19.03.2024) [in English].

Tatyana Tereshchenko, *Ph.D., Sen. Research, https://orcid.org/0000-0001-5206-9921*

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

PREDICTION OF TEMPERATURES WITHIN THE DEPTH OF ASPHALT CONCRETE LAYERS AND THE MODELING OF TEMPERATURE-DEPENDENT PARAMETERS FOR FLEXIBLE ROAD PAVEMENTS DESIGN PURPOSES

Introduction. The introduction to the paper highlights the aspects of the analysis of results of flexible road pavement load test which shall be related to the temperature-dependent characteristics of asphalt concrete.

Problem statement. The issues of the paper concern the questions of prediction of temperature within the asphalt concrete layer by the BELLS mathematical model and also the adjustment of the flexible pavement's assessment and design parameters to the reference temperatures.

Purpose. The goal of the paper is to analyze the main provisions of the BELLS model and also provisions for modeling the basic temperature-dependent parameters taken into account when designing the flexible road pavements and which are based on the results of the construction stiffness and deflection basin measurements that were performed through the FWD (Falling-Weight Deflectometer) test.

Results. The effect of temperatures on the flexible road pavement materials' deformational properties was reviewed with separating crucial characteristics such as asphalt concrete modulus and basin shape factors obtained using the road pavements load tests results.

Also the analysis of main provisions of the model for asphalt concrete layer temperature prediction was performed and the evolution of the on the BELLS equation based model with standard calculation algorithm was described which considers two sin-function with the offset to cover the different duration of the stages of asphalt concrete temperature rising and falling in a construction through the whole day.

Within the mechanistic-empirical approach to the road pavement design, the modeling of temperature-dependent parameters such as asphalt concrete moduli, and basin shape factors, and deflection in the point of loading were briefly analyzed. Also, the examples of the selection of significant parameters for calculation were reviewed in accordance with the characteristics of a construction, namely the asphalt concrete layer thickness, stiffness of the subgrade and the object's geography. The attention was paid to the questions of the BELLS model verification on the objects with various climatic conditions.

Conclusions. Within the contemporary practice for the highway construction, the road pavement load tests are the integral part of the flexible road pavements assessment and design requiring along with that the precise data regarding temperatures in the asphalt concrete layer according to the test conditions. The deflection testing procedure with usage the FWD device questions the efficiency of the measurement of temperatures in an asphalt concrete layer giving preference to the temperatures prediction. The highly effective one is the prediction of these temperatures via the model based on the 18-hr cycle of rising and falling of temperatures of asphalt concrete in a construction through the whole day as it was standardized by ASTM.

The actual direction of the implementation of such a standard model and related approaches to the road pavements assessment and design in Ukraine should be the scientific-engineering support for construction of highways with further verification and, expectedly, enlargement of scopes of that model application.

Keywords: asphalt concrete, load test of road pavements, deflection, *BELLS* model, flexible road pavement, prediction, temperature, deflection basin.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.228

УДК 625.7/.8

Кривобок О. В., *https://orcid.org/0000-0002-5424-8664*
Биковець М. М., *https://orcid.org/0000-0002-7490-7479*

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

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛЬМАТУВАЛЬНОЇ ДОБАВКИ ТА ПРЕСПЕКТИВИ ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ В ДОРОЖНІХ ЦЕМЕНТОБЕТОНАХ

Анотація

Вступ. Цементобетон, як і більшість інших пористих матеріалів, без складностей пропускає і утримує в собі вологу. Волога може бути увібрана залізобетонним фундаментом у разі, якщо є огріхи в зовнішньому гідроізоляційному шарі, звідси розвиток грибка, цвілі, висолів, корозія арматури, руйнування оздоблювальних матеріалів підвального приміщення. Але найбільша небезпека в тому, що замерзла вода розширюється і своїм тиском руйнує конструкцію зсередини. Гідроізоляційні добавки в цементобетон застосовують для покращення міцності, корозійної стійкості, водонепроникності та морозостійкості бетону.

Проблематика. Забезпечення надійності дорожнього одягу в післявоєний час.

Мета. Дослідити доцільність застосування гідроізоляційної добавки в цементобетонній суміші на прикладі кольматувальної добавки Penetron Admix.

Результати. Проведено випробування та проаналізовано доцільність використання застосування гідроізоляційної добавки в цементобетонній суміші на прикладі кольматувальної добавки Penetron Admix.

Висновки. Було проведено дослідження переваг та недоліків застосування гідроізоляційної добавки в цементобетонній суміші на прикладі кольматувальної добавки Penetron Admix та проведено лабораторні випробування фізико-механічних показників цементобетону.

Ключові слова: автомобільна дорога, жорсткий дорожній одяг, міцність, покрив, цементобетон.

Вступ

Цементобетон є найпопулярнішим будівельним матеріалом на теперішній час. Завдяки ряду переваг, такими як довговічність, відносно невисока собівартість, витрати на обслуговування, він зайняв лідируюче місце серед іншим будівельних матеріалів.

Найбільшою небезпекою для цементобетонних конструкцій є проникнення вологи у средину, зокрема у самий цементобетон, що може стати причиною його руйнування під час її замерзання. Також волога може проникати через шви примикання інших конструкцій до фундаменту (холодні шви) та деформаційні шви. Даний факт досить сильно скорочує строк експулатації конструкції. Якісна і правильна гідроізоляція бетону забезпечує абсолютний захист від проникнення вологи. Одним із варіантів вирішення цієї проблеми є гідроізоляційні добавки. Гідроізоляційні добавки в цементобетон застосовують для покращення міцності, корозійної стійкості, водонепроникності та морозостійкості цементобетону. Гідроізоляційні добавки мають досить широкий спектр застосування для різних видів цементобетону:

- бетони на портландцементах, зокрема і тампонажні;
- різні марки товарного бетону (особливо легкі, легкі, важкі, особливо важкі);
- гідротехнічні бетони;
- дисперсно-армовані (фібробетон) бетони тощо.

Основна частина

У рамках досліження випробування кольматувальної добавки до цементобетонів дорожніх Penetron Admix. Було виготовлено 3 серії зразків цементобетону для порівняння фізико-механічних характеристик контрольного складу (склад суміші № 1 — з додаванням пластифікувальної та повітровтягувальної добавок без Penetron Admix) та основних складів (склад суміші № 2 — з додаванням лише Penetron Admix; склад суміші № 3 — з додаванням пластифікувальної та повітровтягувальної добавок разом з Penetron Admix).

Після виготовлення зазначених серій зразків було проведено дослідження з визначення їхніх фізико-механічних характеристик за наступними показниками:

— міцність зразків на стиск;
— міцність зразків на розтяг за згину;
— морозостійкість зразків;
— водопоглинання зразків;
— водонепроникність зразків.

Також було виготовлено 3 серії зразків цементобетону для порівняння фізико-механічних характеристик контрольного складу (склад суміші № 4 — з додаванням пластифікувальної та повітровтягувальної добавок без Penetron Admix) та основних складів (склад суміші № 5 — з додаванням пластифікувальної та повітровтягувальної добавок разом з Penetron Admix; склад суміші № 6 — з додаванням пластифікувальної разом з Penetron Admix). Для цих зразків було визначено:

— міцність зразків на стиск;
— міцність зразків на стиск (після водопоглинання);
— водопоглинання (у віці 28, 35, 42 та 49 діб).

Склад суміші № 1: портландцемент ПЦ І-500-Р-Н – 390 кг (виробництво ПрАТ «Івано-Франківськ цемент»), пісок – 600 кг, щебінь фракції (5-10) – 420 кг, щебінь фракції (10-20) – 780 кг, вода – 160 кг, суперпласифікульвана добавка Muraplast FK 59 – 2,4 кг (виробництво ТОВ «МЦ БАУХЕМІ»), повітровтягувальна добавка Centrament Air 202 – 1,0 кг (виробництво ТОВ «МЦ БАУХЕМІ»).

Склад суміші № 2: портландцемент ПЦ І-500-Р-Н – 390 кг (виробництво ПрАТ «Івано-Франківськ цемент»), пісок – 600 кг, щебінь фракції (5-10) – 420 кг, щебінь фракції (10-20) – 780 кг, вода – 160 кг, кольматувальна добавка PENETRON ADMIX – 3,51 кг (виробництво «Penetron International, ltd»).

Склад суміші № 3: портландцемент ПЦ І-500-Р-Н – 390 кг (виробництво ПрАТ «Івано-Франківськ цемент»), пісок – 600 кг, щебінь фракції (5 – 10) – 420 кг, щебінь фракції (10-20) – 780 кг, вода – 160 кг, суперпласифікульвана добавка Muraplast FK 59 – 2,4 кг (виробництво ТОВ «МЦ БАУХЕМІ»), повітровтягувальна добавка Centrament Air 202-1,0 кг (виробництво ТОВ «МЦ БАУХЕМІ»), кольматувальна добавка PENETRON ADMIX – 3,51 кг (виробництво «Penetron International, ltd»).

Склад суміші № 4: портландцемент ПЦ І-500-Р-Н – 390 кг (виробництво ПрАТ «Івано-Франківськ цемент»), пісок – 600 кг, щебінь фракції (5–10) – 420 кг, щебінь фракції (10-20) – 780 кг, вода – 160 кг, суперпласифікульвана добавка Muraplast FK 59 – 2,4 кг (виробництво ТОВ «МЦ БАУХЕМІ»), повітровтягувальна добавка Centrament Air 202 – 1,0 кг (виробництво ТОВ «МЦ БАУХЕМІ»).

Склад суміші № 5: портландцемент ПЦ І-500-Р-Н – 390 кг (виробництво ПрАТ «Івано-Франківськ цемент»), пісок – 600 кг, щебінь фракції (5 – 10) – 420 кг, щебінь фракції (10-20) – 780 кг, вода – 160 кг, повітровтягувальна добавка Centrament Air 202 – 1,0 кг (виробництво ТОВ «МЦ БАУХЕМІ»), кольматувальна добавка PENETRON ADMIX – 3,51 кг (виробництво «Penetron International, ltd»).

Склад суміші № 6: портландцемент ПЦ І-500-Р-Н – 390 кг (виробництво ПрАТ «Івано-Франківськ цемент»), пісок – 600 кг, щебінь фракції (5-10) – 420 кг, щебінь фракції (10-20) – 780 кг, вода – 160 кг, суперпласифікульвана добавка Muraplast FK 59 – 2,4 кг (виробництво ТОВ «МЦ БАУХЕМІ»), кольматувальна добавка PENETRON ADMIX – 3,51 кг (виробництво «Penetron International, ltd»).

Проведено випробування з визначення зернового складу щебеню фракцій (10 – 20) мм та (5 – 10) мм. Випробування проведені згідно з ДСТУ Б В.2.7-71 [1]. Фактичний зерновий склад щебеню наведено в **табл. 1** та **табл. 2**.

Таблиця 1

Зерновий склад щебеню фракції (10-20) мм

Назва показника	Маса, кг	Залишок на ситі з розміром отворів, мм						
Розм. сит	10,0	25	20	15	10	5	2,5	1,25
Часткові, г		37,00	820,50	4 200,30	3 986,80	719,80	100,20	135,40
Часткові, %		0,37	8,20	42,00	39,86	7,29	1,00	0,44
Повні, г		37,00	857,50	5 057,80	9 044,60	9 764,40	9 864,60	10 000
Повні, %		0,37	8,57	50,57	90,44	97,64	98,64	100
ДСТУ Б В.2.7-75, %		до 0,5	до 10	30-80	90-100	–	–	–

Таблиця 2

Зерновий склад щебеню фракції (5-10) мм

Назва показника	Маса, кг	Залишок на ситі з розміром отворів, мм					
Розм. сит	5,0	12,50	10	7,50	5	2,50	1,25
Часткові, г		10,90	465,30	1 797,30	2 296	280,40	150,1
Часткові, %		0,21	9,30	35,94	45,92	5,60	3,0
Повні, г		10,90	476,20	2 273,50	4 569,50	4 849,90	5 000
Повні, %		0,21	9,52	45,47	91,39	96,99	100
ДСТУ Б В.2.7-75, %		до 0,5	до 10	30-80	90-100	–	–

За результатами випробувань визначено, що зразки щебеню фракції (10-20) мм і (5-10) мм відповідають вимогам таблиці 1 ДСТУ Б В.2.7-75 [2].

Проведені випробування з визначення зернового складу та модуля крупності піску. Випробування проведені згідно з ДСТУ Б В.2.7-232 [3]. Фактичний зерновий склад піску наведений у **табл. 3**.

Таблиця 3

Зерновий склад піску

Назва показника	Маса, кг	Залишок на ситі з розміром отворів, мм						$М_{кр}$
Розм. сит	2,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	≤ 0,16	1,76
Часткові, г		25	175,4	220,6	656,5	723,4	199,1	
Часткові, %		1,25	8,77	11,03	32,82	36,7	9,95	
Повні, г		25	200,4	421	1 077,5	1 800,9	2 000	
Повні, %		1,25	10,02	21,05	53,87	90,04	100	
ДСТУ Б В.2.7-32, %		0-20	5-45	20-70	50-80	85-100	15-0	1,6-3,15

За результатами випробувань визначено, що зразок піску є дрібним згідно з ДСТУ Б В.2.7-29 [4] і відповідає вимогам таблиці 1 ДСТУ Б В.2.7-32 [5].

Під час виготовлення цементобетонних сумішей зі складів за №№ 1 – 6 були визначені показники, які наведені у **табл. 4**.

Таблиця 4

Показники якості цементобетонних сумішей

Показники	Склад № 1	Склад № 2	Склад № 3	Склад № 4	Склад № 5	Склад № 6
Рухливість (осадка конуса) після 20 хв, см	4	1	3	4	2	4
Вміст втягнутого повітря, %	5	2,5	5	5	5	2,5
Середня густина, г/см^3	2 310	2 390	2 370	2 290	2 315	2 350

Зразки-куби 100 мм × 100 мм × 100 мм виготовлені з цементобетонної суміші зі складів за №№ 1 – 6. Випробування проведені згідно з ДСТУ Б В.2.7-170 [6] і ДСТУ Б В.2.7-214 [7]. Фактичні значення визначених показників наведено у **табл. 5 – 13.**

Таблиця 5

Міцність на стиск зразків за складом № 1 у віці 28 діб

Марку-вання	Маса, г	Параметри зразка			S, см^2	V, см^3	ρ, г/см^3	$R_{ст}$ МПа	$R_{ст}^{сер}$, МПа	σ	ДБН В.2.6-98:2009, МПа
		d, см	b, см	h, см							
1/21-1(б)	2 317	10,02	10,02	10,04	100,4	1 008	2,300	41,51 (С25/30)	43,54 (С25/30)	1,55	38,52 (С25/30)
1/21-2(б)	2 313	10,04	10,02	10,04	100,6	1 010	2,290	43,53 (С25/30)			
1/21-3(б)	2 362	10,04	10,02	10,02	100,6	1 008	2,343	43,85 (С25/30)			
1/21-4(б)	2 305	10,02	10,02	10,04	100,4	1 008	2,287	39,40 (С25/30)			
1/21-5(б)	2 379	10,04	10,02	10,02	100,6	1 008	2,360	45,27 (С30/35)			
1/21-6(б)	2 363	10,02	10,04	10,04	100,6	1 010	2,340	40,37 (С25/30)			

Таблиця 6

Міцність на стиск зразків за складом № 2 у віці 28 діб

Марку-вання	Маса, г	Параметри зразка			S, см^2	V, см^3	ρ, г/см^3	$R_{ст}$ МПа	$R_{ст}^{сер}$, МПа	σ	ДБН В.2.6-98:2009, МПа
		d, см	b, см	h, см							
2/21-1(б)	2 416	10,02	10,04	10,06	100,6	1 012	2,387	45,23 (С30/35)	48,24 (С30/35)	0,90	38,52 (С25/30)
2/21-2(б)	2 427	10,04	10,04	10,02	100,8	1 010	2,403	48,85 (С30/35)			
2/21-3(б)	2 413	10,02	10,04	10,04	100,6	1 010	2,389	47,82 (С30/35)			
2/21-4(б)	2 416	10,02	10,04	10,02	100,6	1 008	2,397	49,12 (С30/35)			
2/21-5(б)	2 374	10,04	10,02	10,02	100,6	1 008	2,355	47,20 (С30/35)			
2/21-6(б)	2 413	10,02	10,04	10,04	100,6	1 010	2,389	42,27 (С25/30)			

Таблиця 7

Міцність на стиск зразків за складом № 3 у віці 28 діб

Марку-вання	Маса, г	Параметри зразка			S, см²	V, см³	ρ, г/см³	$R_{ст}$ МПа	$R_{ст}^{сер}$, МПа	σ	ДБН В.2.6-98:2009, МПа
		d, см	b, см	h, см							
3/21-1(б)	2 406	10,04	10,02	10,04	100,6	1 010	2,382	44,79 (С25/30)	47,90 (С30/35)	2,09	34,52 (С25/30)
3/21-2(б)	2 384	10,02	10,02	10,02	100,4	1 006	2,370	48,61 (С30/35)			
3/21-3(б)	2 370	10,04	10,04	10,06	100,8	1 014	2,337	48,93 (С30/35)			
3/21-4(б)	2 365	10,02	10,04	10,02	100,6	1 008	2,346	42,93 (С25/30)			
3/21-5(б)	2 427	10,04	10,04	10,02	100,8	1 010	2,403	49,25 (С30/35)			
3/21-6(б)	2 420	10,02	10,04	10,06	100,6	1 012	2,391	40,18 (С25/30)			

Таблиця 8

Міцність на стиск зразків за складом № 4 у віці 28 діб

Марку-вання	Маса, г	Параметри зразка			S, см²	V, см³	ρ, г/см³	$R_{ст}$ МПа	$R_{ст}^{сер}$, МПа	σ	ДБН В.2.6-98:2009, МПа
		d, см	b, см	h, см							
4/21-1(б)	2 264	10,02	10,02	10,02	100,4	1 006	2,250	44,34 (С25/30)	43,99 (С25/30)	0,78	38,52 (С25/30)
4/21-2(б)	2 285	10,02	10,04	10,02	100,6	1 008	2,269	42,79 (С25/30)			
4/21-3(б)	2 264	10,02	10,04	10,04	100,6	1 010	2,241	43,63 (С25/30)			

Таблиця 9

Міцність на стиск зразків за складом № 5 у віці 28 діб

Марку-вання	Маса, г	Параметри зразка			S, см²	V, см³	ρ, г/см³	$R_{ст}$ МПа	$R_{ст}^{сер}$, МПа	σ	ДБН В.2.6-98:2009, МПа
		d, см	b, см	h, см							
5/21-1(б)	2 302	10,02	10,02	10,04	100,4	1 008	2,284	44,71 (С25/30)	47,19 (С30/35)	2,49	38,52 (С25/30)
5/21-2(б)	2 325	10,02	10,02	10,04	100,4	1 008	2,306	45,15 (С30/35)			
5/21-3(б)	2 331	10,02	10,02	10,02	100,6	1 008	2,313	49,23 (С30/35)			

Таблиця 10

Міцність на стиск зразків за складом № 6 у віці 28 діб

Марку-вання	Маса, г	Параметри зразка			S, см²	V, см³	ρ, г/см³	$R_{ст}$ МПа	$R_{ст}^{сер}$, МПа	σ	ДСТУ Б В.2.7-43-96, МПа
		d, см	b, см	h, см							
6/21-1(б)	2 376	10,04	10,02	10,04	100,6	1 010	2,352	51,29 (C30/35)	50,94 (C30/35)	0,72	38,52 (C25/30)
6/21-2(б)	2 346	10,02	10,02	10,02	100,4	1 006	2,332	50,58 (C30/35)			
6/21-3(б)	2 323	10,02	10,02	10,04	100,4	1 008	2,304	49,85 (C30/35)			

Таблиця 11

Міцність на стиск зразків за складом № 4 у віці 49 діб (після водопоглинання)

Марку-вання	Маса, г	Параметри зразка			S, см²	V, см³	ρ, г/см³	$R_{ст}$ МПа	$R_{ст}^{сер}$, МПа	σ	ДБН В.2.6-98:2009, МПа
		d, см	b, см	h, см							
4/21-4(б)	2 334	10,02	10,02	10,02	100,4	1 006	2,320	44,43 (C25/30)	44,67 (C25/30)	1,14	38,52 (C25/30)
4/21-5(б)	2 285	10,02	10,02	10,02	100,4	1 006	2,271	42,74 (C25/30)			
4/21-6(б)	2 335	10,02	10,04	10,02	100,6	1 008	2,316	44,91 (C25/30)			

Таблиця 12

Міцність на стиск зразків за складом № 5 у віці 49 діб (після водопоглинання)

Марку-вання	Маса, г	Параметри зразка			S, см²	V, см³	ρ, г/см³	$R_{ст}$ МПа	$R_{ст}^{сер}$, МПа	σ	ДБН В.2.6-98:2009, МПа
		d, см	b, см	h, см							
5/21-4(б)	2 337	10,04	10,02	10,02	100,6	1 008	2,318	47,52 (C30/35)	47,46 (C30/35)	3,20	38,52 (C25/30)
5/21-5(б)	2 366	10,02	10,02	10,02	100,4	1 006	2,271	47,40 (C30/35)			
5/21-6(б)	2 345	10,02	10,04	10,02	100,6	1 008	2,316	41,92 (C30/35)			

Таблиця 13

Міцність на стиск зразків за складом № 6 у віці 49 діб (після водопоглинання)

Марку-вання	Маса, г	Параметри зразка			S, см²	V, см³	ρ, г/см³	$R_{ст}$ МПа	$R_{ст}^{сер}$, МПа	σ	ДБН В.2.6-98:2009, МПа
		d, см	b, см	h, см							
6/21-4(б)	2 382	10,04	10,02	10,04	100,6	1 010	2,358	51,36 (C32/40)	52,00 (C32/40)	1,62	38,52 (C25/30)
6/21-5(б)	2 439	10,02	10,02	10,02	100,4	1 006	2,271	52,63 (C32/40)			
6/21-6(б)	2 363	10,02	10,04	10,02	100,6	1 008	2,316	49,42 (C30/35)			

Зразки цементобетону у віці 28 діб відповідають таким класам за міцністю на стиск: склад № 1 – С25/30; склад № 2 – С30/35; склад № 3 – С30/35; склад № 4 – С25/30; склад № 5 – С30/35; склад № 6 – С30/35 (**рис. 1** і **рис. 2**).

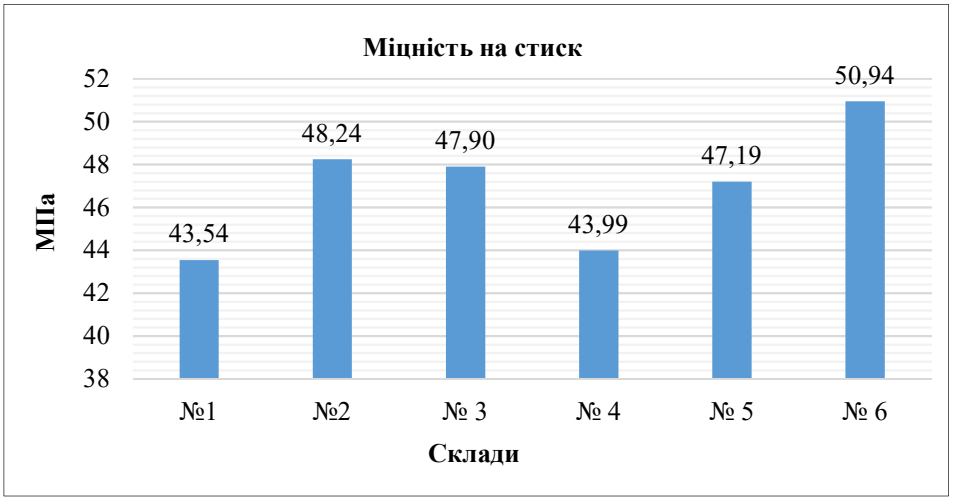


Рисунок 1 — Міцність на стиск зі складів №№ 1 – 6 у віці 28 діб

Зразки цементобетону у віці 49 діб (після водопоглинання) відповідають таким класам за міцністю на стиск: склад № 4 – С25/30; склад № 5 – С30/35; склад № 6 – С32/40.

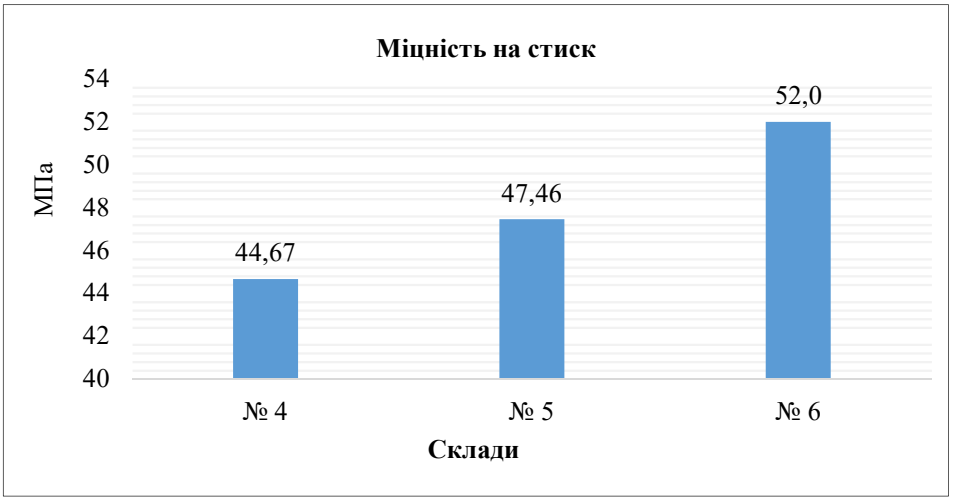


Рисунок 2 — Міцність на стиск зі складів №№ 4 – 6 у віці 28 діб (після водопоглинання)

Зразки-куби 100 мм × 100 мм × 100 мм виготовлені з цементобетонної суміші зі складів №№ 1 – 6. Випробування проведені згідно з ДСТУ Б В.2.7-170 [6]. Фактичні значення визначених показників наведено в **табл. 14 – 28**. Всі зразки після нормального тверднення у віці 28 діб були розміщені у наповненій водою ємності і знаходилися там визначений строк згідно з **табл. 14 – 28**. У віці 49 діб після водопоглинання зразків зі складів №№ 4 – 6 були випробувані на міцність на стиск.

Таблиця 14

Водопоглинання зразків за складом № 1 у віці 28 діб

Маркування	Маса сухого зразка, г	Маса водонасиченого зразка, г	Фактичне значення водопоглинання		Середнє значення водопоглинання	ДСТУ 8858, не більше ніж
			г	%	%	%
1/21-7(б)	2 355	2 370	15	0,63	0,85	4
1/21-8(б)	2 361	2 382	21	0,88		
1/21-9(б)	2 372	2 397	25	1,04		

Таблиця 15

Водопоглинання зразків за складом № 2 у віці 28 діб

Маркування	Маса сухого зразка, г	Маса водонасиченого зразка, г	Фактичне значення водопоглинання		Середнє значення водопоглинання	ДСТУ 8858, не більше ніж
			г	%	%	%
2/21-7(б)	2 380	2 388	8	0,34	0,35	4
2/21-8(б)	2 413	2 420	7	0,29		
2/21-9(б)	2 418	2 428	10	0,41		

Таблиця 16

Водопоглинання зразків за складом № 3 у віці 28 діб

Маркування	Маса сухого зразка, г	Маса водонасиченого зразка, г	Фактичне значення водопоглинання		Середнє значення водопоглинання	ДСТУ 8858, не більше ніж
			г	%	%	%
3/21-7(б)	2 370	2 381	11	0,46	0,58	4
3/21-8(б)	2 365	2 379	14	0,59		
3/21-9(б)	2 343	2 359	16	0,68		

Таблиця 17

Водопоглинання зразків за складом № 4 у віці 28 діб

Маркування	Маса сухого зразка, г	Маса водонасиченого зразка, г	Фактичне значення водопоглинання		Середнє значення водопоглинання	ДСТУ 8858, не більше ніж
			г	%	%	%
4/21-7(б)	2 349	2 366	17	0,72	0,65	4
4/21-8(б)	2 324	2 336	12	0,51		
4/21-9(б)	2 352	2 369	17	0,72		

Таблиця 18

Водопоглинання зразків за складом № 5 у віці 28 діб

Маркування	Маса сухого зразка, г	Маса водонасиченого зразка, г	Фактичне значення водопоглинання		Середнє значення водопоглинання	ДСТУ 8858, не більше ніж
			г	%	%	%
5/21-7(б)	2 376	2 388	12	0,50	0,53	4
5/21-8(б)	2 369	2 384	15	0,63		
5/21-9(б)	2 310	2 321	11	0,47		

Таблиця 19

Водопоглинання зразків за складом № 6 у віці 28 діб

Маркування	Маса сухого зразка, г	Маса водонасиченого зразка, г	Фактичне значення водопоглинання		Середнє значення водопоглинання	ДСТУ 8858, не більше ніж
			г	%	%	%
6/21-7(б)	2 363	2 388	25	1,04	1,1	4
6/21-8(б)	2 409	2 433	24	0,98		
6/21-9(б)	2 378	2 409	31	1,29		

Таблиця 20

Водопоглинання зразків за складом № 4 у віці 35 діб

Маркування	Маса сухого зразка, г	Маса водонасиченого зразка, г	Фактичне значення водопоглинання		Середнє значення водопоглинання	ДСТУ 8858, не більше ніж
			г	%	%	%
4/21-10(б)	2 319	2 335	16	0,68	0,66	4
4/21-11(б)	2 292	2 307	15	0,65		
4/21-12(б)	2 280	2 295	15	0,65		

Таблиця 21

Водопоглинання зразків за складом № 5 у віці 35 діб

Маркування	Маса сухого зразка, г	Маса водонасиченого зразка, г	Фактичне значення водопоглинання		Середнє значення водопоглинання	ДСТУ 8858, не більше ніж
			г	%	%	%
5/21-10(б)	2 322	2 336	16	0,60	0,73	4
5/21-11(б)	2 337	2 356	19	0,81		
5/21-12(б)	2 288	2 306	18	0,78		

Таблиця 22

Водопоглинання зразків за складом № 6 у віці 35 діб

Маркування	Маса сухого зразка, г	Маса водонасиченого зразка, г	Фактичне значення водопоглинання		Середнє значення водопоглинання	ДСТУ 8858, не більше ніж
			г	%	%	%
6/21-10(б)	2 370	2 392	22	0,92	0,97	4
6/21-11(б)	2 365	2 391	26	1,08		
6/21-12(б)	2 311	2 332	21	0,90		

Таблиця 23

Водопоглинання зразків за складом № 4 у віці 42 діб

Маркування	Маса сухого зразка, г	Маса водонасиченого зразка, г	Фактичне значення водопоглинання		Середнє значення водопоглинання	ДСТУ 8858, не більше ніж
			г	%	%	%
4/21-13(б)	2 278	2 292	14	0,61	0,58	4
4/21-14(б)	2 236	2 249	13	0,58		
4/21-15(б)	2 286	2 299	13	0,56		

Таблиця 24

Водопоглинання зразків за складом № 5 у віці 42 діб

Маркування	Маса сухого зразка, г	Маса водонасиченого зразка, г	Фактичне значення водопоглинання		Середнє значення водопоглинання	ДСТУ 8858, не більше ніж
			г	%	%	%
5/21-13(б)	2 336	2 355	19	0,81	0,72	4
5/21-14(б)	2 295	2 309	14	0,61		
5/21-15(б)	2 303	2 320	17	0,73		

Таблиця 25

Водопоглинання зразків за складом № 6 у віці 42 діб

Маркування	Маса сухого зразка, г	Маса водонасиченого зразка, г	Фактичне значення водопоглинання		Середнє значення водопоглинання	ДСТУ 8858, не більше ніж
			г	%	%	%
6/21-13(б)	2 352	2 377	25	1,05	1,01	4
6/21-14(б)	2 310	2 334	24	1,03		
6/21-15(б)	2 362	2 385	23	0,96		

Таблиця 26

Водопоглинання зразків за складом № 4 у віці 49 діб

Маркування	Маса сухого зразка, г	Маса водонасиченого зразка, г	Фактичне значення водопоглинання		Середнє значення водопоглинання	ДСТУ 8858, не більше ніж
			г	%	%	%
4/21-16(б)	2 244	2 256	12	0,53	0,66	4
4/21-17(б)	2 269	2 285	16	0,70		
4/21-18(б)	2 284	2 301	13	0,74		

Таблиця 27

Водопоглинання зразків за складом № 5 у віці 49 діб

Маркування	Маса сухого зразка, г	Маса водонасиченого зразка, г	Фактичне значення водопоглинання		Середнє значення водопоглинання	ДСТУ 8858, не більше ніж
			г	%	%	%
5/21-16(б)	2 301	2 316	15	0,65	0,60	4
5/21-17(б)	2 319	2 332	13	0,56		
5/21-18(б)	2 318	2 332	14	0,60		

Таблиця 28

Водопоглинання зразків за складом № 6 у віці 49 діб

Маркування	Маса сухого зразка, г	Маса водонасиченого зразка, г	Фактичне значення водопоглинання		Середнє значення водопоглинання	ДСТУ 8858, не більше ніж
			г	%	%	%
6/21-16(б)	2 342	2 365	23	0,97	1,05	4
6/21-17(б)	2 363	2 388	25	1,05		4
6/21-18(б)	2 368	2 395	27	1,13		4

Зразки цементобетону за водопоглинанням у віці 28 діб: склад № 1 – 0,85 %; склад № 2 – 0,35 %; склад № 3 – 0,58 %; склад № 4 – 0,65 %; склад № 5 – 0,53 %; склад № 6 – 1,1 %. Результати випробувань відповідають вимогам ДСТУ 8858 (**рис. 3**).

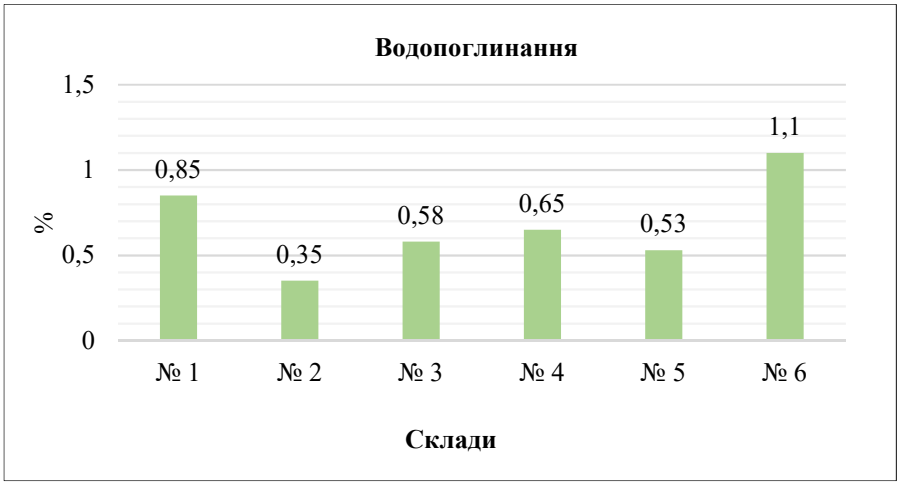


Рисунок 3 — Водопоглинання зразків зі складів №№ 1 – 6 у віці 28 діб

Зразки цементобетону за водопоглинанням у віці 35 діб: склад № 4 – 0,66 %; склад № 5 – 0,73 %; склад № 6 – 0,97 %. Результати випробувань відповідають вимогам ДСТУ 8858.

Зразки цементобетону за водопоглинанням у віці 42 діб: склад № 4 – 0,58 %; склад № 5 – 0,72 %; склад № 6 – 1,01 %. Результати випробувань відповідають вимогам ДСТУ 8858.

Зразки цементобетону за водопоглинанням у віці 49 діб: склад № 4 – 0,66 %; склад № 5 – 0,60 %; склад № 6 – 1,05 %. Результати випробувань відповідають вимогам ДСТУ 8858 (**рис. 4**).

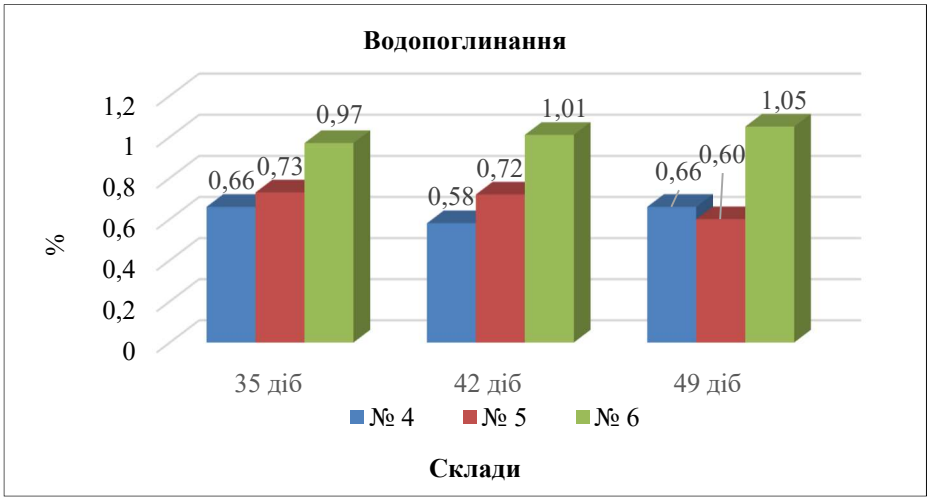


Рисунок 4 — Водопоглинання зразків зі складів №№ 4-6 у віці 35, 42 та 49 діб

Зразки-куби 100 мм × 100 мм × 400 мм виготовлені з цементобетонних сумішей зі складів №№ 1 – 3. Випробування проведені згідно з ДСТУ Б В.2.7-47 [8], ДСТУ Б В.2.7-49 [9] і ДСТУ Б В.2.7-214 [7]. Фактичні значення визначених показників наведено в **табл. 29 – 31**.

Таблиця 29

Морозостійкість зразків за складом № 1

Назва складу	Маркування	Міцність на стиск контрольних зразків, МПа	Середня міцність, МПа	Маса насичених зразків перед випробуванням, г	Середня маса, г	Маса зразків після випробування, г	Середня маса, г	Міцність на стиск, МПа		Зміна міцності після 20 циклів, не більше, %		Зміна маси після 20 циклів, не більше, %	
								Після 20 циклів	Середня міцність	ДСТУ Б В.2.7-49	фактична	ДСТУ Б В.2.7-49	фактична
Контрольні зразки	1/21-10(б)	44,46	43,61	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	1/21-11(б)	45,37		–	–	–							
	1/21-12(б)	42,64		–	–	–							
	1/21-13(б)	41,98		–	–	–							
	1/21-14(б)	39,21		–	–	–							
	1/21-15(б)	39,58		–	–	–							
Основні зразки	1/21-16(б)	–	–	2 403	2 380	2 396	2 361	43,11	41,67	-5,0	-4,45	-3,0	-0,80
	1/21-17(б)			2 355		2 331		42,28					
	1/21-18(б)			2 376		2 365		37,65					
	1/21-22(б)			2 357		2 341		40,93					
	1/21-23(б)			2 407		2 391		40,37					
	1/21-24(б)			2 380		2 342		37,88					

Таблиця 30

Морозостійкість зразків за складом № 2

Назва складу	Маркування	Міцність на стиск контрольних зразків, МПа	Середня міцність, МПа	Маса насичених зразків перед випробуванням, г	Середня маса, г	Маса зразків після випробування, г	Середня маса, г	Міцність на стиск, МПа		Зміна міцності після 20 циклів, не більше, %		Зміна маси після 20 циклів, не більше, %	
								Після 20 циклів	Середня міцність	ДСТУ Б В.2.7-49	фактична	ДСТУ Б В.2.7-49	фактична
Контрольні зразки	2/21-10(б)	49,28	49,58	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	2/21-11(б)	50,54		–	–	–							
	2/21-12(б)	51,21		–	–	–							
	2/21-13(б)	47,28		–	–	–							
	2/21-14(б)	45,67		–	–	–							
	2/21-15(б)	46,23		–	–	–							
Основні зразки	2/21-16(б)	–	–	2 436	2 456	2 440	2 461	49,11	48,77	-5,0	-1,63	-3,0	+0,20
	2/21-17(б)			2 491		2 499		47,28					
	2/21-18(б)			2 428		2 429		47,65					
	2/21-22(б)			2 456		2 452		49,93					
	2/21-23(б)			2 483		2 491		48,37					
	2/21-24(б)			2 444		2 452		45,88					

Таблиця 31

Морозостійкість зразків за складом № 3

Назва складу	Маркування	Міцність на стиск контрольних зразків, МПа	Середня міцність, МПа	Маса насичених зразків перед випробуванням, г	Середня маса, г	Маса зразків після випробування, г	Середня маса, г	Міцність на стиск, МПа		Зміна міцності після 20 циклів, не більше, %		Зміна маси після 20 циклів, не більше, %	
								Після 20 циклів	Середня міцність	ДСТУ Б В.2.7-49	фактична	ДСТУ Б В.2.7-49	фактична
Контрольні зразки	3/21-10(б)	49,21	48,93	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	3/21-11(б)	46,25		–	–	–							
	3/21-12(б)	48,37		–	–	–							
	3/21-13(б)	45,25		–	–	–							
	3/21-14(б)	50,31		–	–	–							
	3/21-15(б)	47,82		–	–	–							
Основні зразки	3/21-16(б)	–	–	2 355	2 392	2 351	2 384	49,59	47,78	-5,0	-2,35	-3,0	-0,33
	3/21-17(б)			2 370		2 365		47,20					
	3/21-18(б)			2 388		2 380		45,25					
	3/21-22(б)			2 396		2 390		47,62					
	3/21-23(б)			2 390		2 377		46,55					
	3/21-24(б)			2 452		2 441		46,71					

Зразки цементобетону серії №№ 1 – 3 за морозостійкістю відповідають маркам F200.

Зразки-циліндри діаметром 150 мм, висотою 150 мм виготовлені з цементобетонних сумішей зі складів №№ 1 – 3. Випробування проведені згідно з ДСТУ Б В.2.7-170 [6]. Фактичні значення визначених показників наведено в **табл. 32 – 34**.

Таблиця 32

Водонепроникність зразків за складом № 1

Найменування матеріалу	Маркування	Водонепроникність зразків цементобетону, МПа	Фактична марка цементобетону за водонепроникністю
Зразки-циліндри ⌀ 150 мм, *h* = 150 мм.	1/21-25(б)	1,2	W12
	1/21-26(б)	1,2	W12
	1/21-27(б)	1,2	W12
	1/21-28(б)	1,2	W12
	1/21-29(б)	1,2	W12
	1/21-30(б)	1,2	W12

Таблиця 33

Водонепроникність зразків за складом № 2

Найменування матеріалу	Маркування	Водонепроникність зразків цементобетону, МПа	Фактична марка цементобетону за водонепроникністю
Зразки-циліндри ⌀ 150 мм, *h* = 150 мм.	2/21-25(б)	2,0	W20
	2/21-26(б)	2,0	W20
	2/21-27(б)	2,0	W20
	2/21-28(б)	2,0	W20
	2/21-29(б)	2,0	W20
	2/21-30(б)	2,0	W20

Таблиця 34

Водонепроникність зразків за складом № 3

Найменування матеріалу	Маркування	Водонепроникність зразків цементобетону, МПа	Фактична марка цементобетону за водонепроникністю
Зразки-циліндри ⌀ 150 мм, *h* = 150 мм.	3/21-25(б)	2,0	W20
	3/21-26(б)	2,0	W20
	3/21-27(б)	2,0	W20
	3/21-28(б)	2,0	W20
	3/21-29(б)	2,0	W20
	3/21-30(б)	2,0	W20

Зразки цементобетону відповідають таким маркам за водонепроникністю: склад № 1 – W12, склад № 2 – W20, склад № 3 – W20 (**рис. 5**).

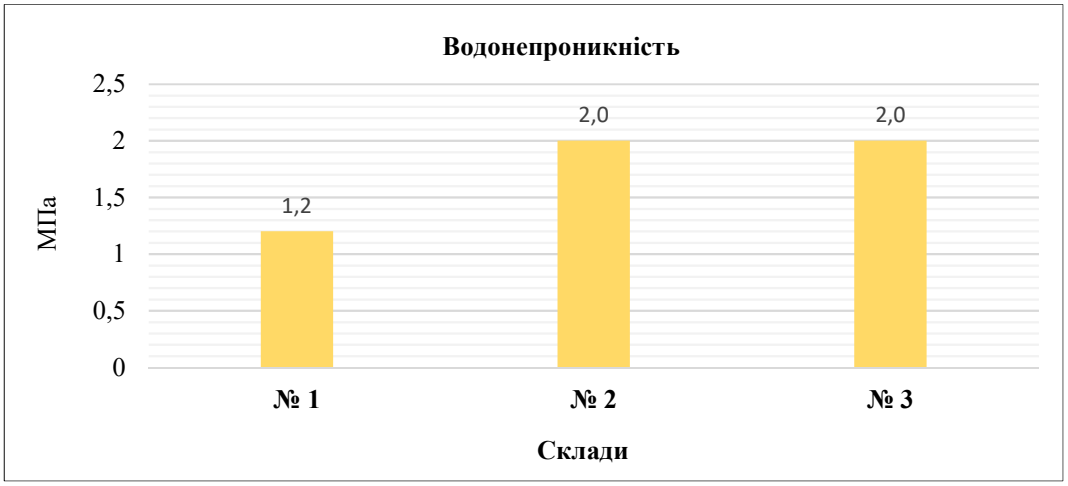


Рисунок 5 — *Водонепроникність зразків зі складів №№ 1 – 3*

Висновки

За результатами досліджень кольматувальної добавки до цементобетонів дорожніх Penetron Admix виявлено, що у разі її застосування рухливість суміші не підвищується, добавка не впливає на вміст залученого повітря у цементобетонній суміші та може бути використана разом з пластифікувальною та повітровтягувальною добавкою.

Кольматувальна добавка до цементобетонів дорожніх Penetron Admix підвищує фізико-механічні характеристики цементобетону, а саме:

— міцність на стиск на (10 – 15) %;
— міцність на розтяг за згину на (5 – 8) %;
— водонепроникність на 60 %;
— морозостійкість на (2,1 – 2,8) %;
— водопоглинання зразків з використанням лише добавки Penetron Admix (склад № 2) у 2,4 рази менше ніж зразків з контрольним складом (склад № 1).

Список літератури

1. 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. 10 с. (Інформація та документація).
2. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Щебінь і гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. Київ, 1998. 5 с. (Інформація та документація).
3. ДСТУ Б В.2.7-232:2010 Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань. Київ 2010. 8 с. (Інформація та документація).
4. ДСТУ Б В.2.7-29-96 Будівельні матеріали. Дрібні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Класифікація. Київ, 1996. 9 с. (Інформація та документація).
5. ДСТУ Б В.2.7-32-95 Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. Київ. 1995. 5 с. (Інформація та документація).
6. ДСТУ Б В.2.7-170:2008 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності. Київ, 2008. 16 с. (Інформація та документація).
7. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. Київ. 2009. 10 с. (Інформація та документація).
8. ДСТУ Б В.2.7-47-96 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення морозостійкості. Загальні вимоги. Київ 1996. 7 с. (Інформація та документація).
9. ДСТУ Б В.2.7-49-96 Будівельні матеріали. Бетони. Прискорені методи. Київ, 1996. 5 с. (Інформація та документація).
10. Кривобок О. В., Биковець М. М. Аналіз доцільності застосування конструкцій жорсткого дорожнього одягу під час відновлення автомобільних доріг в Україні. *Дороги і Мости*. Вип. 28. Київ. 2023. 134–143 с. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.134.

References

1. DSTU B V.2.7-71-98 Shchebin i hravii iz shchilnykh hirskykh porid i vidkhodiv promyslovoho vyrobnytstva dlia budivelnykh robit. Metody fizyko-mekhanichnykh vyprobuvan (Crushed stone and gravel from dense rocks and industrial waste for construction work. Methods of physical and mechanical tests). Kyiv, 1998. 10 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
2. DSTU B V.2.7-75-98 Shchebin i hravii shchilni pryrodni dlia budivelnykh materialiv, vyrobiv, konstruktsii i robit. Tekhnichni umovy (Crushed stone and gravel are natural dense for building materials, products, constructions and works. Technical conditions). Kyiv, 1998. 5 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
3. DSTU B V.2.7-232:2010 Budivelni materialy. Pisok dlia budivelnykh robit. Metody vyprobuvan (Building materials. Sand for construction works. Test methods). Kyiv, 2010. 8 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
4. DCTU B V.2.7-29-96 Budivelni materialy. Dribni zapovniuvachi pryrodni, iz vidkhodiv promyslovosti, shtuchni dlia budivelnykh materialiv, vyrobiv, konstruktsii ta robit. Klasyfikatsiia (Building materials. Small aggregates are natural, from industrial waste, artificial for building materials, products,

constructions and works. Classification. (Information and documentation)). Kyiv. 1996. 9 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

5. DSTU B V.2.7-32-95 Budivelni materialy. Pisok shchilnyi pryrodnyi dlia budivelnykh materialiv, vyrobiv, konstruktsii i robit. Tekhnichni umovy (Building materials. Dense natural sand for building materials, products, constructions and works. Technical conditions). Kyiv, 1995. 5 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

6. DSTU B V.2.7-170:2008 Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia serednoi hustyny, volohosti, vodopohlynannia, porystosti i vodonepronyknosti (Building materials. Concretes. Methods of determining the average density, humidity, water absorption, porosity and waterproofness). Kyiv, 2008. 16 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

7. DSTU B V.2.7-214:2009 Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia mitsnosti za kontrolnymy zrazkamy (Building materials. Concretes. Methods of determination of strength according to control samples). Kyiv, 2009. 10 p (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

8. DSTU B V.2.7-47-96 Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia morozostiikosti. Zahalni vymohy (Building materials. Concretes. Methods of determining frost resistance. General requirement). Kyiv, 1996. 7 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

9. DSTU B V.2.7-49-96 Budivelni materialy. Betony. Pryskoreni metody (Building materials. Concretes. Accelerated methods). Kyiv. 1996. 5 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

10. Kryvobok O. V., Bykovets M. M. Analiz dotsilnosti zastosuvannia konstruktsii zhorstkoho dorozhnoho odiahu pid chas vidnovlennia avtomobilnykh dorih v Ukraini (Analysis of the expediency of using structures of rigid road clothing during the restoration of highways in Ukraine). *Dorohy i Mosty*. Issue 28. Kyiv, 2023. P. 134–143. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.134 [in Ukrainian].

Oleksandr Kryvobok, *https://orcid.org/0000-0002-5424-8664*
Mykola Bykovets, *https://orcid.org/0000-0002-7490-7479*

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

RESEARCH ON A COLMATANT ADDITIVE AND ITS APPLICATION PROSPECTS IN ROAD CEMENT CONCRETE

Abstract

Introduction. Cement concrete, like most other porous materials, easily absorbs and retains moisture. Moisture can be absorbed by the reinforced concrete foundation if there are defects in the external waterproofing layer, leading to the development of mold, mildew, efflorescence, reinforcement corrosion, and damage to the finishing materials in the basement. The greatest danger is that frozen water expands and, through its pressure, destroys the structure from within. Waterproofing additives in cement concrete are used to improve the strength, corrosion resistance, impermeability, and frost resistance of concrete.

Problem Statement. Ensuring the reliability of road pavement in the post-war period.

Objective. To investigate the feasibility of using a waterproofing additive in a cement concrete mix using the example of the colmatant additive Penetron Admix.

Results. Tests were conducted, and the feasibility of using a waterproofing additive in a cement concrete mix was analyzed, using the example of the colmatant additive Penetron Admix.

Conclusions. The study evaluated the advantages and disadvantages of using a waterproofing additive in a cement concrete mix, using the example of the colmatant additive Penetron Admix, and laboratory tests of the physical and mechanical properties of cement concrete were carried out.

Keywords: highway, rigid pavement, strength, pavement, cement concrete.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.244

УДК 625.7/.8

Каськів В. І., *канд. техн. наук, доц. https://orcid.org/0000-0002-8074-6798*
Скрипник А. Л., *канд. екон. наук, https://orcid.org/0000-0002-4461-9433*
Вирожемський В. К., *канд. техн. наук, ст. наук. співр., https://orcid.org/0000-0003-2010-1004*
Ячник М. В., *https://orcid.org/0009-0006-2510-6997*
Зеленовський В. А., *https://orcid.org/0000-0001-5834-5456*

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

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ВИРОБІВ В КОНТЕКСТІ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЇХ СЕРТИФІКАЦІЇ В УКРАЇНІ ВІДПОВІДНО ДО ДСТУ EN ISO/IEC 17065:2019 ТА ЗАКОНУ УКРАЇНИ «ПРО НАДАННЯ БУДІВЕЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ НА РИНКУ»

Анотація

Вступ. У статті розглядається важливість сертифікації дорожньо-будівельних матеріалів як одного з основних інструментів забезпечення їхньої якості.

Проблематика. Автори акцентують увагу на тому, що сертифікат відповідності є ключовим документом, який підтверджує, що продукція відповідає встановленим нормативним вимогам. Сертифікація продукції, яка включає лабораторні випробування та контроль процесу виробництва, забезпечує об'єктивність оцінки якості.

У статті детально описуються етапи процесу сертифікації, від подачі заявки до технічного нагляду за сертифікованою продукцією. Окремо підкреслюється роль органів сертифікації, які повинні бути акредитовані Національним агентством з акредитації України (НААУ), а також зазначається про їх відповідальність за безпеку і якість сертифікованих дорожньо-будівельних матеріалів.

Автори також звертають увагу на проблему недотримання стандартів якості дорожньо-будівельної продукції в Україні, що призводить до дефектів на дорогах, таких як тріщини та просідання дорожнього одягу, які можуть з'явитися вже через рік після введення дороги в експлуатацію. У цьому контексті наголошується на необхідності посилення контролю за якістю як вироблених в Україні, так і імпортованих дорожньо-будівельних матеріалів.

Стаття також розглядає питання добровільної сертифікації дорожньо-будівельної продукції, яка проводиться за ініціативою виробника або постачальника, стає все більш важливою в умовах тендерних закупівель. Водночас підкреслюється недостатність контролю за якістю продукції, що реалізується через роздрібні мережі, та відсутність ефективного контролю якості імпортних дорожньо-будівельних матеріалів.

Мета. Мета статті полягає у детальному аналізуванні європейських підходів до сертифікації дорожньо-будівельної продукції та проблематики їхньої адаптації до вітчизняних реалій з метою забезпечення виконання вимог нормативних документів щодо порогових показників якості цієї продукції та стабільності їхнього підтримання в процесі виробництва.

Матеріали і методи. У статті проведені аналізування та узагальнення нормативних вимог щодо сертифікації дорожньо-будівельних матеріалів і виробів, а також основних проблем впровадження європейських процедур оцінки їхньої відповідності та вітчизняного досвіду забезпечення відповідності дорожньо-будівельної продукції.

Результати. За результатами дослідження автори пропонують впровадження у вітчизняну практику процедури атестації виробництва дорожньо-будівельної продукції, яка б підтверджувала здатність підприємства стабільно виготовляти якісну продукцію протягом тривалого часу. Вказана

атестація має включати оцінку технічних можливостей виробництва, перевіряння якості продукції та системи її контролю на всіх етапах виробництва дорожньо-будівельних матеріалів і виробів.

Висновки. Стаття підкреслює важливість сертифікації дорожньо-будівельної продукції та атестації її виробництв у забезпеченні належної її якості, що є обов'язковою умовою забезпечення довговічності та безпечності дорожньої інфраструктури в Україні.

Ключові слова: атестація виробництва, дорожньо-будівельні матеріали та вироби, обстеження виробництва, оцінка відповідності, сертифікація, стабільність показників продукції, технічний регламент, якість.

Вступ

Зважаючи на сучасні виклики, пов'язані з використанням неякісних дорожніх будівельних матеріалів і виробів, сертифікація дорожньо-будівельної продукції відіграє важливу роль у забезпеченні належного рівня та стабільності показників її якості та безпечності. Однак перехід України на європейські підходи до сертифікації дорожньо-будівельної продукції зумовлює ряд проблем, що потребують системного вирішення. На нашу думку, впровадження європейської практики щодо допуску дорожньо-будівельної продукції на ринок та оцінки її відповідності без жодної її адаптації до вітчизняних реалій може призвести до системних проблем із забезпеченням якості дорожньо-будівельної продукції як вітчизняного, так і іноземного виробництва.

Питання сертифікації будівельних матеріалів і виробів загалом, та дорожньо-будівельних матеріалів і виробів зокрема, наразі не отримали належного відображення у вітчизняних наукових працях. Окремі аспекти сертифікації будматеріалів і виробів були розглянуті у працях Вербівської Л. В. [1], Дмитренка В. І. [2], Павлова В. М. [3], Тарасюка В. Г. [4], Фаренюка Г. Г. [5] тощо. Проте практичні проблеми впровадження європейських норм та практик оцінки відповідності дорожньо-будівельної продукції в Україні досі залишаються не висвітленими.

Таким чином існує необхідність у детальному аналізуванні європейських підходів до сертифікації дорожньо-будівельної продукції та їхньої адаптації до вітчизняних реалій з метою забезпечення виконання вимог нормативних документів щодо значень показників якості цієї продукції та стабільності їхнього підтримання в процесі виробництва.

Основна частина

Як відомо, якість використаних дорожньо-будівельних матеріалів — один із пріоритетних критеріїв їхнього вибору для будь-якого замовника дорожнього будівництва. При цьому найкращим гарантом якості продукції, що підтверджує її відповідність всім нормам і стандартам, вважається сертифікат відповідності, який видається уповноваженим на це органом за результатами процедури сертифікації.

Сертифікація — це процедура, під час якої орган із сертифікації документально засвідчує, що продукція, процес або послуга відповідають встановленим вимогам технічних регламентів [6]. Під час сертифікації третя сторона, незалежна не тільки від виробника і споживача, але і від випробувальної лабораторії, підтверджує відповідність об'єкта сертифікації вимогам нормативних документів.

Сертифікація продукції обов'язково включає лабораторні та / або натурні випробування, однак при цьому Орган сертифікації самостійно проводить ідентифікацію продукції та відбір проб, а також контролює проведення випробувань [7]. Окрім цього, для забезпечення неупередженості, різні функції в процесі сертифікації виконують різні співробітники Органу, що унеможливлює ухвалення рішення щодо надання / ненадання сертифікації однією особою, включаючи керівника Органу [8]. Ще одним запобіжним фактором для будь-яких зловживань і порушень у процесі сертифікації продукції є нагляд за роботою Органу сертифікації з боку НААУ.

Слід зазначити, що на даний час дорожньо-будівельні матеріали все частіше можуть виконувати свої функції лише у складі комплексних систем, що потребує застосування сертифікації

не тільки окремих виробів, але і конструкцій з них (якщо це передбачено вимогами нормативних документів).

Заявку на сертифікацію продукції може подати як виробник, так і реалізатор продукції. Роботи із сертифікації продукції починаються після подачі заявки встановленої форми до органу із сертифікації і включають такі основні етапи [7]:

— вибір схеми сертифікації (партія або серія, з обстеженням або без обстеження виробництва);

— розгляд заявки, аналіз наданої до неї документації й ухвалення рішення за заявкою щодо можливості проведення сертифікації;

— ідентифікація та відбір зразків продукції для випробувань;

— лабораторні або натурні випробування продукції;

— обстеження виробництва (якщо це передбачено схемою сертифікації);

— аналізування результатів оцінювання продукції;

— підготовка та видача сертифіката відповідності, укладання ліцензійної угоди і внесення сертифіката відповідності до реєстру органу сертифікації продукції;

— технічний нагляд за виробництвом сертифікованої продукції.

Органи, які беруть на себе функції проведення сертифікації дорожньо-будівельних матеріалів та виробів, з метою засвідчення компетентності, зобов'язані бути акредитованими Національним агентством з акредитації України. Після видачі сертифіката відповідності продукції ці органи разом із виробником продукції несуть солідарну відповідальність за якість і безпеку сертифікованих матеріалів або виробів. Дані про те, що ті чи інші види продукції отримали сертифікат відповідності, мають бути розміщені на офіційному сайті організації, яка проводила сертифікацію.

Оскільки для визначення та підтвердження якості конкретної продукції та її відповідності вимогам нормативних документів необхідно проводити лабораторні та / або натурні випробування контрольних зразків продукції, то вказані роботи, з метою забезпечення достовірності їх результатів, повинні виконуватись лише тими випробувальними лабораторіями, які акредитовані в НААУ на відповідність вимогам ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 «Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2017, IDT)» [9]. Акредитована випробувальна лабораторія забезпечує достовірність і об'єктивність результатів сертифікаційних випробувань продукції, їх відповідність вимогам нормативних документів щодо методів випробувань.

Проблема сертифікації дорожньо-будівельних матеріалів і виробів у сучасній Україні є особливо актуальною, оскільки підприємці часто прагнуть отримати максимальний прибуток, не звертаючи належної уваги на якість продукції, яку вони виробляють чи використовують у своїх проєктах. Вибоїни, сколи, просідання, проломи, зсуви, тріщини, колійність дорожнього одягу тощо — всі ці дефекти часто виникають вже через рік після введення нової автомобільної дороги в експлуатацію, капітального ремонту або реконструкції її ділянки. Утворення дефектів і пошкоджень обумовлено цілим комплексом різних чинників, але однією з основних причин їхнього виникнення є використання неякісних матеріалів та виробів, недотримання технологічних параметрів якості виготовлення. Дана проблематика дійсно підтверджує потребу у жорсткому контролі якості дорожньо-будівельної продукції, яка виготовляється на території України або ввозиться з-за кордону.

Наразі в Україні сертифікація може мати обов'язковий і добровільний характер.

Обов'язковій сертифікації підлягає продукція, для якої обов'язковість сертифікації передбачена технічними регламентами [10]. При цьому, вся продукція, яка використовується в дорожньо-будівельній сфері, наразі не підлягає обов'язковій сертифікації відповідно до «Технічного регламенту будівельних виробів (продукції)» [11], і водночас деякі види дорожньо-будівельної продукції підлягають обов'язковій сертифікації відповідно до Закону України від 02.09.2022 № 850-IX «Про надання будівельної продукції на ринку» [12], який також є технічним регламентом будівельних матеріалів і виробів, що впроваджує вимоги Регламенту (ЄС) № 305/2011 Європейського парламенту та Ради від 09.03.2011 року. Наразі в Україні обидва вказаних технічних

регламенти діють паралельно [12], що створює певну юридичну колізію та дозволяє провести за деякими нормативними документами як добровільну, так і обов'язкову сертифікацію.

Добровільна сертифікація проводиться за ініціативою заявника (виробника, дистриб'ютора, постачальника) з метою повного чи часткового підтвердження відповідності продукції вимогам будь-яких нормативних документів за запитом заявником (або окремих їх положень). Вона проводиться на умовах договору між заявником і органом сертифікації.

Добровільна сертифікація не може замінити обов'язкову сертифікацію (для тих видів продукції, для яких передбачена обов'язкова сертифікація, проте під час її проведення продукція, що пройшла обов'язкову сертифікацію, може перевірятись на відповідність додатковим вимогам.

Наразі добровільна сертифікація дорожньо-будівельної продукції проводиться відповідно до ДСТУ EN ISO/IEC 17065:2019 «Оцінка відповідності. Вимоги до органів з сертифікації продукції, процесів та послуг» [7] та ДСТУ EN ISO/IEC 17020:2019 «Оцінка відповідності. Вимоги до роботи різних типів органів з інспектування» (EN ISO/IEC 17020:2012, IDT; ISO/IEC 17020:2012, IDT) [8]. При цьому схеми сертифікації розробляють відповідно до вимог ДСТУ EN ISO/IEC 17067:2014 «Оцінювання відповідності. Основні положення сертифікації продукції та керівні вказівки щодо схем сертифікації продукції» (EN ISO/IEC 17067:2013, IDT; ISO/IEC 17067:2013, IDT) [13].

Як показує практика, основною причиною замовлення послуг із добровільної сертифікації дорожньо-будівельної продукції є відповідні вимоги замовників під час тендерних закупівель. Окрім цього провідні виробники дорожньо-будівельної продукції регулярно отримують та оновлюють сертифікати відповідності на всю асортиментну лінійку, що дозволяє їм проводити поточний внутрішній контроль якості продукції у власних заводських лабораторіях й уникати при цьому закидів щодо можливої необ'єктивності контролю якості продукції.

У той же час, продукція, що реалізується через роздрібну торговельну мережу України, часто не має сертифікатів відповідності, оскільки, відповідно до діючих в Україні технічних регламентів будівельних матеріалів і виробів, виробник не зобов'язаний отримувати ці сертифікати, а роздрібна мережа — перевіряти їх наявність [11], [12]. Все це часто призводить до реалізації продукції сумнівної якості, яку, у випадку розголосу виробник, потім намагається представити як фальсифікат для уникнення репутаційних втрат.

Вагомою проблемою в системі забезпечення якості дорожньо-будівельної продукції є відсутність дієвого контролю якості імпортних дорожньо-будівельних матеріалів і виробів, які перевіряються митницею лише на відповідність товаро-супровідним документам, після чого надходять у вільний продаж [14]. Значні ризики щодо якості та безпечності дорожньо-будівельних матеріалів та виробів також створює можливість (під час дії воєнного стану та протягом 90 днів після його завершення) завезення на митну територію України з держав — членів ЄС будівельних виробів на підставі декларації показників, виданої іноземним суб'єктом господарювання [11].

Вказані проблеми мають бути вирішені через систему ринкового нагляду, який в будівельній сфері України здійснює ДІАМ на підставі Закону України «Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції» [15]. Втім потужності ДІАМ щодо здійснення ринкового нагляду (виходячи із кількості інспекторів) наразі вкрай обмежені.

Загалом вимоги Закону України від 02.09.2022 № 850-IX «Про надання будівельної продукції на ринку» [12] щодо обов'язкової сертифікації, дорожньо-будівельних матеріалів та виробів наразі викликають у їх виробників та імпортерів суттєве занепокоєння.

Хоча даний Закон [12] має низку позитивних рис (якими, на нашу думку, є те, що встановлює обов'язковість процедури сертифікації, а також розділяє відповідальність між органом сертифікації та виробником продукції стосовно заходів із контролю її якості (відповідно до системи сертифікації, визначеної згідно з [16])), однак деякі його положення створюють істотні ризики та ускладнення щодо об'єктивної оцінки відповідності та забезпечення стабільності якості дорожньо-будівельної продукції.

Так, відповідно до вказаного Закону [12], декларування властивостей продукції її виробником у державній базі ЄДССБ є достатньою підставою для допуску продукції на ринок, і достовірність

поданої декларації ДІАМ не перевірятиме взагалі (окрім випадку надходження скарг на дану продукцію). Також ані імпортер, ані реалізатор дорожньо-будівельної продукції, відповідно до вимог Закону [12], не зобов'язаний перевіряти її якість. На нашу думку, все це у вітчизняних умовах може дозволити несумлінному виробнику подати до ЄДССБ декларацію та на цій підставі реалізувати значний обсяг дорожньо-будівельної продукції до того моменту, поки ДІАМ отримає на нього скаргу та зможе вжити заходів щодо вилучення такої продукції з обігу. Окрім цього, заходи впливу ДІАМ на несумлінних виробників неякісної будівельної продукції, передбачені Законом [12], не передбачають жодних виплат компенсацій споживачам неякісної продукції, які будуть вимушені відшкодовувати свої збитки у порядку цивільного / господарського судочинства.

Існують також значні проблеми із темпами гармонізації європейських стандартів, що підпадають під дію Закону [12], наявністю акредитованих лабораторій для проведення випробувань за європейськими стандартами та акредитованих органів сертифікації дорожньо-будівельної продукції, а також відсутністю у загальному безоплатному доступі обов'язкових для застосування стандартів, на відповідність яким проводиться сертифікація дорожньо-будівельної продукції [17]. Неповним також є перелік стандартів для проведення обов'язкової сертифікації дорожньо-будівельної продукції [18], який не доповнюється та не оновлюється Міністерством розвитку громад та територій України, і тому наразі істотно відрізняється від аналогічного переліку ЄС. Внаслідок перелічених причин існують обґрунтовані сумніви у можливості вирішення цих проблем до початку повноцінної дії вказаного регламенту на території України у 2025 році.

Загалом слід зазначити, що сама процедура сертифікації продукції (як добровільної, так і обов'язкової), більшою мірою підходить для підтвердження якості серійної продукції, що випускається впродовж тривалого часу без істотних змін у сировині, комплектуючих, технології та організації виробничого процесу. Втім, у дорожньо-будівельній сфері (зокрема при виготовленні бетонних, асфальтобетонних сумішей) більш розповсюдженим є виробництво продукції невеликими партіями, що виготовляють протягом робочого дня / зміни, після чого виробництво перелаштовується на виготовлення нової партії продукції із новими параметрами (згідно із запитом нового замовника). При цьому такі виробництва використовують у своїй роботі складний комплекс машин, будівель і споруд, а також велику кількість специфічного обладняння, типу асфальтозмішувальної установки і сортувального пристрою для отримання необхідних фракцій щебеню, і тому навіть незначні похибки у встановленні режимів роботи вказаного обладнання може призвести до виготовлення партії бракованої продукції. Очевидно, що, оскільки щоденна сертифікація партій продукції є фізично та фінансово неможливою, то необхідним є визначення інших процедур підтвердження якості відповідної продукції.

Такою процедурою, на нашу думку, може бути атестація виробництва дорожньо-будівельної продукції, яка, на відміну від сертифікації, покликана підтвердити не якість конкретної продукції, а саму можливість виробництва щодо якісного виготовлення певної номенклатури продукції (наприклад, асфальтобетонних сумішей) впродовж тривалого часу (як правило, не менше ніж 1 рік). Тобто атестат виробництва дорожньо-будівельних матеріалів або виробів підтверджуватиме, що виробничий процес на конкретному підприємстві із виготовлення відповідної продукції відбувається ефективно, з відтворюваними параметрами та за наявності належного контролю якості вихідної сировини та готової продукції на всіх етапах її виготовлення.

Роботи з атестації виробництва, на нашу думку, мають включати такі етапи:

— оцінювання технічних можливостей підприємства-виробника дорожньо-будівельних матеріалів або виробів забезпечити стабільне виготовлення якісної продукції, яка відповідає вимогам відповідних нормативних документів;

— проведення візуального обстеження виробництва щодо наявності та працездатності усього виробничого обладнання, виконання усіх передбачених технологічних операцій;

— перевіряння наявності та актуальності технологічної і конструкторської документації;

— перевіряння наявності та ефективності функціонування контролю якості вихідної сировини та готової продукції на всіх етапах її виготовлення;

— перевіряння обсягу знань і можливостей працівників виконувати вимоги технологічної та організаційно-розпорядчої документації;

— перевіряння наявності і працездатності всього необхідного обладнання та вимірювальних, контролюючих якість, засобів і приладів, їх повірка і калібрування;

— оцінювання відповідності реальних параметрів виготовлення продукції вимогам нормативної документації;

— взяття зразків продукції, виготовленої безпосередньо у процесі атестації, та їхнє випробування на відповідність вимогам нормативної документації;

— технічний нагляд за атестованим виробництвом.

Таким чином, атестація поєднує та поглиблює дослідження виробництва, передбачені процедурою обстеження виробництва при проведенні добровільної сертифікації продукції та процедурою оцінки відповідності системи заводського контролю виробництва, передбаченою Законом України від 02.09.2022 № 850-IX «Про надання будівельної продукції на ринку» [12].

На нашу думку, асфальтобетонні заводи, які призначені для виготовлення асфальтобетонних і бітумо-мінеральних сумішей, що використовуються під час будування нежорсткого дорожнього одягу з асфальтовим покривом, мають проходити атестацію щорічно, а необхідність її проведення необхідно закріпити у галузевих нормативних документах.

Доцільною також може бути атестація виробництва горизонтальної дорожньої розмітки розмічальними машинами згідно з ДСТУ 2587:2021, ДСТУ-Н Б В.2.3-37:2016 та ліквідації вибоїн покриття нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг пневмоструменевим методом згідно з ДСТУ-Н Б В.3.2-5:2016.

Висновки

На основі викладеного матеріалу можна зробити висновки, що забезпечення належного рівня та стабільності показників якості дорожньо-будівельних матеріалів і виробів являє собою складне завдання, яке може бути вирішене за допомогою поєднання органом із сертифікації продукції у своїй діяльності добровільної та обов'язкової сертифікації продукції, а також атестації її виробництва. На нашу думку, ті дорожньо-будівельні матеріали та вироби, що не підлягають обов'язковій сертифікації та випускаються в Україні серійно, а також партії імпортної дорожньо-будівельної продукції повинні підлягати добровільній сертифікації згідно з умовами тендерів Агентства відновлення, натомість виробництва бетонних, асфальтобетонних і бітумних сумішей, які хочуть подати свою продукцію на тендер, — обов'язковій атестації виробництва (обов'язковість і порядок проведення якої доцільно закріпити у галузевих нормативних документах).

Список літератури

1. Вербівська Л. В. Функціональне значення сертифікації, стандартизації та управління якістю продукції в сучасних бізнес-процесах. *Економіка та суспільство*. Одеса, 2023. Вип. 54. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-54-78.

2. Дмитренко В. І. Міжнародний та вітчизняний досвід нормативно-правового забезпечення діяльності підприємств будівельної галузі. *Ефективна економіка*. Київ, 2018.

3. Павлов В. М., Матющенко О. Г., Власов А. В., Мирунко В. М., Рєзніков Ю. В.. Сертифікація елементів захисних споруд: проблемні питання та шляхи їх вирішення. *Випробування та сертифікація*. Черкаси, 2023. № 2(2). С. 12–18.

4. Тарасюк В. Г., Лащ Н. В. Питання оцінювання відповідності продукції у будівництві. *Наука та будівництво*. Київ, 2015. № 1. С. 4.

5. Фаренюк Г. Г., Савицький М. В., Бабенко М. М. та ін. Українська національна система екологічної сертифікації в архітектурі і будівництві. *Тези XIX міжнар. наук.-практ. конф. «Інноваційні технології у будівництві, цивільній інженерії та архітектури»* (19-22 вересня 2021 р., м. Чернігів). Дніпро, 2021. С. 310–312.

6. ДСТУ EN ISO/IEC 17000:2021. Оцінювання відповідності. Словник термінів і загальні принципи (EN ISO/IEC 17000:2020, IDT; ISO/IEC 17000:2020, IDT). Київ, 2021. 54 с. (Інформація та документація).

7. ДСТУ EN ISO/IEC 17065:2019 (EN ISO/IEC 17065:2012, IDT; ISO/IEC 17065:2012, IDT). Оцінка відповідності. Вимоги до органів з сертифікації продукції, процесів та послуг. Київ, 2019. 74 с. (Інформація та документація).

8. ДСТУ EN ISO/IEC 17020:2019 (EN ISO/IEC 17020:2012, IDT) Оцінка відповідності. Вимоги до роботи різних типів органів з інспектування. Київ, 2019. 65 с. (Інформація та документація).

9. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 (ISO/IEC 17 025:2017, IDT) Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій. Київ, 2017. 54 с. (Інформація та документація).

10. Про технічні регламенти та оцінку відповідності: Закон України від 15.01.2015 № 124-VIII, редакція від 06.09.2022 № 2572-IX // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/124-19#Text (дата звернення 15.09.2024).

11. Постанова КМУ від 20.12.2006 № 1764 «Про затвердження Технічного регламенту будівельних виробів (продукції)» // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1764-2006-%D0%BF#Text (дата звернення 15.09.2024).

12. Про надання будівельної продукції на ринку: Закон України від 02.09.2022 № 850-IX, редакція від 12.05.2022 № 2254-IX // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/850-20#Text (дата звернення 15.09.2024).

13. ДСТУ EN ISO/IEC 17067:2014 (EN ISO/IEC 17067:2013, IDT; ISO/IEC 17067:2013, IDT) Оцінювання відповідності. Основні положення сертифікації продукції та керівні вказівки щодо схем сертифікації продукції. Київ, 2014. 54 с. (Інформація та документація).

14. Митний Кодекс України від 13.03.2012 № 4495-VI, редакція від 16.07.2024 № 3854-IX // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4495-17#Text (дата звернення 15.09.2024).

15. Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції: Закон України від 02.12.2010 № 2735-VI, редакція від 09.05.2024 № 3701-IX // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2735-17#Text (дата звернення 15.09.2024).

16. Постанова КМУ від 9 червня 2021 р. № 596 «Про затвердження систем оцінки та перевірки стабільності показників будівельної продукції» // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/596-2021-%D0%BF#Text (дата звернення 15.09.2024).

17. Барзилович Д., Буравченко С., Лагунова І., Дмитрук О., Середюк С., Підгорецький Ю. Системний перегляд якості державного регулювання надання будівельної продукції на ринок: зелена книга. Офіс ефективного регулювання. Київ, 2017. 120 с.

18. Наказ Мінрегіону від 18.02.2022 № 54 «Про затвердження переліку національних стандартів для цілей застосування Закону України «Про надання будівельної продукції на ринку» // Портал Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва URL: https://e-construction.gov.ua/files/new_doc/2022-06-22/eb7efabc-71f5-4da9-b7a4-6f0ff888ee9b.pdf (дата звернення 15.09.2024).

References

1. Verbivska L. V. Funktsionalne znachennia sertyfikatsii, standartyzatsii ta upravlinnia yakistiu produktsii v suchasnykh biznes-protsesakh (Functional significance of certification, standardization and product quality management in modern business processes). Economy and society. 2023. Issue 54. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-54-78 [in Ukrainian].

2. Dmytrenko V. I. Mizhnarodnyi ta vitchyznianyi dosvid normatyvno-pravovoho zabezpechennia diialnosti pidpryiemstv budivelnoi haluzi (International and domestic experience of regulatory and legal support of construction industry enterprises). Efficient economy. 2018 [in Ukrainian].

3. Pavlov V. M., Matiushchenko O. H., Vlasov A. V., Myrunko V. M., Rieznikov Yu. V. Sertyfikatsiia elementiv zakhysnykh sporud: problemni pytannia ta shliakhy yikh vyrishennia (Certification

of elements of protective structures: problematic issues and ways to solve them). Testing and certification. 2023. No. 2(2), P. 12–18 [in Ukrainian].

4. Tarasiuk V. H., Lashch N. V. Pytannia otsiniuvannia vidpovidnosti produktsii u budivnytstvi (The question of assessing the conformity of products in construction). Science and construction. 2015. No. 1. P. 4–6 [in Ukrainian].

5. Fareniuk H. H., Savytskyi M. V., Babenko M. M. ta in. Ukrainska natsionalna systema ekolohichnoi sertyfikatsii v arkhitekturi i budivnytstvi (Ukrainian national system of environmental certification in architecture and construction). Theses of the 11th International science and practice conf. "Innovative technologies in construction, civil engineering and architecture" (September 19-22, 2021, Chernihiv). Dnipro 2021. P. 310-312 [in Ukrainian].

6. DSTU EN ISO/IEC 17000:2021. (EN ISO/IEC 17000:2020, IDT; ISO/IEC 17000:2020, IDT) Otsiniuvannia vidpovidnosti. Slovnyk terminiv i zahalni pryntsypy (Compliance assessment. Glossary of terms and general principles) [in Ukrainian].

7. DSTU EN ISO/IEC 17065:2019 (EN ISO/IEC 17065:2012, IDT; ISO/IEC 17065:2012, IDT). Otsinka vidpovidnosti. Vymohy do orhaniv z sertyfikatsii produktsii, protsesiv ta posluh (Compliance assessment. Requirements for bodies for certification of products, processes and services) [in Ukrainian].

8. DSTU EN ISO/IEC 17020:2019 (EN ISO/IEC 17020:2012, IDT) Otsinka vidpovidnosti. Vymohy do roboty riznykh typiv orhaniv z inspektuvannia (Assessment of conformity. Requirements for the work of various types of inspection bodies) [in Ukrainian].

9. DSTU EN ISO/IEC 17025:2019 (ISO/IEC 17025:2017, IDT) Zahalni vymohy do kompetentnosti vyprobuvalnykh ta kalibruvalnykh laboratorii (General requirements for the competence of testing and calibration laboratories) [in Ukrainian].

10. Pro tekhnichni rehlamenty ta otsinku vidpovidnosti (On technical regulations and conformity assessment: Law of Ukraine dated January 15, 2015. No. 124-VIII, revision No. 2572-IX dated September 6, 2022) [in Ukrainian].

11. Pro zatverdzhennia Tekhnichnoho rehlamentu budivelnykh vyrobiv (produktsii) (On Approval of the Technical Regulations of Construction Products (Products)): Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of December 20, 2006. No. 1764 [in Ukrainian].

12. Pro nadannia budivelnoi produktsii na rynku (On the provision of construction products on the market): Law of Ukraine dated September 2, 2022. No. 850-IX, revised No. 2254-IX dated May 12. 2022 [in Ukrainian].

13. DSTU EN ISO/IEC 17067:2014 (EN ISO/IEC 17067:2013, IDT; ISO/IEC 17067:2013, IDT) Otsiniuvannia vidpovidnosti. Osnovni polozhennia sertyfikatsii produktsii ta kerivni vkazivky shchodo skhem sertyfikatsii produktsii (Assessment of conformity. Basic provisions of product certification and guidelines for product certification schemes) [in Ukrainian].

14. Mytnyi Kodeks Ukrainy (Customs Code of Ukraine) dated March 13, 2012 No. 4495-VI, revision No. 3854-IX dated July 16, 2024.) [in Ukrainian].

15. Pro derzhavnyi rynkovyi nahliad i kontrol nekharchovoi produktsii (On state market supervision and control of non-food products): Law of Ukraine dated December 2, 2010 No. 2735-VI, revised No. 3701-IX dated May 9. 2024 [in Ukrainian].

16. Pro zatverdzhennia system otsinky ta perevirky stabilnosti pokaznykiv budivelnoi produktsii (on approval of systems for evaluating and verifying the stability of indicators of construction products): Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine. dated June 9, 2021. No. 596 [in Ukrainian].

17. Barzylovych D., Buravchenko S., Lahunova I., Dmytruk O., Serediuk S., Pidhoretskyi Yu. Systemnyi perehliad yakosti derzhavnoho rehuliuvannia nadannia budivelnoi produktsii na rynok: zelena knyha. (Systematic review of the quality of state regulation of the supply of construction products to the market: a green book). Office of Effective Regulation. Kyiv. 2017. 120 p. [in Ukrainian].

18. Pro zatverdzhennia pereliku natsionalnykh standartiv dlia tsilei zastosuvannia Zakonu Ukrainy "Pro nadannia budivelnoi produktsii na rynku" (On approval of the list of national standards for the purposes of applying the Law of Ukraine "On Providing Construction Products on the Market): Order of the Ministry of Regions dated 18.02.2022. No. 54 [in Ukrainian].

Volodymyr Kaskiv, *Ph.D., Associate Prof., https://orcid.org/0000-0002-8074-6798*
Andrii Skrypnyk, *Ph.D., https://orcid.org/0000-0002-4461-9433*
Valerii Vyrozhemskyi, *Ph.D., Sen. Research, https://orcid.org/0000-0003-2010-1004*
Mariia Yachnyk, *https://orcid.org/0009-0006-2510-6997*
Vladimir Zelenovsky, *https://orcid.org/0000-0001-5834-5456*
State Enterprise "National Institute for Development Infrastructurt" (SE "NIDI"), Kyiv, Ukraine

PROBLEMATIC ISSUES OF ENSURING THE QUALITY OF ROAD CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS IN THE CONTEXT OF THEIR CERTIFICATION IN UKRAINE ACCORDING TO DSTU EN ISO/IEC 17065:2019 AND THE LAW OF UKRAINE "ON THE PROVISION OF CONSTRUCTION PRODUCTS ON THE MARKET"

Abstract

Introduction. The article examines the importance of certification of road construction materials as one of the main tools for ensuring their quality.

Problems. The authors emphasize that the certificate of conformity is a key document that confirms that the products meet the established regulatory requirements. Product certification, which includes laboratory tests and control of the production process, ensures the objectivity of quality assessment.

The article describes in detail the stages of the certification process, from submitting an application to technical supervision of certified products. The role of certification bodies, which must be accredited by the National Accreditation Agency of Ukraine (NAAU), is emphasized separately, and their responsibility for the safety and quality of certified road construction materials is also noted.

The authors also draw attention to the problem of non-compliance with the quality standards of road construction products in Ukraine, which leads to road defects, such as cracks and subsidence, which can appear already a year after the road is put into operation. In this context, it is emphasized the need to strengthen the quality control of both produced in Ukraine and imported road construction materials.

The article also considers the issue of voluntary certification of road construction products, which is carried out at the initiative of the manufacturer or supplier, which is becoming more and more important in the conditions of tender procurement. At the same time, the lack of quality control of products sold through retail networks and the lack of effective quality control of imported road construction materials are emphasized.

Goal. The purpose of the article is a detailed analysis of European approaches to the certification of road construction products and the issues of their adaptation to domestic realities in order to ensure the fulfillment of the requirements of regulatory documents regarding the threshold quality indicators of these products and the stability of their maintenance in the production process.

Materials and methods. The article analyzes and summarizes regulatory requirements for the certification of road construction materials and products, as well as the main problems of implementing European procedures for assessing their conformity and domestic experience in ensuring the conformity of road construction products.

The results. Based on the results of the study, the authors suggest the introduction into domestic practice of the certification procedure for the production of road construction products, which would confirm the ability of the enterprise to stably manufacture high-quality products for a long time. The specified attestation should include an assessment of the technical capabilities of production, a check of product quality and its control system at all stages of the production of road construction materials and products.

Conclusions. In general, the article emphasizes the importance of certification of road construction products and attestation of their production in ensuring their proper quality, which is a prerequisite for ensuring the durability and safety of road infrastructure in Ukraine.

Keywords: quality, road construction materials and products, conformity assessment, certification, technical regulation, stability of product indicators, production survey, production certification.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.253

УДК 625.731

Каськів В. І.[1], *канд. техн. наук, доц., https://orcid.org/0000-0002-8074-6798*
Касай К. І.[2], *https://orcid.org/0000-0003-3292-3339*

[1]*Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна*
[2]*Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна*

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ОЦІНЮВАННЯ ПРОСОЧУВАННЯ ВОЛОГИ ОПАДІВ У ҐРУНТ УЗБІЧЧЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація

Вступ. У статті досліджується вплив атмосферних опадів на дорожню конструкцію, зокрема на інфільтрацію води у ґрунт узбіччя автомобільних доріг, що є важливим аспектом для забезпечення їхньої довговічності. Забезпечення надійного функціонування дорожньої конструкції стає дедалі важливішим в умовах зростаючих транспортних навантажень і кліматичних змін, що призводять до підвищення кількості опадів. Постійне проникнення вологи в земляне полотно може спричинити руйнування дороги, створюючи ризики для безпечного пересування транспорту та потребу в частому ремонті. Важливим є розроблення та впровадження ефективних методик оцінювання просочування вологи в ґрунт, що дозволить забезпечити довговічність та економічну ефективність експлуатації доріг.

Проблематика. В умовах зміни клімату та збільшення кількості інтенсивних опадів актуальним є питання оцінки їхнього впливу на дорожню конструкцію автомобільної дороги. Накопичення вологи в земляному полотні може призводити до порушення стабільності ґрунтової основи, що знижує несну здатність дорожнього одягу. Дослідження, спрямовані на аналізування інфільтрації опадів та їхнього впливу на дорожні конструкції дозволять впровадити ефективні рішення для підтримування належного експлуатаційного стану доріг.

Мета. Метою даного дослідження є порівняння двох основних методик оцінювання кількості опадів, що проникають у ґрунт узбіччя автомобільних доріг, з урахуванням різних кліматичних і геологічних умов. Дослідження має на меті визначити переваги та обмеження кожної методики для подальшого використання їх у дорожній практиці з метою забезпечення надійності дорожньої конструкції.

Матеріали та методи. У дослідженні використано статистичні методи аналізу даних про опади, отриманих із різних джерел, для обчислення коефіцієнтів кореляції Пірсона. Це дозволило оцінити взаємозв'язок між даними про кількість опадів і їхній вплив на ґрунт узбіччя. Крім того, у роботі було застосовано порівняння двох методик: методики регулювання водно-теплового режиму дорожніх конструкцій, що враховує сезонні кліматичні зміни, та методики застосування геосинтетичних матеріалів для контролю інфільтрації води.

Результати. Аналіз метеорологічних даних показав високий ступінь кореляції, що свідчить про узгодженість різних джерел інформації та їхню придатність для використання в наукових розрахунках. Методика регулювання водно-теплового режиму враховує природні та сезонні чинники, які впливають на процес інфільтрації вологи, але вона є складною у застосуванні через необхідність великої кількості вхідних даних і використання підбору значень для отримання точних результатів. Методика, що передбачає використання геосинтетичних матеріалів, виявилася ефективнішою в умовах підвищеної вологості та на ділянках з ускладненою геологічною ситуацією, оскільки вона дозволяє краще контролювати надходження води в узбіччя за допомогою сучасних технічних рішень, проте у ній не враховано вид ґрунту.

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що обидві розглянуті методики можуть бути ефективно застосовані для оцінки інфільтрації атмосферних опадів у ґрунт узбіччя автомобільних доріг залежно від конкретних умов проєкту. Методика регулювання водно-теплового

режиму більш доцільна для застосування у проєктах, де необхідно враховувати сезонні зміни клімату та природні процеси. Натомість методика використання геосинтетичних матеріалів є ефективнішою на ділянках з високим рівнем вологості та складними геологічними умовами. Результати дослідження сприятимуть покращенню проєктних рішень щодо експлуатації доріг в умовах змін клімату та підвищення стійкості дорожніх конструкцій до впливу опадів. Подальші дослідження мають бути спрямовані на удосконалення існуючих методик і розроблення нових підходів, які дозволять підвищити надійність дорожньої конструкції.

Ключові слова: автомобільна дорога, вологість, ґрунт, дощ, земляне полотно, опади, узбіччя.

Вступ

Пріоритетною задачею дорожнього господарства України залишається подальший розвиток мережі автомобільних доріг, з одночасним забезпеченням нормативного рівня якісного стану існуючих шляхів сполучення. У сучасних умовах відновлення та розширення дорожньої інфраструктури є важливим елементом економічної стабілізації та розвитку країни. Ефективність функціонування дорожнього господарства, у цілому, значним чином залежить від темпів і обсягів розбудови нових доріг, а також від якості підтримування існуючої мережі на належному експлуатаційному рівні.

Сучасна транспортна інфраструктура, включаючи автомобільні дороги, як складні інженерні споруди, потребує надійних рішень щодо забезпечення їхньої довговічності та стійкості в умовах зростаючих транспортних навантажень і мінливого клімату.

Як і будь-яка інженерна споруда, автомобільна дорога складається з двох основних елементів: фундаменту, що включає ґрунтову основу — земляне полотно та конструктивної частини — дорожнього одягу. Від якості кожного із цих елементів залежить її надійна робота. При цьому, надійна робота автомобільної дороги є не тільки питанням транспортної логістики, але й важливою передумовою для економічного зростання та розвитку соціальної сфери країни. У сучасних умовах автомобільні дороги стають ключовими артеріями, що з'єднують регіони, забезпечують постачання товарами і послугами та слугують важливим елементом національної безпеки. Тому питання їхнього розвитку, ремонту і належного експлуатаційного утримування має першочергове значення для сталого розвитку держави.

Основна частина

У [1] були розглянуті питання щодо вибору тривалості та інтенсивності опадів під час розрахунку інфільтрації вологи в ґрунт земляного полотна. Окрім цих параметрів є необхідність вибору достовірних даних щодо кількості опадів, які потрібно використовувати у розрахунках, а також теоретичних підходів і розрахункових формул, зокрема для визначення кількості інфільтрації вологи опадів в узбіччя земляного полотна автомобільних доріг, як однієї із величин, які впливають на міцнісні характеристики ґрунту земляного полотна.

Розглянемо місячні суми опадів, отримані з різних довідників та метеорологічних джерел. Основною метою є визначення ступеня взаємозв'язку між цими рядами даних за допомогою обчислення коефіцієнтів кореляції. Порівняння даних з різних джерел дозволяє оцінити їхню надійність та узгодженість, а також виявити можливі відмінності, що можуть бути обумовлені методами збору інформації чи географічними особливостями регіонів спостереження. Визначення кореляційних залежностей між рядами сум опадів вважаємо допоможе обрати джерело даних для подальших наукових досліджень, зокрема для розрахунку кількості опадів, яка просочується в узбіччя автомобільної дороги.

До розрахунків були прийняті три ряди даних сум опадів за теплі періоди року (з квітня по жовтень) для Київської області за даними багаторічних спостережень, отриманих за період з 1891 року до 1980 року [2], даними нормативного документа [3] і даними Українського гідрометереологічного інституту (УкрГМІ) (період спостереження 1991-1921 роки).

Позначимо дані сум опадів із [2] як $X1$, мм: 34, 56, 74, 82, 69, 49, 39.

Позначимо дані сум опадів із [3] як $X2$, мм: 48, 56, 76, 77, 68, 55, 42.
Позначимо дані сум опадів УкрГМІ як $X3$, мм: 39, 64, 71, 73, 55, 53, 42.
Були розраховані коефіцієнти кореляції Пірсона для кожної пари рядів.
Розрахунки виконували за таким алгоритмом:
1. Обчислюють середні значення величин із кожного ряду, $X_{ср}$.
2. Визначають коваріацію для кожної із пар рядів. Наприклад, для пар значень $X1$ і $X2$ коваріацію розраховують за формулою:

$$Cov(X1, X2) = \frac{\sum(X1_i - X1_{cp})(X2_i - X2_{cp})}{n}, \quad (1)$$

де n — кількість значень у ряді.
3. Розраховують стандартне відхилення для кожного ряду за формулою:

$$\sigma_{Xk} = \sqrt{\frac{\sum(Xk_i - Xk_{cp})^2}{n}}, \quad (2)$$

k — номер ряду.
4. Знаходять коефіцієнт кореляції для кожної із пар рядів. Для пар значень $X1$ і $X2$ коефіцієнт кореляції розраховують за формулою:

$$r_{X1,X2} = \frac{Cov(X1,X2)}{\sigma_{X1}\sigma_{X2}}. \quad (3)$$

Результати розрахунку наведені у **табл. 1.**

Таблиця 1

Результати розрахунку кореляції рядів даних сум опадів

Пара рядів	Середнє $X1$	Середнє $X2$	Середнє $X3$	Коваріація	Стандартне відхилення $X1$	Стандартне відхилення $X2$	Стандартне відхилення $X3$	Коефіцієнт кореляції	Висновки
$uX1 – X2$	57,57	60,29	–	205,12	16,79	12,63	–	0,97	Сильна позитивна кореляція
$X1 – X3$	57,57	–	56,71	189,16	16,79	–	12,36	0,91	Сильна позитивна кореляція
$X2 – X3$	–	60,29	56,71	136,94	–	12,63	12,36	0,88	Сильна позитивна кореляція

Аналіз результатів **табл. 1** показує, що коефіцієнт кореляції між рядами $X1$ і $X2$ становить r = 0,97, що свідчить про дуже сильну позитивну кореляцію. Це означає, що значення рядів мають подібну тенденцію в часі. Ця тенденція прослідковується і для інших пар рядів $X1$ і $X3$ (r = 0,91), $X2$ і $X3$ (r = 0,88), хоча для цих рядів сум опадів кореляція трохи слабша, ніж у попередньому випадку. Загалом, усі три ряди демонструють високий ступінь взаємозв'язку, що дозволяє припустити, що дані з різних джерел добре узгоджуються між собою. Це може свідчити про стабільність погодних умов у досліджуваних періодах, а також підтверджує надійність отриманих кліматичних даних для подальших досліджень і для розрахунків можна використовувати дані із зазначених трьох джерел. На думку авторів, як би це не парадоксально звучало, джерело [2] на теперішній час мітить найбільший спектр даних про кліматичні характеристики України і, як показують розрахунки, дані із [2] є репрезентативними і у сучасних умовах зміни клімату країни.

Окрім репрезентативних даних про опади і їхню кількість для розрахунків, зокрема визначення кількості опадів, що просочилися в ґрунт узбіччя земляного полотна автомобільних доріг, потрібен також точний математичний апарат. На теперішній час в дорожній галузі існує декілька підходів до вирішення цього питання вони висвітлені у наукових працях [4 – 17] і технічних документах [18 – 23].

Розглянемо два із них, які описані у [18] і [19].

Методика [18] зосереджена на розрахунку надходження вологи в основу земляного полотна автомобільних доріг, що включає визначення обсягів атмосферних опадів, які можуть проникнути в ґрунт. Основна увага приділяється сезонним змінам вологості, включаючи осіннє накопичення вологи, зимове морозне здимання та весняне відтавання. Цей підхід враховує вплив поверхневих і ґрунтових вод на загальну кількість вологи, що просочується в земляне полотно. Якщо виокремити тільки питання інфільтрації атмосферних опадів у ґрунт узбіччя автомобільної дороги, то [18] враховує змочування поверхні, інтенсивність стоку та проникнення води в ґрунт. Важливим є використання коефіцієнтів, що залежать від типу покриву та узбіччя, а також проникності ґрунту.

Рекомендації [19] спрямовані на регулювання водно-теплового режиму шляхом використання геосинтетичних матеріалів. Основна увага приділяється відведенню надлишкової вологи з основи дорожнього одягу та регулюванню інфільтрації через використання дренажних та фільтруючих систем. [19] орієнтовані на розрахунок величини опадів, що просочуються в узбіччя, з урахуванням стоку з проїзної частини. Методика базується на визначенні шару стоку з поверхні дороги та узбіччя, враховуючи час водовіддачі і коефіцієнти змочування.

Згідно з [18] для визначення середньозважених значень величини надходження інфільтраційної вологи в основу проїзної частини використовують наступний алгоритм розрахунків.

Визначають можливу сумарну тривалість опадів 5 % забезпеченості за статистичними метеорологічними даними за всі $N_{\text{років}}$, що прийняті до розрахунку.

Кількість дощів 5 % забезпеченості:

$$m = \frac{m_{\text{ср}}}{T_{\text{д(ср)}}} \cdot T_{\text{д}}, \tag{4}$$

де $m_{\text{ср}}$ — середня кількість дощів за $N_{\text{років}}$ років;

$T_{\text{д(ср)}}$ — середня сумарна тривалість опадів, хв;

$T_{\text{д}}$, хв. — можлива сумарна тривалість опадів 5 % забезпеченості.

Величину дефіциту вологості повітря визначають за середньорічними даними не менше ніж 5-ти річного періоду і до розрахунку приймають величину 5 % забезпеченості (d, мбар).

Визначають середню інтенсивність дощу (мм/хв) за формулою:

$$i_{\text{д}} = \frac{H_{\text{д(ср)}}}{T_{\text{д(ср)}}}, \tag{5}$$

де $H_{\text{д(ср)}}$ — середньомісячна кількість опадів, мм.

Величину змочування поверхні покриву, (мм) визначають за формулою:

$$H_{\text{зм(п)}} = a_{\text{зм}} \cdot m \cdot \sqrt[3]{d \times \cdot \frac{T' - T_{\text{д}}}{m}},$$
$$H_{\text{зм(п)}} \leq \max H_{\text{зм(п)}} = \max h_{\text{зм}} \cdot m, \tag{6}$$

де T' — тривалість розрахункового періоду, хв;

$a_{зм}$, max $h_{зм}$ — показники змочування поверхні проїзної частини і узбіч, мм (табл. 6.1 [18]).

За $H_{\text{зм(п)}} \geq i_{\text{д}} \cdot T_{\text{д}}$ всі опади ідуть на змочування, проникнення відсутнє. За $H_{\text{зм(п)}} < i_{\text{д}} \cdot T_{\text{д}}$ відбувається проникнення опадів у покриття.

Середня тривалість проникання вологи в покриття за один дощ, хв:

$$t_{\text{вп(п)}} = \frac{i_{\text{д}} \cdot T_{\text{д}} - H_{\text{зм(п)}}}{i_{\text{д}} \cdot m}. \tag{7}$$

Кількість води, що проникає в покрив, мм:

$$H_{\text{вп(п)}} = 0{,}013 \cdot m \cdot \ln\left(1 + a_0 \cdot i_{\text{д}}\right) \cdot 10^{0{,}4\ln t_{\text{вп(п)}}}, \quad (8)$$

де a_o — параметр, що становить 120 для літнього, 100 – для весняного і 80 – осіннього періодів.

Інтенсивність стоку з покриву, (мм/хв) визначають за формулою:

$$i_{\text{ст(п)}} = i_{\text{д}} - \frac{H_{\text{вп(п)}}}{m \cdot t_{\text{вп(п)}}}. \quad (9)$$

Інтенсивність надходження води на узбіччя з урахуванням стоку з проїзної частини, мм/хв:

$$i_{\text{пв}} = i_{\text{д}} + i_{\text{ст(п)}} \cdot \frac{\text{a}}{l}, \quad (10)$$

де a — ширина односкатної або половини двоскатної проїзної частини у бік нахилу, м;

l — довжина узбіччя в бік нахилу, м.

Величина змочування поверхні узбіч, мм:

$$H_{\text{зм}} = a_{\text{зм}} \cdot m \cdot \sqrt[3]{d \cdot \frac{T' - T_{\text{д}}}{m}},$$
$$H_{\text{зм}} \le \max H_{\text{зм}} = \max h_{\text{зм}} \cdot m, \quad (11)$$

де $a_{зм}$, $\max h_{зм}$ — показники змочування поверхні проїзної частини і узбіч, мм (табл. 6.1 [18]).

За $H_{\text{зм}} \ge i_{\text{пв}} \cdot T_{\text{д}}$ вся вода, яка потрапляє на узбіччя, іде на змочування, проникнення відсутнє. За $H_{\text{зм}} < i_{\text{вп}} \cdot T_{\text{д}}$ відбувається проникнення води у ґрунтові узбіччя.

Коефіцієнт проникнення в ґрунт земляного полотна:

$$C = 6000 \cdot \frac{\sqrt[3]{K}}{W_{\text{Т}}^2}\left(1 - \sqrt{\frac{W_{\text{опт}}}{W_{\text{ВП}}}}\right) + 30 \cdot K, \quad (12)$$

де K — коефіцієнт фільтрації ґрунту;

$W_{\text{Т}}$ — вологість на межі текучості ґрунту, %;

$W_{\text{опт}}$ — оптимальна вологість ґрунту, %;

$W_{\text{ВП}}$ — повна вологоємкість ґрунту, %.

Повну вологоємкість ґрунту (%) розраховують за формулою:

$$W_{\text{вп}} = \frac{n \cdot \rho_{\text{в}}}{\rho_s} \cdot 100, \quad (13)$$

де n — пористість ґрунту;

$\rho_{\text{в}}$ — щільність води, г/см^3;

ρ_s — щільність твердих часток ґрунту, г/см^3.

Величини K, W_T, $W_{опт}$, ρ_s визначають експериментально, керуючись положеннями ДСТУ Б В.2.1-12 [24], ДСТУ Б В.2.1-17 [25], ДСТУ Б В.2.1-23 [26].

Визначення інтенсивності проникнення води в узбіччя (мм/хв) виконують за такими формулами:

$$(i_{\text{пв}} \le 0{,}02 \cdot \text{C}), \quad i_{\text{вп}} = i_{\text{пв}},$$
$$(i_{\text{пв}} > 0{,}02 \cdot \text{C}), \quad i_{\text{вп}} = \text{C} \cdot \left(0{,}02 + 10^{0{,}02 + 0{,}68 \cdot \lg \frac{i_{\text{пв}} - i_{\text{вп}}}{\varphi(l)}}\right), \quad (14)$$

де $\varphi(l)$ — функція похилу поверхні (табл. 6.2 [18]).

$$i_{\text{ст}} = i_{\text{пв}} - i_{\text{вп}}. \quad (15)$$

Інтенсивність проникнення визначають методом підбору.

Кількість води, що просочується в узбіччя, мм:

$$H_{\text{вп(у)}} = A_{\text{укр}} \cdot i_{\text{вп}} \cdot \left[T_{\text{д}} - \left(\frac{H_{\text{зм(п)}}}{i_{\text{д}}} - \frac{H_{\text{зм}} - H_{\text{зм(п)}}}{i_{\text{пв}}}\right)\right], \quad (16)$$

де $A_{укр}$ — коефіцієнт, який враховує тип укріплення узбіч (табл. 6.3 [18]).

Згідно з [19] величина опадів, що просочились в узбіччя:

$$I_{\text{уз}} = S + h_{\text{пч}} - h_{\text{уз}}, \quad (17)$$

де $h_{\text{пч}}$ — шар стоку з проїзної частини, мм;

$h_{\text{уз}}$ — шар стоку з узбіч, мм.

Шар стоку з проїзної частини:

$$h_{\text{пч}} = i_{\text{д}} (1 - a_{\text{зм}})\, t_{\text{в}}, \quad (18)$$

де $i_{\text{д}}$ — інтенсивність дощу, мм/хв;

$a_{\text{зм}}$ — коефіцієнт змочування, залежить від покриву проїзної частини або узбіччя: для асфальтобетонного покриву – 0,01; цементобетонного – 0,02; ґрунт – 0,04; трав'яний покрив середньої густини – 0,10; густий трав'яний покрив – 0,15;

$t_{\text{в}}$ — час стоку (водовіддачі), хв.

Час стоку (водовіддачі):

$$t_{\text{в}} = t_{\text{д}} - t_{\text{с}}, \quad (19)$$

де $t_{\text{д}}$ — тривалість дощу, хв;

$t_{\text{с}}$ — час, необхідний для встановлення повного стоку, хв.

Час, необхідний для встановлення повного стоку:

$$t_{\text{с}} = \frac{18{,}6\, b_{\text{с}}^{0,4}}{\left[f(I)\right]^{0,4} m_c^{0,4}}, \quad (20)$$

де $b_{\text{с}}$ — середня довжина стоку (ширина узбіччя), м;

$f(I)$ — функція похилу склону (проїзної частини, узбіччя, укосу) (табл. А.3 [19]);

m_c — коефіцієнт, що враховує шорсткість поверхні (табл. А.4 [19]).

Шар стоку з узбіч:

$$h_{\text{уз}} = q_{\text{уз}}\ t_{\text{д}} / (10^{-3}\ F), \quad (21)$$

де $q_{\text{уз}}$ — витрата стоку з узбіч, мм/хв;

F — площа стоку, ширину при визначенні площі приймаємо 1 м^2.

Розрахунки виконані за двома методиками для вихідних даних: категорія автомобільної дороги — II; матеріал дорожнього покриву — асфальтобетон; узбіччя не укріплене, трав'яний покрив; площа розрахунку — 3,75 м^2; ґрунт супісок — вологість на межі текучості 27 %, оптимальна вологість 20 %, пористість 40 %, щільність часток ґрунту 1,27 г/см^3, коефіцієнт фільтрації 1,25 м/добу; опади — кількість дощів 1, тривалість 30 хв, інтенсивність 1,26 мм/хв. Інші показники вихідних даних отримували як похідні величини від наведених. Наприклад, похил проїзної частини і узбіччя залежать від категорії дороги, а кількість опадів від їхньої тривалості й інтенсивності тощо.

Результати розрахунків показали, що за методикою [18] не можливо розрахувати кількість води, що просочується в узбіччя, оскільки у формулі (14) для визначення інтенсивності проникнення води в узбіччя розрахунки потрібно виконувати методом підбору, для наданих вихідних даних виникає помилка через те, що вираз всередині логарифма став від'ємним.

Висновки

Виконані розрахунки і їхній аналіз дозволяють сформувати наступні твердження:

1. Проведені кореляційні розрахунки показали, що ряди даних про суми опадів з різних джерел мають високий ступінь взаємозв'язку. Коефіцієнти кореляції між рядами даних $X1$ і $X2$ (0,97),

*X*1 і *X*3 (0,91), а також *X*2 і *X*3 (0,88) свідчать про узгодженість даних і можливість їхнього використання для розрахунків, зокрема інфільтрації опадів у ґрунт узбіччя автомобільних доріг. Ці результати підтверджують надійність вибраних даних і дозволяють вважати їх достатньо репрезентативними для подальших досліджень.

2. Порівняння двох методик визначення кількості опадів, що просочилися в ґрунт, виявило їхні ключові переваги та обмеження. Методика, яка викладена у [18] більш детально враховує сезонні зміни та природні процеси, що впливають на інфільтрацію вологи, але залежить від великої кількості параметрів та коефіцієнтів, вимагає точних даних, які можуть бути складними для отримання в польових умовах і обмежена для невеликої кількості дощів. У методиці, яка викладена у [19], зроблено акцент на технічних рішеннях, таких як використання геосинтетичних матеріалів, що дозволяє ефективно контролювати інфільтрацію води, однак вона менш орієнтована на аналіз природних чинників і у ній не враховано вид ґрунту.

3. Результати дослідження показали, що обидві методики можуть бути використані для оцінки інфільтрації опадів у ґрунт залежно від умов проєкту та доступних ресурсів. [18] підходить для проєктів, де необхідно врахувати сезонні кліматичні зміни і природні процеси. [19] є ефективною на ділянках з підвищеним рівнем вологості та складними геологічними умовами, де необхідно застосувати сучасні технічні рішення для регулювання водно-теплового режиму.

У подальших дослідженнях планується врахувати переваги і недоліки обох підходів з метою удосконалення розрахунку інфільтрації опадів у ґрунт земляного полотна автомобільних доріг.

Список літератури

1. Петрович В. В., Касай К. І. Дослідження характеристик опадів для розрахунків поверхневого водовідведення й інфільтрації вологи в ґрунт земляного полотна автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2024. Вип. 119. Ч. 2. С. 137–146.

2. Науково-прикладний довідник з клімату СРСР. Серія 3. Багаторічні дані. Частини 1-6. Випуск 10. Українська РСР. Книга 1. Гідрометиоіздат, 1990. 605 с.

3. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія. Київ, 2011. 127 с. (Інформація та документація).

4. Сіденко В. М. Розрахунок і регулювання водно-теплового режиму дорожніх одягів і земляного полотна. Автотрансіздат, 1962. 116 с.

5. Пузаков М. А., Золотарь І. А., Сіденко В. М., Тулаєв А. Я. Водно-тепловий режим земляного полотна і дорожніх одягів. Транспорт, 1971. 414 с.

6. Сіденко В. М. Автомобільні дороги. Удосконалення методів проектування і будівництва. Будівельник, 1973. 279 с.

7. Савенко В. Я., Каськів В. І. Вплив опадів на розподіл вологості грунтів верхньої частини земляного полотна. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 1997. Вип. 54. С. 6–11.

8. Каськів В. І. Удосконалення показників робочої зони високих насипів з врахуванням інфільтрації атмосферних опадів : дис... канд. техн. наук : 05.22.11. К., 1998. 286 с.

9. Савенко В. Я., Славінська О. С., Стьожка В. В. Індивідуальний підхід при проектуванні дренажів мілкого залягання з урахуванням кліматичних особливостей регіону. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2011. Вип. 80. С. 3–15.

10. Стьожка В. В. Удосконалення методу розрахунку дренажних систем мілкого закладення : дис... канд. техн. наук : 05.22.11. К., 2015. 219 с.

11. Бубела А. В. Дослідження закономірностей зволоження дорожньої конструкції та методи його регулювання. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2019. Вип. 105. С. 44–48. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/105/44.pdf.

12. Savenko V., Kvatadze A., Davydenko O., Stozhka V., Ianchuk L. Forecasting of the moisture mode of the drainage layer of a road structure under the action of a load. Eastern-European. *Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 4, No. 7 (106). P. 62–75. URL: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209421.

13. Бубела А. В. Методологія проектування поперечних дренажів мілкого закладання з оцінкою якісного стану автомобільної дороги: дис... д-ра. техн. наук : 05.22.11. К., 2021. 427 с.

14. Рувинський В. І. Оптимальні конструкції земляного полотна на основі регулювання водно-теплового режиму. Транспорт, 1982. 166 с.

15. Каськів В. І., Гаврищук В. В. Обґрунтування доцільності проєктування систем поверхневого водовідведення, як складової комплексу очисних споруд на автомобільних дорогах. *Дороги і мости*. 2020. Вип. 21. С. 95–109. URL: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.095.

16. Kaskiv V., Havryshchuk V. Mathematical model for the duration of runoff formation determined from the road surface. *Heliyon*. Volume 6, Issue 12, E05687, December 01, 2020 URL: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05687.

17. Солодкий С. Й., Каськів В. І., Гаврищук В. В. Поверхнева концентрація стоку та розрахунковий похил автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2019. Вип. 106. С. 46–53.

18. МР В 2.3-02070915-849:2014 Методичні рекомендації щодо регулювання водно-теплового режиму у межах робочого шару земляного полотна автомобільних доріг. 2014. 61 с. (Інформація та документація).

19. Р В.2.3-218-02070915-755:2009 Рекомендації із застосування геосинтетичних матеріалів при регулюванні водно-теплового режиму дорожньої конструкції. 2009. 13 с. (Інформація та документація).

20. Посібник до ДСТУ 9057:2020 настанова з проєктування та влаштування споруд поверхневого водовідведення на автомобільних дорогах загального користування. К., 2020. 121 с. (Інформація та документація).

21. М 218-02070915-684:2011 Методика визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкого залягання з урахуванням річного циклу роботи. 2011. 26 с. (Інформація та документація).

22. МР В.2.3-37641918-933:2023 Методичні рекомендації з проєктування дорожніх конструкцій з поперечними трубчастими дренажами мілкого закладання на основі дослідження напружено-деформованого стану. 2023. 31 с. (Інформація та документація).

23. Посібник з проектування методів регулювання водно-теплового режиму верхньої частини земляного полотна (до СНиП 2.05.02-85). 1989. 97 с. (Інформація та документація).

24. ДСТУ Б В.2.1-12:2009 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності. 2010. 18 с. (Інформація та документація).

25. ДСТУ Б В.2.1-17:2009 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. 2010. 33 с. (Інформація та документація).

26. ДСТУ Б В.2.1-23:2009 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення коефіцієнта фільтрації. 2010. 19 с. (Інформація та документація).

References

1. Petrovych V. V., Kasai K. I. Doslidzhennia kharakterystyk opadiv dlia rozrakhunkiv poverkhnevoho vodovidvedennia y infiltratsii volohy v grunt zemlianoho polotna avtomobilnykh dorih. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo* (Research of precipitation characteristics for calculations of surface water drainage and moisture infiltration into the soil of road surface). 2024. Vyp. 119. Ch.2. P. 137–146 [in Ukrainian].

2. Naukovo-prykladnyi dovidnyk z klimatu SRSR. Seriia 3. Bahatorichni dani. Chastyny 1-6. Vypusk 10 (Scientific and applied handbook on the climate of the USSR. Series 3. Long-term data). Ukrainska RSR. Knyha 1. Hidrometyoizdat, 1990. 605 p. [in Ukrainian].

3. DSTU-N B V.1.1-27:2010 Budivelna klimatolohiia (Building climatology). Minrehionbud Ukrainy, 2011. 127 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia). [in Ukrainian].

4. Sidenko V. M. Rozrakhunok i rehuliuvannia vodno-teplovoho rezhymu dorozhnikh odiahiv i zemlianoho polotna (Calculation and regulation of the water-thermal regime of road surfaces and ground surface). *Avtotransizdat*, 1962. 116 p. [in Ukrainian].

5. Puzakov M. A., Zolotar I. A., Sidenko V. M., Tulaiev A. Ia. Vodno-teplovyi rezhym zemlianoho polotna i dorozhnikh odiahiv (Water-heat mode of the ground surface and road clothing). Transport, 1971. 414 p. [in Ukrainian].

6. Sidenko V. M. Avtomobilni dorohy. Udoskonalennia metodiv proektuvannia i budivnytstva (Automobile roads. Improvement of design and construction methods). Budivelnyk, 1973. 279 p. [in Ukrainian].

7. Savenko V. Ia., Kaskiv V. I. Vplyv opadiv na rozpodil volohosti hruntiv verkhnoi chastyny zemlianoho polotna. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo* (The influence of precipitation on the distribution of soil moisture in the upper part of the subsoil). 1997. Vyp. 54. P. 6–11 [in Ukrainian].

8. Kaskiv V. I. Udoskonalennia pokaznykiv robochoi zony vysokykh nasypiv z vrakhuvanniam infiltratsii atmosfernykh opadiv (Improvement of indicators of the working zone of high embankments, taking into account the infiltration of atmospheric precipitation) : dys... kand. tekhn. nauk : 05.22.11. K., 1998. 286 p. [in Ukrainian].

9. Savenko V. Ia., Slavinska O. S., Stozhka V. V. Indyvidualnyi pidkhid pry proektuvanni drenazhiv milkoho zaliahannia z urakhuvanniam klimatychnykh osoblyvostei rehionu (An individual approach to the design of shallow drainages taking into account the climatic features of the region). *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. 2011. Vyp. 80. P. 3–15 [in Ukrainian].

10. Stozhka V. V. Udoskonalennia metodu rozrakhunku drenazhnykh system milkoho zakladennia (Improvement of the calculation method of drainage systems of shallow laying) : dys... kand. tekhn. nauk : 05.22.11. K., 2015. 219 p. [in Ukrainian].

11. Bubela A. V. Doslidzhennia zakonomirnostei zvolozhennia dorozhnoi konstruktsii ta metody yoho rehuliuvannia. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo* (Study of patterns of moistening of the road structure and methods of its regulation). 2019. Issue 105. P. 44–48. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/105/44.pdf [in Ukrainian].

12. Savenko V., Kvatadze A., Davydenko O., Stozhka V., Ianchuk L. Forecasting of the moisture mode of the drainage layer of a road structure under the action of a load. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 4, No. 7 (106). P. 62–75. URL: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209421 [in Ukrainian].

13. Bubela A. V. Metodolohiia proektuvannia poperechnykh drenazhiv milkoho zakladannia z otsinkoiu yakisnoho stanu avtomobilnoi dorohy (Methodology for the design of transverse drains of shallow laying with an assessment of the quality condition of the road): dys... d-ra. tekhn. nauk : 05.22.11. K., 2021. 427 p. [in Ukrainian].

14. Ruvynskyi V. I. Optymalni konstruktsii zemlianoho polotna na osnovi rehuliuvannia vodno-teplovoho rezhymu (Optimal constructions of the ground surface based on the regulation of the water-heat regime). Transport, 1982. 166 p. [in Ukrainian].

15. Kaskiv V. I., Havryshchuk V. V. Obgruntuvannia dotsilnosti proiektuvannia system poverkhnevoho vodovidvedennia, yak skladovoi kompleksu ochysnykh sporud na avtomobilnykh dorohakh (Justification of the expediency of designing surface drainage systems as a component of the complex of treatment facilities on highways). *Dorohy i mosty*. 2020. Issue 21. P. 95–109. URL: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.095 [in Ukrainian].

16. Kaskiv V., Havryshchuk V. Mathematical model for the duration of runoff formation determined from the road surface. *Heliyon*. Volume 6, Issue 12, E05687, December 01, 2020 URL: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05687 [in English].

17. Solodkyi S. I., Kaskiv V. I., Havryshchuk V. V. Poverkhneva kontsentratsiia stoku ta rozrakhunkovyi pokhyl avtomobilnykh dorih (Surface concentration of runoff and calculated slope of highways.). *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. 2019. Issue 106. P. 46–53 [in Ukrainian].

18. MR V 2.3-02070915-849:2014 Metodychni rekomendatsii shchodo rehuliuvannia vodno-teplovoho rezhymu u mezhakh robochoho sharu zemlianoho polotna avtomobilnykh dorih (Methodological recommendations for regulating the water-heat regime within the working layer of the road surface). 2014. 61 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

19. R V.2.3-218-02070915-755:2009 Rekomendatsii iz zastosuvannia heosyntetychnykh materialiv pry rehuliuvanni vodno-teplovoho rezhymu dorozhnoi konstruktsii (Recommendations for the use of geosynthetic materials in regulating the water-thermal regime of the road structure). 2009. 13 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

20. Posibnyk do DSTU 9057:2020 nastanova z proiektuvannia ta vlashtuvannia sporud poverkhnevoho vodovidvedennia na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia (guidelines for the design and installation of surface water drainage facilities on public highways). K., 2020. 121 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

21. M 218-02070915-684:2011 Metodyka vyznachennia propusknoi zdatnosti drenazhnoi konstruktsii milkoho zaliahannia z urakhuvanniam richnoho tsyklu roboty (Methodology for determining the throughput capacity of a shallow drainage structure taking into account the annual work cycle). 2011. 26 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

22. MR V.2.3-37641918-933:2023 Metodychni rekomendatsii z proiektuvannia dorozhnikh konstruktsii z poperechnymy trubchastymy drenazhamy milkoho zakladannia na osnovi doslidzhennia napruzheno-deformovanoho stanu (Methodical recommendations for the design of road structures with transverse tubular drains of shallow laying based on the study of the stress-strain state). 2023. 31 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

23. Posibnyk z proektuvannia metodiv rehuliuvannia vodno-teplovoho rezhymu verkhnoi chastyny zemlianoho polotna (Guide to the design of methods of regulating the water-thermal regime of the upper part of the earth bed) (do SNyP 2.05.02-85). 1989. 97 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

24. DSTU B V.2.1-12:2009 Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Metod laboratornoho vyznachennia maksymalnoi shchilnosti (Foundations and foundations of buildings and structures. Soils. Method of laboratory determination of maximum density). 2010. 18 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

25. DSTU B V.2.1-17:2009 Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Metody laboratornoho vyznachennia fizychnykh vlastyvostei (Foundations and foundations of buildings and structures. Soils. Method of laboratory determination of maximum density). 2010. 33 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

26. DSTU B V.2.1-23:2009 Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Metody laboratornoho vyznachennia koefitsiienta filtratsii (Foundations and foundations of buildings and structures. Soils. Methods of laboratory determination of the filtration coefficient). 2010. 19 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

Volodymyr Kaskiv[1], *Ph.D., Associate Prof., https://orcid.org/0000-0002-8074-6798*
Kostiantyn Kasai[2], *https://orcid.org/0000-0003-3292-3339*

[1]*State Enterprise "National Institute for Development Infrastructure" (SE "NIDI"), Kyiv, Ukraine*
[2]*National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine*

ANALYSIS OF APPROACHES TO ASSESSING RAINWATER INFILTRATION INTO ROADSIDE SOILS

Abstract

Introduction. The article investigates the impact of atmospheric precipitation on road structures, specifically focusing on water infiltration into the roadside soil along highways, which is a critical aspect of road infrastructure maintenance. Ensuring the reliable operation of the roadway is becoming increasingly important due to rising traffic loads and climate changes that result in increased precipitation. Continuous moisture penetration into the road embankment can lead to road degradation, creating risks for safe traffic movement and necessitating frequent repairs. It is essential to develop and implement effective methods for assessing moisture infiltration into the soil, which will help ensure the longevity and cost-efficiency of road operation.

Problem Statement. With climate change and increasing intensity of precipitation, the issue of assessing its impact on road structures becomes more relevant. Moisture accumulation in the road embankment can disrupt the stability of the soil foundation, reducing the load-bearing capacity of the road surface. Research aimed at analyzing rainfall infiltration and its effect on road structures will allow the implementation of effective solutions to maintain the operational condition of roads.

Objective. The objective of this study is to compare two main methods for assessing the amount of precipitation infiltrating the roadside soil along highways, taking into account different climatic and geological conditions. The research aims to identify the advantages and limitations of each method for further application in road engineering practice to ensure the reliability of road infrastructure.

Materials and Methods. The study utilized statistical methods to analyze precipitation data from various sources, calculating Pearson correlation coefficients. This allowed an assessment of the relationship between precipitation data and its impact on roadside soil. Additionally, the study compared two methodologies: the method of regulating the hydrothermal regime of road structures, which accounts for seasonal climatic changes, and the method of using geosynthetic materials to control water infiltration.

Results. Data analysis showed that all three sets of meteorological data have a high degree of correlation, indicating consistency across different sources and their suitability for scientific calculations. The comparison of methods revealed that the method of regulating the hydrothermal regime takes into account natural and seasonal factors affecting the moisture infiltration process, but its application is complex due to the large amount of input data required and the need for parameter adjustments to achieve accurate results. The method involving the use of geosynthetic materials proved to be more effective in conditions of increased moisture and in areas with complicated geological conditions, as it allows for better control of water ingress into the roadside using modern technical solutions.

Conclusions. The study concluded that both methods can be effectively applied to assess precipitation infiltration into roadside soil depending on the specific project conditions. The method of regulating the hydrothermal regime is more suitable for projects where seasonal climate changes and natural processes need to be considered. On the other hand, the geosynthetic materials method is more effective in areas with high moisture levels and complex geological conditions. The research results will contribute to improving design solutions for road operation in the context of climate change and enhancing the resilience of road structures to the effects of precipitation. Further research should focus on improving existing methodologies and developing new approaches to increase the reliability of road structures.

Keywords: highway, moisture, soil, rain, embankment, precipitation, roadside.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.264

УДК 338.5:625.7/.8

Гуков М. І., *канд. техн. наук*, *https://orcid.org/0009-0002-4241-1417*
Дуля М. В., *https://orcid.org/0000-0002-1916-8642*

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

ДО ПРОБЛЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОЙДЕНОГО ШЛЯХУ ДЛЯ РОЗРАХУВАННЯ ПЛАТИ ЗА ПРОЇЗД АВТОМОБІЛЬНИМИ ДОРОГАМИ

Анотація

Вступ. У світовій практиці широко використовують різноманітні системи безконтактної ідентифікації транспортних засобів на автомобільних дорогах. Вони вирішують велику кількість різноманітних проблем від обліку руху транспортних потоків, справляння плати за використання автомобільних доріг, до виділення місць для паркування та цифрової ідентифікації. Ключову роль в реалізації транспортної стратегії держави відіграє розвиток транспортної інфраструктури, найважливішою складовою якої є мережа автомобільних доріг загального користування державного значення, що зазнала руйнувань внаслідок повномасштабного вторгнення російської федерації. Від цієї мережі залежить логістика обороноздатності країни, ефективність роботи промисловості та сільського господарства, забезпечення належного рівня комунікації в суспільстві. Основним джерелом фінансування дорожнього господарства є Дорожній фонд, який формується з надходжень від акцизного збору та ввізного мита на нафтопродукти, акцизного збору та ввізного мита з імпортованих на митну територію України транспортних засобів і шин до них.

Проблематика. Для збільшення надходжень до державного бюджету необхідно запровадити соціально справедливу плату за проїзд великовантажних транспортних засобів з максимально дозволеною загальною масою 12 тонн і більше на автомобільних дорогах загального користування, оскільки знос дорожнього покриву при експлуатуванні, що спричиняють вантажівки, значно більший ніж від проїзду інших видів транспорту. Плата за проїзд має стягуватись відповідно до шкоди завданої транспортним засобом автомобільним дорогам, що потребує розроблення схеми розташування терміналів збирання даних про рух транспортних засобів (далі — термінал) на автомобільних дорогах загального користування державного значення та алгоритмів визначення пройденого шляху.

Мета. Розроблення підходу до визначення пройденого шляху транспортними засобами, зокрема вантажними транспортними засобами загальною масою 12 тонн і більше при впроваджені системи справляння плати за проїзд.

Матеріали та методи. У статті використані методи комплексного і системного аналізу, абстрактно-логічний, графічний, статистичний, розрахунково-конструктивний, порівняльний аналіз, експертних оцінок.

Результати. Розроблено принципову схему розташування терміналів на автомобільних дорогах загального користування державного значення, а також алгоритми нарахування пробігу транспортних засобів, зокрема і вантажних транспортних засобів загальною масою 12 тонн і більше.

Висновки. Розроблення принципової схеми розташування терміналів на автомобільних дорогах загального користування державного значення, а також формування матриці зв’язків і матриці відстаней, алгоритмів нарахування пробігу транспортних засобів. Це посприяє подальшому запровадженню системи справляння плати за проїзд великовантажних транспортних засобів з максимально дозволеною загальною масою 12 тонн і більше на автомобільних дорогах загального користування.

Ключові слова: автомобільна дорога, безконтактна ідентифікація, вантажний автомобіль, геопросторові дані, плата за проїзд, пройдений шлях.

Вступ

Ключову роль в реалізації транспортної стратегії держави відіграє розвиток транспортної інфраструктури, найважливішою складовою якої є мережа автомобільних доріг загального користування державного значення, що зазнала руйнувань внаслідок повномасштабного вторгнення російської федерації. Від цієї мережі залежить логістика обороноздатності країни, ефективність роботи промисловості та сільського господарства, забезпечення належного рівня комунікації в суспільстві. Розвиток автомобільних доріг загального користування відстає від темпів автомобілізації країни та зміни характеристик транспортних потоків, а модернізація, в основному, здійснюється шляхом підсилення дорожнього одягу та розширення проїзної частини. Стрімкий розвиток автомобілізації додав ще одну складну проблему — затори на автомобільних дорогах, особливо в великих містах і на підходах до них.

Через накопичене недофінансування впродовж десятиліть, існуюча дорожня мережа не відповідає сучасним технічним вимогам, а дорожня галузь має наразі наступні негативні наслідки:

— незадовільний технічний стан автомобільних доріг;
— низький рівень безпеки дорожнього руху;
— відсутність можливості розвитку існуючої мережі автомобільних доріг відповідно до інтенсивності руху транспортних засобів і вантажних перевезень;
— невикористання транзитного потенціалу країни в повній мірі;
— застаріле технічне оснащення дорожньої галузі.

Основним джерелом фінансування дорожнього господарства є Дорожній фонд, який формується з надходжень від акцизного збору та ввізного мита на нафтопродукти, акцизного збору та ввізного мита з імпортованих на митну територію України транспортних засобів і шин до них.

У багатьох європейських країнах (Швейцарія, Німеччина, Австрія, Словаччина, Чехія, Польща та інші) додатково до Дорожнього фонду уже впроваджена система справляння плати за проїзд транспортних засобів для відшкодування шкоди, завданої автомобільним дорогам. Залежно від стану національної економіки, такою «транспортною даниною» обкладають або закордонні транспортні засоби, або вантажівки від 3 т, 5 т, 12 т і більше їх повної маси.

Аналізування руйнуючого впливу різних типів транспортних засобів на автомобільні дороги встановлено, що в Україні плату доцільно стягувати з транспортних засобів повною масою 12 тонн і більше, оскільки саме вони мають тенденцію до перевантаження та завдають найбільшу шкоду покриттю. На сьогодні в Україні відсутні нормативно-правові акти, що регулюють технічні аспекти створення і функціонування системи справляння плати за використання автомобільних доріг загального користування цими транспортними засобами.

Основна частина

Електронна інформаційна система справляння плати за використання автомобільних доріг загального користування транспортними засобами є автоматизованою системою, включає в себе програмно-технічні комплекси та інженерно-технічні споруди, призначені для збирання соціально справедливої плати в рахунок компенсації шкоди, заподіяної існуючим автомобільним дорогам великовантажними транспортними засобами.

Система повинна забезпечувати моніторинг (відстеження та аналіз просторових і часових координат) автомобільного транспорту з дозволеною максимальною масою понад заданий тоннаж, що здійснює рух по заданій мережі автомобільних доріг, з можливістю складання зведених аналітичних звітів і візуалізації накопиченої інформації. Для верифікації даних, систему доцільно інтегрувати з іншими інтелектуальними транспортними системами, що використовуються державними органами в транспортній галузі. На сьогодні такими системами є Система реєстраційного обліку транспортних засобів МВС, Система обліку транспортних засобів державної митної служби, мережа пунктів зважування у русі (WIM та Bridge WIM), мережа пунктів контролю швидкісного режиму. Нажаль, Система обліку інтенсивності руху та складу транспортних потоків занепала і фактично не функціонує.

Плату за пройдену відстань можна нараховувати залежно від сукупності наступних факторів:

— типу транспортного засобу;

— пройденої відстані;

— технічних і споживчих якостей доріг.

Таким чином, розмір плати за проїзд можна визначити за формулою:

$$П_m = \sum_{i=1}^{m} l_i \cdot k_i^к \cdot k_i^п \cdot k_i^р,$$

де $П_m$ — розмір плати за проїзд m ділянок автомобільних доріг, грн;

l_i — довжина i-тої ділянки, км;

$k_i^к$, $k_i^п$, $k_i^р$ — коригувальні коефіцієнти тарифу проїзду 1 км ділянки автомобільної дороги, відповідно, залежно від категорії, типу покриву та стану покриву i-тої ділянки автомобільної дороги;

m — кількість ділянок автомобільних доріг, пройдених конкретним транспортним засобом за унормований період часу стягнення плати.

Враховуючи наведене, виникає потреба у розробленні принципової схеми розташування терміналів збирання даних про рух транспортних засобів на автомобільних дорогах загального користування державного значення, а також формування матриці відстаней на перегонах та зв'язків на перехрестях, розроблення алгоритмів нарахування пробігу певного типу транспортних засобів, наприклад повною паспортною вагою 12 тонн і більше.

Терміналом збирання даних про рух транспортних засобів (далі — термінал) — є комплекс програмно-апаратних засобів і будівельних конструкцій, які дозволяють:

— дистанційно, без зупинки руху, ідентифікувати кожний транспортний засіб, який рухається в певному напрямку;

— сповістити в Центр обробки даних про факт проходження конкретного транспортного засобу, через поперечний переріз конкретної лінійної прив'язки конкретної автомобільної дороги, в конкретний час та в конкретному напрямку.

Відповідно до постанови Кабінету міністрів України «Про Правила дорожнього руху» [3] визначено наявність самоклейкої мітки радіочастотної ідентифікації транспортного засобу — RFID. З використанням цієї технології може бути побудована не лише система справляння плати з вантажних автомобілів різної вантажопідйомності, але і система контролю за рухом вантажних автомобілів під час погодних обмежень руху, національна система обліку руху транспортних потоків, а також різноманітних комерційних систем дозволу в'їзду-виїзду, тощо.

Для такого обліку на транспортний засіб встановлюють виключно неактивні радіочастотні мітки — електронний пристрій, який при опроміненні модулює радіочастотну хвилю та передає завжди однакову інформацію — власний унікальний номер. Вся інша інформація стосовно транспортного засобу, на який встановлена радіочастотна мітка попередньо заноситься до бази даних.

Згідно [4] пункти обліку необхідно розташовувати в місцях чітко вираженої зміни інтенсивності руху:

— поза межами населених пунктів, на підходах до населених пунктів із населенням понад 20 тис. мешканців, обласних та районних центрів, адміністративних центрів, вантажо- і пасажироутворювальних комплексів;

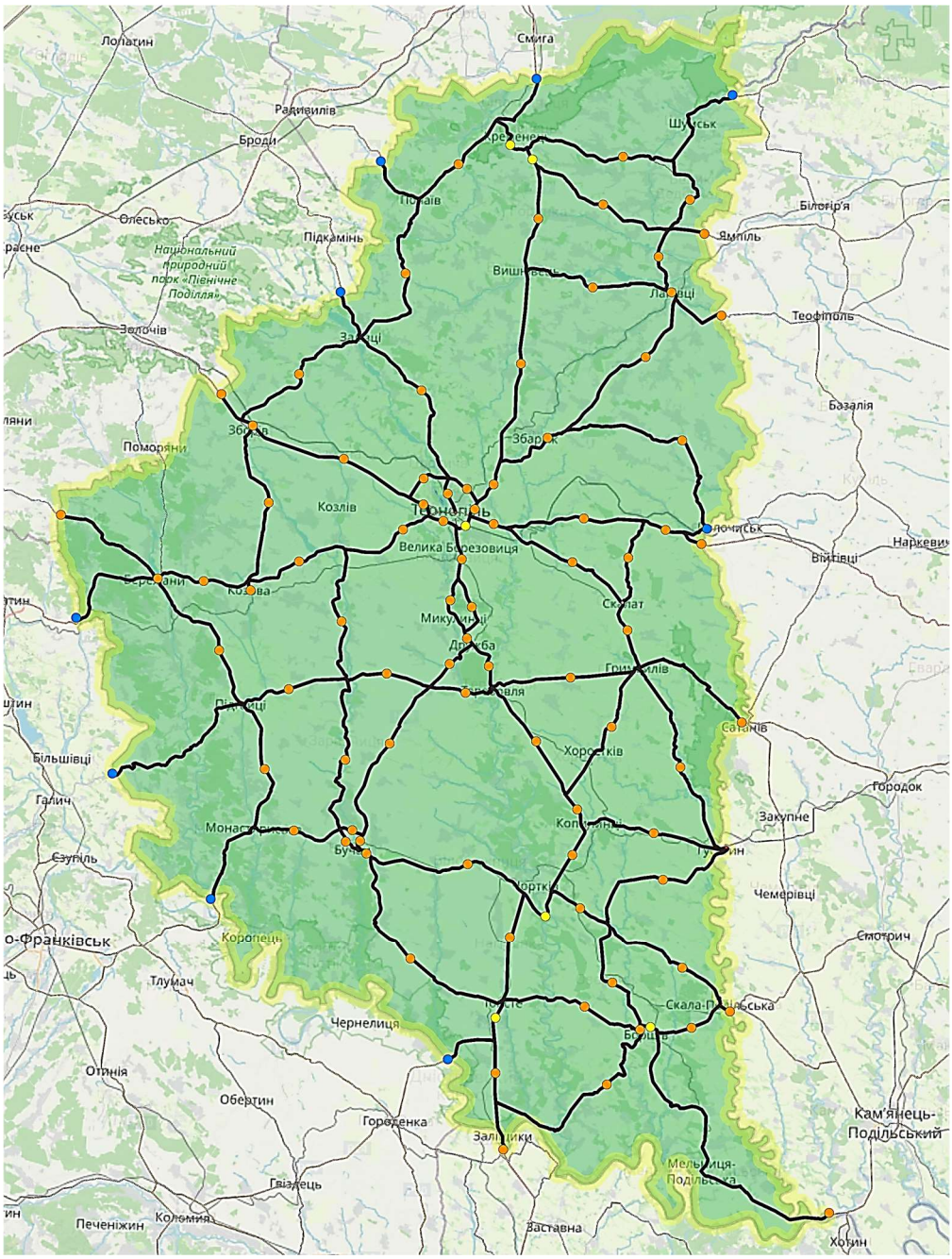
— у місцях перетину або примикання автомобільних доріг державного значення;

— у місцях перетину з іншими автомобільними дорогами, де очікується зміна загальної інтенсивності руху транспортного потоку або його складу на 15 % і більше.

Спрощено це можна звести до однієї умови — термінали мають бути розташовані на перегонах між вузлами (перехрещеннями) на мережі автомобільних доріг загального користування державного значення.

Для розроблення проєкту розташування терміналів в межах окремої області доцільно використовувати результати вже проведених робіт з визначення просторових координат автомобільних доріг загального користування державного значення.

Приклад розташування терміналів і безконтактною радіочастотною технологією на автомобільних дорогах державного значення в межах Тернопільської області наведено на **рис. 1**.



— розташування термінала;
— розташування термінала на суміщених ділянках автомобільних доріг;
— розташування термінала на межі областей, статистично віднесений до іншої області.

Рисунок 1 — Карта-схема автомобільних доріг державного значення та схема терміналів у межах Тернопільської області

Зазначену схему розташування терміналів у межах області сформовано на основі наступних правил:

— кожний термінал має унікальний номер, який починається з двозначного ідентифікатора (порядкового номеру) області;

— розташування та нумерацію терміналів здійснюють у послідовності: М, Н, Р та Т. Тому в межах кожного індексу дороги нумерацію формують від меншого номера — до більшого номера та в межах однієї дороги — за напрямком руху;

— якщо автомобільна дорога, за напрямком руху, «приходить» із суміжної області, то на даному перегоні термінал влаштовують на межі областей, його статистично відносять до області, з якої автомобільна дорога «прийшла».

— на сумісних ділянках, термінали статистично відносять до автомобільної дороги з вищим індексом;

— якщо на перегоні влаштовані ділянки з різною кількістю смуг руху, то термінал розташовують у місці з мінімальною кількістю смуг;

— якщо довжина перегону менша або рівна 1 км, термінал не влаштовують, а його облікову довжину додають до будь-якого суміжного, а характеристики транспортного потоку вважаються рівними характеристикам на перегоні, з яким відбулось об'єднання.

Результати в межах області можуть надаватися у вигляді зведеної таблиці із координатами розташування терміналів та наведені в **табл. 1** та **табл. 2**

У зведеній таблиці надають: унікальний номер термінала; орієнтовне місце встановлення термінала (у координатній і лінійні прив'язці); кількість смуг руху в поперечному перерізі, що обслуговуються терміналом; межі перегону та його облікова довжина; назва області з якої прийшла дорога (або в яку переходить дорога); прогнозована кількість антен та контролерів-зчитувачів, кількість будівельних несних рамних конструкцій тощо. У подальшому місцеположення терміналів має бути уточнене залежно від реальної можливості підключення до електромережі та мережі Інтернет.

Матриця довжин перегонів будується окремо для кожної області на основі даних **табл. 1**, за умови, що:

— сторонами матриці є послідовність номерів терміналів і відносяться тільки до одного регіону;

— номери терміналів визначені однозначно, без дублювання на суміщених ділянках / перегонах;

— діагональ матриці є неперервною та відображає довжини перегонів між початковим і кінцевим пунктами перетину / примикання доріг;

— значення довжин перегонів завжди додатні.

Оскільки довжини перегонів у прямому та зворотному напрямку руху можуть відрізнятися, окремо створюються регіональні матриці довжин зв'язків на перехрестях.

Величини вузлових зв'язків доцільно визначати для транспортних розв'язок у різних рівнях, кільцевих транспортних розв'язок в одному рівні, транспортних розв'язок в одному рівні з віднесеним поворотом ліворуч і транспортних розв'язок в одному рівні з каналізованими поворотами праворуч. Окремі схеми визначення довжини вузлових зв'язків зображено на **рис. 2**.

Таблиця 1

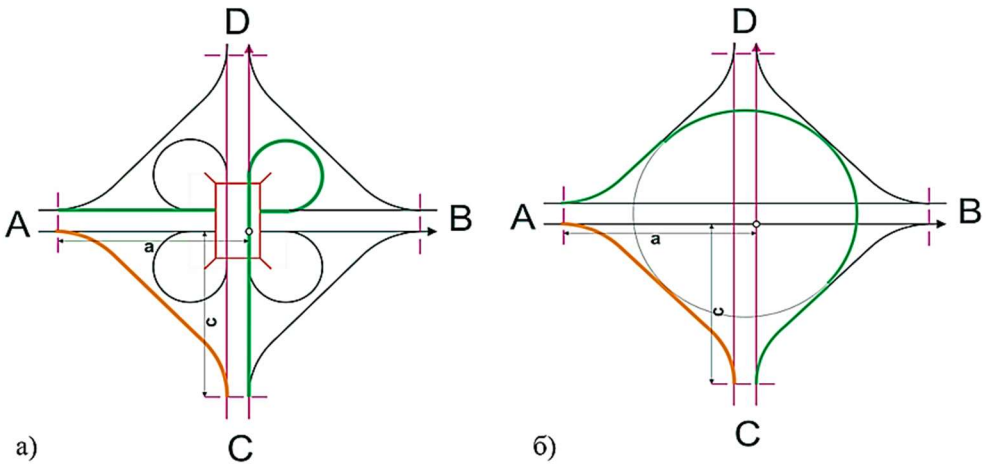
Характеристики терміналів в межах Тернопільської області

Ч.ч.	Індекс дороги	Найменування автомобільної дороги	Кіл-кість смуг руху	Розташування терміналу				Початок перегону				Кінець перегону				Облікова довжина перегону, км
				Лінійна прив'язка, км+	Координати у системі УСК-2000		Н	Лінійна прив'язка, км+	Координати у системі УСК-2000		Н	Лінійна прив'язка, км+	Координати у системі УСК-2000		Н	
					X	Y			X	Y			X	Y		
1	М-09	Тернопіль – Львів – Рава-Руська (на м. Люблін)	2	2+536	5493631,42	5393344,84	363,74	0+000	5491928,13	5394738,22	347,52	4+460	5494448,31	5391613,60	371,69	4,46
2			4	18+553	5500959,13	5379288,87	356,52	4+460	5494448,31	5391613,60	371,69	32+377	5505800,88	5366751,06	353,57	27,92
3			4	33+949	5506625,72	5365453,84	353,54	32+377	5505800,88	5366751,06	353,57	34+733	5506889,66	5364716,26	375,04	2,36
4			2	40+328	5511090,89	5361174,79	382,82	34+733	5506889,66	5364716,26	375,04	Львівська область				
5	М-30	Стрий – Умань – Дніпро – Ізварине (через мм. Вінницю, Кропивницький)	2	78+252	5474811,30	5338619,58	264,78	Львівська область				95+955	5481436,71	5350574,65	273,43	95,96
6			2	96+391	5481531,05	5350998,39	270,54	95+955	5481436,71	5350574,65	273,43	96+725	5481679,96	5351296,63	269,75	0,77
7			2	104+293	5480982,35	5358189,88	350,86	96+725	5481679,96	5351296,63	269,75	112+473	5486173,83	5365788,93	370,21	15,75
8			2	123+933	5484902,87	5375663,05	356,71	112+473	5481173,83	5365788,93	370,21	130+316	5486113,74	5381448,48	335,99	17,84
9			2	141+193	5489398,42	5390516,20	347,36	130+316	5486113,74	5381448,48	335,99	146+123	5491439,48	5394821,71	344,81	15,81
10			4	1481+19	5490865,75	5396704,36	344,96	146+123	5491439,48	5394821,71	344,81	150+779	5489782,09	5399094,67	328,87	4,66
11			2	152+675	5490016,15	5400757,40	358,29	150+779	5489782,09	5399094,67	328,87	154+278	5491451,22	5401403,62	346,45	3,50
12			2	157+360	5490445,70	5404310,17	330,45	154+278	5491451,22	5401403,62	346,45	160+170	5489601,32	5406980,42	311,82	5,89
13			2	172+999	5491147,47	5419230,02	344,21	160+170	5489601,32	5406980,42	311,82	183+295	5490729,92	5429380,98	317,42	23,13
14			2	186+692	5489395,67	5432451,52	339,96	183+295	5490729,92	5429380,98	317,42	189+901	5488854,10	5435548,24	317,82	6,61
15			2	193+290	5487099,97	5438267,72	274,98	189+901	5488854,10	5435548,24	317,82	Хмельницька область				
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
94	Т-20-13	Почаїв – Збориів	2	14+475	5530446,82	5391190,60	367,75	0+000	5542409,90	5393163,34	367,44	30+977	5520121,04	5383637,40	322,98	30,98
95			2	42+511	5515547,05	5374399,10	338,44	30+977	5520121,04	5383637,40	322,98	57+145	5506944,11	5364729,07	374,95	26,17
96	Т-20-15	Борщів – Заліщики	2	15+732	5399218,25	5422071,75	287,13	0+000	5408423,78	5428813,70	268,61	37+420	5397381,76	5405486,86	296,17	37,42
97	Т-20-16	Бучач – Товсте	2	20+765	5420240,71	5392007,25	336,36	0+000	5436778,46	5385487,76	341,52	37+919	5413540,24	5406633,83	279,67	37,92
98	Т-20-17	Гримайлів – Яблунів	2	10+690	5457358,34	5423295,98	312,54	0+000	5466446,54	5427641,03	299,40	23+917	5446941,66	5416604,10	312,40	23,92
99	Т-20-18	Збориів – Козова	2	12+993	5494265,81	5369051,72	366,63	0+000	5505220,07	5366141,16	340,11	27+182	5481176,08	5365787,42	370,47	27,18
100			2	27+968	5480396,70	5365802,27	360,14	27+182	5481176,08	5365787,42	370,47	28+681	5479716,05	5365987,34	355,52	1,50
101	Т-20-19	/М-30/ (Кам'янки) – Скалат	2	6+868	5484874,63	5426697,23	353,42	0+000	5490725,44	5429378,34	317,95	15+341	5477600,67	5425827,90	320,02	15,34
102	Т-20-20	/М-19/ (Мишковичі) – Дружба	2	5+008	5476772,04	5397892,89	331,50	0+000	5481280,89	5399350,23	349,03	9+784	5473066,88	5400435,18	323,15	9,78
103	Т-23-12	Гусятин – Городок	2	0+063	5438326,11	5442516,62	231,66	0+000	5438262,78	5442517,42	231,59	Хмельницька область				
104	Т-23-20	/М-30/ – Волочиськ – Підволочиськ	2	16+200	5489563,95	5439205,57	277,80	Хмельницька область				0+220	5489563,95	5439205,57	277,80	

Таблиця 2

Узагальнена інформація про термінали в межах Тернопільської області

Всього терміналів, шт.	Суміщених терміналів, шт.	Віднесених до інших областей, шт.	Облікова кількість терміналів, шт.	Кількість смуг руху			Кількість RFID антен, шт.	Кількість RFID зчитувачів, шт.
				4	3	2		
104	6	9	89	6	–	83	190	89



— елементи, які реалізують вузловий зв'язок напрямку руху A – C;
— елементи, які реалізують вузловий зв'язок напрямку руху C – A.

Рисунок 2 — Схеми визначення довжини вузлових зв’язків на транспортних розв’язках: (а) лист конюшини та (б) типу «кільце»

Довжини вузлових зв’язків транспортних розв’язок можуть бути «нульовими» або мати додатне (**рис. 2**, напрямок C – A) чи від’ємне (**рис. 2**, напрямок A – C) значення.

Для інших видів примикань або перехрещень величини вузлових зв’язків є незначними і ними можливо знехтувати, а у матриці довжин вноситься довжина в 1 м (на відміну від цифри 0, яка вказує на відсутність зв’язку між даними перегонами).

Якщо в місці перетину / примикання починається / закінчується одна з доріг державного значення, то додаткова величина вузлового зв’язку буде дорівнювати довжині відповідного з’їзду.

Зберігання та накопичування отриманих даних щодо проходження конкретного транспортного засобу зони відстеження терміналів здійснюється у персональному кабінеті конкретного транспортного засобу. Такий персональний кабінет створюють автоматично при реєстрації транспортного засобу.

Пройдений шлях розраховують як довжину перегону дороги (з урахуванням напрямку руху), на якому розташований даний термінал. Розрахунок пройденого шляху транспортним засобом визначають залежно від послідовності пройдених терміналів, а нарахування плати за проїзд здійснюють з урахуванням споживчих якостей і категорії ділянок автомобільних доріг.

Висновки

Було проведено обґрунтування принципів розроблення схеми розташування терміналів збирання даних про рух транспортних засобів на автомобільних дорогах загального користування державного значення на основі просторових даних. Також висвітлено формування

матриці зв'язків і матриці відстаней, алгоритмів визначення пробігу транспортних засобів, а також критеріїв для встановлення величини справляння плати за проїзд залежно від технічної категорії та транспортно-експлуатаційного стану автомобільної дороги.

Розроблена схема розташування терміналів забезпечить можливість збирання достовірної та актуальної інформації про склад транспортних потоків та інтенсивність руху на основі технології безконтактної ідентифікації; а також можливість запровадження системи справляння плати за використання автомобільних доріг вантажними транспортними засобами для збільшення надходжень до державного бюджету, що сприятиме розвитку мережі автомобільних доріг та їхнього утриманню в належному експлуатаційному стані.

Список літератури

1. Про мультимодальні перевезення: Закон України від 17.11.2021 № 1887-IX (в поточній редакції) // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1887-20#Text (дата звернення 25.09.2025).
2. Про концесію: Закон України від 03.2029 № 155-IX в редакції від 31.03.2023 № 2849-IX // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/155-20#Text (дата звернення 25.09.2025).
3. Про Правила дорожнього руху: Постанова Кабінету Міністрів України від 10.10.2021 № 1306 в редакції від 04.05.2024 № 1128-2023-п // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/155-20#Text (дата звернення 25.09.2025).
4. ДСТУ 8824:2019 Автомобільні дороги. Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку. Київ, 2019. 62 С. (Інформація та документація).
5. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015. 45 С. (Інформація та документація).
6. СОУ 42.1-37641918-122:2014 Вимоги до комплексу робіт з інформаційного забезпечення (зі Зміною №1). Київ, 2014. 49 С. (Інформація та документація).

References

1. Pro multymodalni perevezennia: Zakon Ukrainy (About multimodal transportation) vid 17.11.2021 No. 1887-IKh (v potochnii redaktsii) // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1887-20#Text (data zvernennia 25.09.2025) [in Ukrainian].
2. Pro kontsesiiu: Zakon Ukrainy (About the concession) vid 03.2029 № 155-IKh v redaktsii vid 31.03.2023 No. 2849-IKh // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/155-20#Text (data zvernennia 25.09.2025) [in Ukrainian].
3. Pro Pravyla dorozhnoho rukhu: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy (About Traffic Rules) vid 10.10.2021 No. 1306 v redaktsii vid 04.05.2024 No. 1128-2023-p // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/155-20#Text (data zvernennia 25.09.2025) [in Ukrainian].
4. DSTU 8824:2019 Avtomobilni dorohy. Vyznachennia intensyvnosti rukhu ta skladu transportnoho potoku (Motorways. Determination of traffic intensity and composition of traffic flow). Kyiv, 2019. 62 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
5. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo (Motor roads. Part I. Design. Part II. Construction). Kyiv, 2015. 45 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
6. SOU 42.1-37641918-122:2014 Vymohy do kompleksu robit z informatsiinoho zabezpechennia (zi Zminoiu №1) (Requirements for the complex of information support works (with Amendment No. 1)). Kyiv, 2014. 49 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

Mukola Hukov, *Ph.D., https://orcid.org/0009-0002-4241-1417*
Mykhailo Dulia, *https://orcid.org/0000-0002-1916-8642*

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

ON THE ISSUE OF DETERMINING THE DISTANCE TRAVELED FOR CALCULATING ROAD TOLLS

Abstract

Introduction. Various contactless vehicle identification systems on public roads are widely used in global practice. They solve a wide range of problems, from tracking traffic flows and collecting tolls for road usage to designating parking spots and digital identification. A key role in implementing the state's transportation strategy is played by the development of transport infrastructure, the most crucial component of which is the public road network of national importance. This network has suffered damage due to the full-scale invasion by the Russian Federation. The network is vital for the country's defense logistics, industrial and agricultural efficiency, and ensuring adequate societal communication. The main source of road infrastructure funding is the Road Fund, formed from revenues from excise duties and import tariffs on petroleum products, as well as excise duties and import tariffs on vehicles and tires imported into Ukraine.

Problem Statement. To increase state budget revenues, it is necessary to introduce a socially fair road toll for heavy vehicles with a maximum permissible gross weight of 12 tons or more on public roads. The wear and tear on road surfaces caused by trucks is significantly greater than that caused by other vehicles. Road tolls should be collected based on the damage inflicted by a vehicle on the roads, which requires developing a scheme for terminal placement to collect vehicle movement data (hereafter referred to as terminals) on public roads of national importance, along with algorithms for determining the traveled distance.

Objective. To develop an approach for determining the traveled distance by vehicles, particularly heavy trucks with a total mass of 12 tons or more, in the context of implementing a road toll collection system.

Materials and Methods. The article uses methods of comprehensive and systematic analysis, abstract-logical, graphical, statistical, computational-design, comparative analysis, and expert assessments.

Results. A conceptual scheme for the placement of terminals on public roads of national importance, as well as algorithms for calculating vehicle mileage, particularly for trucks with a gross weight of 12 tons or more, have been developed.

Conclusions. The development of a conceptual scheme for terminal placement on public roads of national importance, as well as the formation of a connection matrix and a distance matrix, and the creation of algorithms for calculating vehicle mileage, will facilitate the introduction of a road toll system for heavy vehicles with a maximum permissible total weight of 12 tons or more on public roads.

Keywords: public road, contactless identification, freight vehicle, traveled distance, geospatial data, road toll.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.273

УДК 624.21

Каськів В. І.[1], *канд. техн. наук, доц., https://orcid.org/0000-0002-8074-6798*
Редченко В. П.[2], *д-р. техн. наук, https://orcid.org/0000-0001-5938-1467*
Завгородній С. С.[1], *https://orcid.org/0000-0003-1928-4544*

[1]*Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна*
[2]*Приватне спеціалізоване підприємство «Мост-сервіс» (ПСП «Мост-сервіс»), м. Дніпро, Україна*

ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ МОСТОВИХ СПОРУД В УКРАЇНІ: СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА НАЦІОНАЛЬНІ ПЕРСПЕКТИВИ

Анотація

Вступ. Автодорожні мости є важливим елементом транспортної інфраструктури будь-якої країни, і Україна не є винятком. Їхня безпечна експлуатація має критичне значення для забезпечення сталого функціонування логістичних шляхів і економічного розвитку регіонів. Однак, внаслідок збільшення транспортних потоків, руху перевантажених і наднормових транспортних засобів, впливу природних чинників і невчасних ремонтів, відсутності якісного експлуатаційного утримання, значна частина мостів в Україні перебуває у незадовільному технічному стані. Відповідно, необхідно вживати заходів для своєчасного діагностування їхнього технічного стану та запобігання можливим аваріям. У цьому контексті автоматизовані системи моніторингу технічного стану (АСМТС) мостів є ефективним інструментом для забезпечення безперебійної роботи таких споруд.

Проблематика. На автомобільних дорогах загального користування державного значення України нараховується понад 16 тисяч мостів, більше половини з яких не відповідають сучасним нормам і стандартам щодо габаритів і вантажопідйомності. Особливо гостро постає проблема мостів, що експлуатуються понад 40 років, оскільки вони мають підвищену схильність до аварійних ситуацій. Через відсутність систематичного моніторингу та контролю технічного стану таких споруд, існує загроза їхнього руйнування. У світовій практиці для запобігання подібним ситуаціям активно використовують автоматизовані системи моніторингу. В Україні необхідність впровадження таких систем стає все більш актуальною в умовах підвищених вимог до безпеки інфраструктури.

Мета. Метою дослідження є аналіз світового досвіду впровадження АСМТС на автодорожніх мостах і розроблення рекомендацій для їх адаптації та впровадження в Україні з урахуванням національних особливостей. У дослідженні також розглядаються нормативно-правові аспекти та методичні підходи до організації систем моніторингу для забезпечення безпеки й ефективності експлуатації мостових споруд.

Матеріали та методи. Дослідження базується на аналізі літературних джерел і нормативно-правової бази з питань моніторингу технічного стану мостів. Були використані методи аналізу сучасних технологій моніторингу, таких як сенсорні мережі, фотограмметрія, бездротові сенсори, Інтернет речей (IoT), а також методи багатофакторного аналізу ризиків. Крім того, було проаналізовано міжнародний досвід впровадження централізованих систем моніторингу та їхню ефективність щодо запобігання аварійним ситуаціям.

Результати. Світовий досвід впровадження АСМТС показав значне зниження ризиків аварій і витрат на обслуговування мостів завдяки своєчасній діагностиці потенційних проблем. Автоматизовані системи дозволяють безперервно отримувати дані про технічний стан мостів, що забезпечує можливість прийняття обґрунтованих рішень щодо їхнього експлуатаційного утримання та ремонту. У статті також розглянуто нормативно-правове регулювання моніторингу в Україні, зокрема нові методичні рекомендації щодо проєктування та впровадження АСМТС. Запропоновані

підходи до інтеграції сучасних технологій моніторингу дозволять підвищити рівень безпеки мостів та їхньої експлуатаційної надійності.

Висновки. Результати дослідження підкреслюють важливість впровадження автоматизованих систем моніторингу технічного стану мостів в Україні для зменшення аварійних ситуацій і забезпечення безпеки руху. Застосування сучасних технологій, таких як сенсорні мережі та Інтернет речей, дозволяє своєчасно виявляти дефекти й оптимізувати витрати на обслуговування споруд. Методичні рекомендації, розроблені для України, сприятимуть стандартизації процесів моніторингу та підвищенню якості управління інфраструктурними об'єктами. Подальші дослідження у цій галузі дозволять удосконалити підходи до моніторингу та впровадити інноваційні рішення, що забезпечать безпеку та надійність мостів в Україні.

Ключові слова: автодорожній міст, автоматизовані системи моніторингу, безпека, інфраструктура, методичні рекомендації, сенсорні мережі, технічний стан.

Вступ

Мости є об'єктами критичної інфраструктури, зокрема забезпечують національну безпеку та економічну стабільність країни. Ці споруди потребують постійного контролю в умовах зростаючого навантаження на транспортну мережу та можливих техногенних впливів. Поточний технічний стан мостів на автомобільних дорогах загального користування, дорогах і вулицях населених пунктів викликає серйозні занепокоєння. Багато із цих споруд були побудовані десятки років тому і сьогодні перебувають у стані, що потребує постійного контролю та регулярних обстежень. Зокрема на автомобільних дорогах державного значення України налічується 16 179 мостів, з яких понад 8 500 (53 %) не відповідають сучасним нормам щодо габаритів та вантажопідйомності [1]. Близько 81 % мостів побудовано до 1980 року, середній вік споруд становить 57 років. Деякі мости досягають непрацездатного стану вже за 45-50 років експлуатації. Інтенсивність автомобільного руху та навантаження на мости значно зросли в останні роки, що пов'язано не лише зі збільшенням транспортних потоків, але й зі змінами в логістиці перевезень через економічні та геополітичні чинники. Тому питання регулярних обстежень транспортних споруд звучить все гостріше. Окрім планових обстежень і оглядів транспортних споруд доцільно використовувати системи неперервного або періодичного моніторингу їхнього технічного стану.

Останніми десятиліттями у світі активно впроваджують автоматизовані системи моніторингу технічного стану (АСМТС) мостів. Вони дозволяють отримувати своєчасну інформацію, своєчасно виявляти потенційні проблеми та забезпечувати безпечну та ефективну експлуатацію, а також своєчасний ремонт споруд, на яких вони змонтовані.

Ключовими питаннями при впровадженні таких систем є визначення контрольованих параметрів, зокрема їхньої мінімально достатньої кількості, встановлення критеріїв оцінки технічного стану мостів, перевірка адекватності і верифікація отриманих даних тощо.

Основна частина

Світовий досвід впровадження автоматизованих систем моніторингу технічного стану мостів демонструє значний прогрес у забезпеченні безпеки та надійності інфраструктурних споруд. У різних країнах активно розробляють та застосовують сучасні технології, які дозволяють здійснювати безперервний контроль за станом мостів [2 – 15], своєчасно виявляти потенційні проблеми та приймати обґрунтовані рішення щодо їх експлуатації та обслуговування.

Однією з ключових тенденцій у цьому напрямі є інтеграція різних технологій збору та аналізу даних для створення комплексних систем моніторингу. Такі системи поєднують використання сенсорних мереж, оптичних і бездротових датчиків, технологій розпізнавання зображень тощо. Це забезпечує отримання своєчасної інформації про технічний стан споруди, дозволяючи інженерам оперативно реагувати на зміни в елементах конструкції споруди та запобігати можливим аварійним ситуаціям.

Світова практика також свідчить про ефективність централізованих систем моніторингу [4], які об'єднують інформацію з різних об'єктів в єдину платформу. Це особливо актуально для великих

інфраструктурних проєктів, де необхідно координувати дії багатьох підрядників і контролювати стан численних споруд. Централізований підхід забезпечує узгодженість дій, полегшує обмін інформацією між зацікавленими сторонами та підвищує загальну ефективність управління проєктами.

Значну увагу приділяють впровадженню бездротових сенсорних мереж (БСМ) та технологій Інтернету речей (IoT) у системи моніторингу. БСМ дозволяють знизити вартість встановлення та обслуговування систем, забезпечуючи їхню гнучкість і масштабованість. Технології IoT сприяють створенню інтелектуальних систем, які можуть автономно збирати, обробляти та передавати дані у режимі реального часу.

У сфері моніторингу висотних будівель та складних інженерних споруд активно використовують методи фотограмметрії та аналізу зображень для відстеження деформацій та переміщень [9]. Це дозволяє отримувати високоточні дані без необхідності встановлення великої кількості фізичних датчиків.

Значний інтерес викликають системи раннього попередження про ризики, особливо в умовах підземного будівництва та будівництва метро. Використання технології інформаційного моделювання будівель (BIM) у поєднанні з реальними даними моніторингу дозволяє створювати детальні моделі споруд і прогнозувати їхню поведінку під впливом різних чинників.

Також потрібно відзначити розвиток методів багатофакторного аналізу ризиків та оптимізації систем управління безпекою. Врахування кореляцій між різними ризиками та застосування багатоцільових оптимізаційних моделей сприяє більш ефективному розподілу ресурсів і зниженню загального рівня небезпеки.

Загалом, світовий досвід показує важливість впровадження автоматизованих систем моніторингу для підтримки безпеки та ефективного управління інфраструктурою. Використання передових технологій та інноваційних підходів дозволяє своєчасно виявляти проблеми, оптимізувати витрати та забезпечувати безперебійну роботу мостів та інших інженерних споруд.

Цей досвід може служити орієнтиром для України у розробленні та впровадженні власних систем моніторингу, адаптованих до національних умов та вимог. Врахування світових тенденцій та інновацій сприятиме підвищенню безпеки, надійності та ефективності експлуатації автодорожніх мостів в країні.

В Україні правове регулювання моніторингу будівель і споруд здійснюється через низку законодавчих актів та нормативних документів. Основні вимоги до безпеки та надійності будівель визначені в Законі України «Про будівельні норми» (редакція від 03.04.2021) [16], який підкреслює необхідність забезпечення експлуатаційної придатності споруд протягом усього їхнього життєвого циклу. Особлива увага приділяється механічному опору та стійкості конструкцій, що є критичними для запобігання руйнуванню чи надмірним деформаціям.

У сфері моніторингу споруд діють такі ключові будівельні норми і нормативні документи:

— ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 «Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд» [19];

— ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану» [20];

— ДБН В.1.2-14:2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд» [17];

— ДБН В.2.5-76:2014 «Автоматизовані системи раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення» [18].

Згідно з цими документами, моніторинг споруд полягає в систематичному спостереженні за змінами технічного стану та оцінці виявлених відхилень. Кількість і види контрольованих параметрів визначають на основі попередніх обстежень, нормативних вимог та умов експлуатування об'єкта. Моніторинг передбачає реєстрацію реакцій споруди на зовнішні та внутрішні впливи, таких як переміщення, деформації та зміни динамічних характеристик. Особливо важливим є використання

автоматизованих систем для безперервного контролю відповідальних конструкцій із високим класом наслідків (СС3).

Проведення моніторингу здійснюють за затвердженою програмою, яка визначає об'єкти спостереження, методи вимірювань, періодичність і критерії оцінки технічного стану. Основні етапи включають складання програми моніторингу, проєктування системи, монтаж та тестування обладнання, а також введення системи в експлуатацію після успішної дослідної експлуатації.

Види моніторингу, які передбачені нормативними документами:

— вібраційний моніторинг: контроль динамічних характеристик споруди для оцінки її загального технічного стану;

— деформаційний моніторинг: вимірювання деформацій і переміщень конструкцій для виявлення змін у напружено-деформованому стані;

— геотехнічний моніторинг: контроль стану основ фундаментів, ґрунтів у зоні будівництва та конструкцій кріплення котлованів;

— геодезичний моніторинг: високоточні вимірювання деформацій і переміщень споруди за допомогою геодезичних методів;

— геологічний моніторинг: спостереження за геотехнічними та гідрологічними параметрами, що можуть вплинути на безпеку споруди.

Як зазначалось, завданням моніторингу є своєчасне виявлення відхилень у технічному стані споруди та прогнозування їхнього розвитку. Це дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо експлуатації, ремонту або підсилення конструкцій, забезпечуючи безпеку людей і мінімізуючи ризики аварійних ситуацій. Система моніторингу повинна забезпечувати збір даних із використанням надійних і точних вимірювальних приладів, а також оброблення та аналізування інформації з можливістю оперативного реагування на критичні зміни. Зберігання та передавання даних здійснюють з урахуванням вимог інформаційної безпеки.

Важливим аспектом є встановлення граничних значень параметрів, перевищення яких може свідчити про небезпечний стан споруди. Ці значення встановлюють на основі проєктної документації, результатів попередніх обстежень і результатів натурних обстежень, розрахунків і вимог нормативних документів.

Сучасний розвиток транспортної інфраструктури України зумовлює необхідність підвищення рівня безпеки та надійності експлуатації автодорожніх мостів. У цьому контексті впровадження автоматизованих систем моніторингу технічного стану мостових споруд набуває особливої актуальності. Для забезпечення ефективності та уніфікації підходів до таких систем потрібні чіткі рекомендації, які б надавали алгоритм їхнього проєктування, впровадження та експлуатації, саме тому на замовлення Агентства відновлення та розвитку інфраструктури України у 2023 році Державним підприємством «Національний інститут розвитку інфраструктури» (станом на 2023 рік ДП «ДерждорНДІ») були розроблені МР В.2.3-37641918-936:2023 «Методичні рекомендації щодо моніторингу технічного стану автодорожніх мостів з використанням автоматизованої системи збору даних» [21].

Метою розроблених методичних рекомендацій є встановлення єдиних вимог і підходів до створення автоматизованих систем моніторингу технічного стану автодорожніх мостів. Вони покликані забезпечити високу якість проєктування та впровадження таких систем, сприяти уніфікації процесів контролювання та аналізування технічного стану мостових споруд. Рекомендації спрямовані на допомогу фахівцям правильно обирати відповідні методи моніторингу та використовувати сучасні технології для підвищення безпеки і надійності експлуатації мостів.

Методичні рекомендації складаються з наступних основних розділів:

1. Сфера застосування: визначає область використання рекомендацій та коло фахівців, для яких вони призначені.
2. Нормативні посилання: містить перелік нормативних документів, на які посилаються рекомендації, що забезпечує їхню відповідність чинному законодавству та стандартам.

3. Терміни та визначення понять: встановлює єдину термінологію для коректного розуміння та застосування рекомендацій.

4. Скорочення: надає розшифрування використаних у тексті скорочень для зручності користувачів.

5. Загальні положення: описує основні принципи організації АСМТС, визначає їхні складові та етапи розробки.

6. Деформаційний моніторинг: детально розглядає методи та засоби контролю деформаційних процесів у конструкціях мостів.

7. Вібраційний моніторинг: описує підходи до контролю динамічних характеристик споруд, які можуть свідчити про зміни в технічному стані.

8. Геотехнічний моніторинг: висвітлює аспекти контролю стану основ та фундаментів мостів, що є критичними для їхньої стійкості.

9. Геодезичний моніторинг: розглядає методи високоточного вимірювання переміщень та деформацій споруд.

10. Система збору, оброблення, зберігання та відтворення даних моніторингу: описує технічні рішення для забезпечення ефективного збору та аналізу даних.

Розроблені рекомендації містять в собі вказівки щодо складу та змісту технічного завдання на розроблення АСМТС, що необхідно на першому етапі підготовки розроблення системи. Вони допомагають визначити призначення та мету створення системи, формулюючи основні завдання відповідно до специфіки конкретного мосту. Також рекомендації сприяють детальному опису характеристик об'єкта моніторингу, враховуючи конструктивні особливості мосту, що впливають на вибір методів контролю. Крім того, вони надають вимоги до системи, визначаючи технічні параметри, які мають бути досягнуті.

Рекомендації будуть надійним підґрунтям під час розроблення програми моніторингу. Вони допомагають у визначенні критично важливих точок контролю, обґрунтовуючи вибір місць встановлення датчиків на основі розрахункових математичних моделей. Рекомендації також наводять вимоги щодо необхідності встановлення граничних значень контрольованих параметрів, визначаючи допустимі межі змін, які сигналізують про необхідність втручання. Загальні вимоги до датчиків та обладнання, включаючи типи датчиків, їхню точність та робочі температурні діапазони, також можна визначати згідно з рекомендаціями.

Автори вважають, що використання методичних рекомендацій забезпечить уніфікацію підходів до розроблення та впровадження АСМТС, що підвищить надійність цих систем. Вважаємо, що завдяки чітким вказівкам зменшиться час і витрати на розроблення та впровадження системи, що має привести до економії ресурсів. Своєчасне виявлення відхилень у технічному стані мостів, яке стає можливим завдяки впровадженню АСМТС, підвищить безпеку транспортних споруд і дозволить запобігти можливим аварійним ситуаціям. Рекомендації також враховують можливість використання новітніх технологій та обладнання, що робить системи моніторингу гнучкими та масштабованими, сприяючи їхній адаптивності до майбутніх змін.

Розроблені методичні рекомендації є інструментом для фахівців, залучених до проєктування, впровадження та експлуатації автоматизованих систем моніторингу технічного стану автодорожніх мостів. Вони націлені сприяти підвищенню безпеки транспортної інфраструктури України, забезпечити уніфікацію процесів і впровадження передових технологій у галузі моніторингу інженерних споруд.

У продовження розвитку напрямку автоматизованого моніторингу технічного стану автодорожніх мостів планується виконати дослідження, спрямовані на удосконалення АСМТС мостів. Наступним кроком є визначення основних критеріїв і параметрів, необхідних для ефективного оцінювання технічного стану мостів під час їх тривалого моніторингу. Результатом цих досліджень мають стати методичні рекомендації з вибору критеріїв і параметрів для оцінювання технічного стану мостів при розробленні автоматизованих систем моніторингу.

Це дозволить забезпечити більш точну та своєчасну діагностику стану конструкцій, виявляти дефекти на ранніх стадіях і вживати необхідні заходи для їх усунення. Дослідження спрямовані на підвищення надійності експлуатації мостів і зниження ризиків аварійних ситуацій, що є критично важливим, як для життя людей, безпеки дорожнього руху, так і для економіки країни.

Втілення результатів досліджень, вважаємо, буде сприяти сталому розвитку галузі та відповідатиме сучасним вимогам до управління інфраструктурними об'єктами.

Висновки

Автодорожні мости є критичними елементами інфраструктури України, а їх надійна експлуатація є надзвичайно важливою в сучасних умовах. Впровадження автоматизованих систем моніторингу технічного стану (АСМТС) мостів є необхідним кроком для забезпечення безпеки, своєчасної діагностики стану конструкцій і ефективного управління ремонтно-відновлювальними роботами. Світовий досвід показує, що використання передових технологій, таких як сенсорні мережі, Інтернет речей (IoT), фотограмметрія та централізовані системи обробки даних, значно підвищують ефективність управління інфраструктурними об'єктами.

Україна, враховуючи сучасні виклики, пов’язані з відновленням інфраструктури після руйнувань, повинна адаптувати ці технології до національних умов. З урахуванням нормативно-правових вимог, впровадження АСМТС сприятиме підвищенню рівня безпеки мостів і зниженню ризиків аварійних ситуацій. Розроблені методичні рекомендації, що регулюють процес створення і використання АСМТС, є важливим інструментом для уніфікації підходів і підвищення ефективності експлуатації мостів.

Подальші наукові дослідження, будуть спрямовані на удосконалення критеріїв оцінки технічного стану мостів.

Список літератури

1. Каськів В. І., Панібратець Л. Г., Степанов С. М., Грінів В. С., Чайковська Л. І. Стан мостового господарства України на дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях за 2023 рік. *Дороги і мости.* 2024. Вип. 29. С. 280–292. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.29.280.

2. Danijel Rebolj, Ales Magdic, Peter Podbreznik, Mirko Psunder. Automated construction activity monitoring system. *Advanced Engineering Informatics.* Volume 22, Issue 4, October 2008. P. 493–503.

3. Saad H. Al-Jibouri. Monitoring systems and their effectiveness for project cost control in International. *Journal of Project Management*. 21 (2003). P. 145–154.

4. Alexander Maravas, John-Paris Pantouvakis, Sergios Lambropoulos. An Integrated Information System for Monitoring Construction Works. *International Journal of Information Technology Project Management.* 5 (1) Copyright: 2014. 12 p.

5. Sangyong Kim, Yoonseok Shin, Gwang-Hee Kim. Case Study on the Maintenance of a Construction Monitoring Using USN-Based Data Acquisition. *The Scientific World Journal*. Volume 2014, Article ID 879308.

6. Ting-Hua Yi, Ying Lei, Hua-Peng Chen, Xiao-Wei Ye, Fei Kang, Hao Wang Technology Developments in Structural Health Monitoring and Integrity Maintenance. *Scientific World Journal.* Volume 2014, Article ID 976927, 3 p. DOI: http://dx.doi.org/10.1155/2014/976927.

7. Dongwei Qiu, Tong Wang, Qing Ye, He Huang, Laiyang Wang, Mingxu Duan, Dean Luo. A Deformation Prediction Approach for Supertall Building Using Sensor Monitoring System. *Journal of Sensors.* Volume 2019, Article ID 9283584, 12 p. DOI: https://doi.org/10.1155/2019/9283584.

8. Lixin Wang, Shuoshuo Xu, 1 Junling Qiu, Ke Wang, Enlin Ma,Chujun Li, Chunxia Guo. Automatic Monitoring System in Underground Engineering Construction: Review and Prospect. *Advances in Civil Engineering*. Volume 2020. Article ID 3697253, 16 p. DOI: https://doi.org/10.1155/2020/3697253.

9. Mingzhi Chen, Guojian Zhang, Chengxin Yu, and Peng Xiao. Research on the pplication of an Information System in Monitoring the Dynamic Deformation of a High-Rise Building. *Mathematical Problems in Engineering*. Volume 2020. Article ID 3714973, 9 p. DOI: https://doi.org/10.1155/2020/3714973.

10. Qianlong Tang, Mingfeng Lei, Binbin Zhu, Limin Peng, Weimin Wu, Chenghua Shi. Design and Application of Risk Early Warning System for Subway Station Construction Based on Building Information Modeling Real-Time Model. *Advances in Civil Engineering.* Volume 2021, Article ID 8898893, 12 p. DOI: https://doi.org/10.1155/2021/8898893.

11. Chunguang Chang, Xi Wu, and Xin Yan. Multiobjective Optimization of Safety Risk of Prefabricated Building Construction considering Risk Correlation. *Mathematical Problems in Engineering.* Volume 2020, Article ID 3923486, 11 p. DOI: https://doi.org/10.1155/2020/3923486.

12. Yong Wu, Liang-Yun Zhao, Ye-Xiang Jiang, Wei Li,3 Ye-Sheng Wang, Huan Zhao, Wei Wu, Xiong-Jian Zhang. Research and Application of Intelligent Monitoring System Platform for Safety Risk and Risk Investigation in Urban Rail Transit Engineering Construction. *Advances in Civil Engineering.* Volume 2021, Article ID 9915745, 10 p. DOI: https://doi.org/10.1155/2021/9915745.

13. Dianliang Xiao, Tiantao Zhang, Xudong Zhou, Guangshun Zheng, and Haoran Song. Safety Monitoring of Expressway Construction Based on Multisource Data Fusion. *Journal of Advanced Transportation*. Volume 2020, Article ID 8856360, 11 p. DOI: https://doi.org/10.1155/2020/8856360.

14. Massimiliano Ferraioli, Alberto Mandara. Base Isolation for Seismic Retrofitting of a Multiple Building Structure: Design, Construction, and Assessment. *Mathematical Problems in Engineering*. Volume 2017, Article ID 4645834, 24 p. DOI: https://doi.org/10.1155/2017/4645834.

15. Xiaokun Yan, Hu Li, Feng Liu, and Yang Liu. Structural Safety Evaluation of Tunnel Based on the Dynamic Monitoring Data during Construction. *Shock and Vibration*. Volume 2021, Article ID 6680675, 11 p. DOI: https://doi.org/10.1155/2021/6680675.

16. Про будівельні норми: Закон України № 1704-VI, чинний, в редакцій від 09.06.2022 № 2254-IX / База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1704-17#Text (дата звернення 30.09.2024).

17. ДБН В.1.2-14:2018 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Київ, 2018. 35 С. (Інформація та документація).

18. ДБН В.2.5-76:2014 Автоматизовані системи раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення. Київ, 2014. 47 С. (Інформація та документація).

19. ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд. Київ, 2016. 54 С. (Інформація та документація).

20. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. Київ, 2016. 45 С. (Інформація та документація).

21. МР В.2.3-37641918-936:2023 Методичні рекомендації щодо моніторингу технічного стану автодорожніх мостів з використанням автоматизованої системи збору даних. Київ, 2023. 65 с. (Інформація та документація).

References

1. Kaskiv V. I., Panibratets L. H., Stepanov S. M., Hriniv V. S., Chaikovska L. I. Stan mostovoho hospodarstva Ukrainy na dorohakh zahalnoho korystuvannia derzhavnoho znachennia na pidkontrolnykh terytoriiakh za 2023 rik (State of the bridge economy of Ukraine on public roads of state importance in controlled territories for 2023.). *Dorohy i mosty*. 2024. Vyp. 29. P. 280–292. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.29.280 [in Ukrainian].

2. Danijel Rebolj, Ales Magdic, Peter Podbreznik, Mirko Psunder. Automated construction activity monitoring system. *Advanced Engineering Informatics*. Volume 22, Issue 4, October 2008, P. 493–503 [in English].

3. Saad H. Al-Jibouri. Monitoring systems and their effectiveness for project cost control in International. *Journal of Project Management*. 21 (2003). P. 145–154 [in English].

4. Alexander Maravas, John-Paris Pantouvakis, Sergios Lambropoulos. An Integrated Information System for Monitoring Construction Works. *International Journal of Information Technology Project Management*. 5 (1) Copyright: 2014. 12 p. [in English].

5. Sangyong Kim, Yoonseok Shin, Gwang-Hee Kim. Case Study on the Maintenance of a Construction Monitoring Using USN-Based Data Acquisition. *The Scientific World Journal*. Volume 2014, Article ID 879308 [in English].

6. Ting-Hua Yi, Ying Lei, Hua-Peng Chen, Xiao-Wei Ye, Fei Kang, Hao Wang Technology Developments in Structural Health Monitoring and Integrity Maintenance. *Scientific World Journal*. Volume 2014, Article ID 976927, 3 p. DOI: http://dx.doi.org/10.1155/2014/976927 [in English].

7. Dongwei Qiu, Tong Wang, Qing Ye, He Huang, Laiyang Wang, Mingxu Duan, Dean Luo. A Deformation Prediction Approach for Supertall Building Using Sensor Monitoring System. *Journal of Sensors*. Volume 2019, Article ID 9283584, 12 p. DOI: https://doi.org/10.1155/2019/9283584 [in English].

8. Lixin Wang, Shuoshuo Xu, 1 Junling Qiu, Ke Wang, Enlin Ma,Chujun Li, Chunxia Guo. Automatic Monitoring System in Underground Engineering Construction: Review and Prospect. *Advances in Civil Engineering*. Volume 2020. Article ID 3697253, 16 p. DOI: https://doi.org/10.1155/2020/3697253 [in English].

9. Mingzhi Chen, Guojian Zhang, Chengxin Yu, and Peng Xiao. Research on the Application of an Information System in Monitoring the Dynamic Deformation of a High-Rise Building. *Mathematical Problems in Engineering*. Volume 2020. Article ID 3714973, 9 p. DOI: https://doi.org/10.1155/2020/3714973 [in English].

10. Qianlong Tang, Mingfeng Lei, Binbin Zhu, Limin Peng, Weimin Wu, Chenghua Shi. Design and Application of Risk Early Warning System for Subway Station Construction Based on Building Information Modeling Real-Time Model. *Advances in Civil Engineering*. Volume 2021, Article ID 8898893, 12 p. DOI: https://doi.org/10.1155/2021/8898893 [in English].

11. Chunguang Chang, Xi Wu, and Xin Yan. Multiobjective Optimization of Safety Risk of Prefabricated Building Construction considering Risk Correlation. *Mathematical Problems in Engineering*. Volume 2020, Article ID 3923486, 11 p. DOI: https://doi.org/10.1155/2020/3923486 [in English].

12. Yong Wu, Liang-Yun Zhao, Ye-Xiang Jiang, Wei Li,3 Ye-Sheng Wang, Huan Zhao, Wei Wu, Xiong-Jian Zhang. Research and Application of Intelligent Monitoring System Platform for Safety Risk and Risk Investigation in Urban Rail Transit Engineering Construction. *Advances in Civil Engineering*. Volume 2021, Article ID 9915745, 10 p. DOI: https://doi.org/10.1155/2021/9915745 [in English].

13. Dianliang Xiao, Tiantao Zhang, Xudong Zhou, Guangshun Zheng, and Haoran Song. Safety Monitoring of Expressway Construction Based on Multisource Data Fusion. *Journal of Advanced Transportation*. Volume 2020, Article ID 8856360, 11 p. DOI: https://doi.org/10.1155/2020/8856360 [in English].

14. Massimiliano Ferraioli, Alberto Mandara. Base Isolation for Seismic Retrofitting of a Multiple Building Structure: Design, Construction, and Assessment. *Mathematical Problems in Engineering*. Volume 2017, Article ID 4645834, 24 p. DOI: https://doi.org/10.1155/2017/4645834 [in English].

15. Xiaokun Yan, Hu Li, Feng Liu, and Yang Liu. Structural Safety Evaluation of Tunnel Based on the Dynamic Monitoring Data during Construction. *Shock and Vibration*. Volume 2021, Article ID 6680675, 11 p. DOI: https://doi.org/10.1155/2021/6680675 [in English].

16. Pro budivelni normy: Zakon Ukrainy (On construction regulations: Law of Ukraine). No. 1704-VI, chynnyi, v redaktsii vid 09.06.2022 No. 2254-IKh / Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1704-17#Text (data zvernenia 30.09.2024) [in Ukrainian].

17. DBN V.1.2-14:2018 Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud (General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures). Kyiv, 2018. 35 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

18. DBN V.2.5-76:2014 Avtomatyzovani systemy rannoho vyiavlennia zahrozy vynyknennia nadzvychainykh sytuatsii ta opovishchennia naselennia (Automated systems for early detection of the threat of emergency situations and public notification). Kyiv, 2014. 47 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

19. DSTU-N B V.1.2-17:2016 Nastanova shchodo naukovo-tekhnichnoho monitorynhu budivel i sporud (Instruction on scientific and technical monitoring of buildings and structures). Kyiv, 2016. 54 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

20. DSTU-N B V.1.2-18:2016 Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu (Instruction on inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition). Kyiv, 2016. 45 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

21. MR V.2.3-37641918-936:2023 Metodychni rekomendatsii shchodo monitorynhu tekhnichnoho stanu avtodorozhnikh mostiv z vykorystanniam avtomatyzovanoi systemy zboru danykh (Methodological recommendations for monitoring the technical condition of highway bridges using an automated data collection system). Kyiv, 2023. 65 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

Volodymyr Kaskiv[1], *Ph.D., Associate Prof., https://orcid.org/0000-0002-8074-6798*
Vasyl Redchenko[2], *D.Sc., https://orcid.org/0000-0001-5938-1467*
Zavhorodnii Serhii[1], *https://orcid.org/0000-0003-1928-4544*

[1]*State Enterprise "National Institute for Development Infrastructurt" (SE "NIDI"), Kyiv, Ukraine*
[2]*Private specialized enterprise "Bridge-Service" (PSE "Bridge-Service"), Dnipro, Ukraine*

IMPLEMENTATION OF AUTOMATED MONITORING SYSTEMS FOR BRIDGE STRUCTURES IN UKRAINE: WORLD EXPERIENCE AND NATIONAL PERSPECTIVES

Abstract

Introduction. Highway bridges are an important element of the transport infrastructure of any country, and Ukraine is no exception. Their safe operation is critical to ensure the sustainable functioning of logistics systems and economic development of regions. However, due to constant loads, the impact of natural factors and insufficient funding for maintenance, a significant number of bridges in Ukraine are in poor technical condition. Accordingly, it is necessary to take measures to diagnose the condition of bridges in a timely manner and prevent possible accidents. In this context, automated condition monitoring systems (ACMS) are an effective tool for ensuring the smooth operation of such structures.

Problem Statement. There are more than 16 thousand bridges on public roads of national importance in Ukraine, more than half of which do not meet modern standards for dimensions and load capacity. The problem is particularly acute for bridges that have been in operation for more than 40 years, as they are more prone to accidents. Due to the lack of systematic monitoring and control of the technical condition of such structures, there is a threat of their destruction. In the world practice, automated monitoring systems are actively used to prevent such situations. In Ukraine, the need to implement such systems is becoming increasingly relevant in the face of increased requirements for infrastructure security.

Objective. The purpose of the study is to analyze the world experience of implementing ASMTS on highway bridges and to develop recommendations for their adaptation and implementation in Ukraine, taking into account national peculiarities. The study also examines the regulatory aspects and methodological approaches to the organization of monitoring systems to ensure the safety and efficiency of bridge structures.

Materials and methods. The study is based on the analysis of literature sources and the regulatory framework for monitoring the technical condition of bridges. The methods used to analyze modern monitoring technologies, such as sensor networks, photogrammetry, wireless sensors, the Internet of Things (IoT), and methods of multifactorial risk analysis. In addition, international experience in implementing centralized monitoring systems and their effectiveness in preventing emergencies was analyzed.

Results. Global experience in implementing AMTS has shown a significant reduction in accident risks and maintenance costs due to timely diagnosis of potential problems. Automated systems allow to continuously receive data on the technical condition of bridges, which provides the opportunity to make informed decisions on their operational maintenance and repair. The article also discusses the legal and regulatory framework for monitoring in Ukraine, including new guidelines for the design and implementation of AMTS. The proposed approaches to the integration of modern monitoring technologies will increase the level of bridge safety and operational reliability.

Conclusions. The results of the study emphasize the importance of implementing automated systems for monitoring the technical condition of bridges in Ukraine to reduce accidents and ensure traffic safety. The use of modern technologies, such as sensor networks and the Internet of Things, allows for timely detection of defects and optimization of the cost of maintenance of structures. The guidelines developed for Ukraine will help standardize monitoring processes and improve the quality of infrastructure management. Further research in this area will improve monitoring approaches and implement innovative solutions that will ensure the safety and reliability of bridges in Ukraine.

Keywords: highway bridges, automated monitoring systems, sensor networks, Internet of Things, technical condition, infrastructure, safety, Ukraine, methodological recommendations.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.283

УДК 624.21

Славінська О. С.[1], *д-р техн. наук, проф., https://orcid.org/0000-0002-9709-0078*
Рутковська І. А.[1], *канд. техн. наук, проф., https://orcid.org/0000-0001-7832-4222*
Усиченко О. Ю.[1], *канд. техн. наук, доц., https://orcid.org/0000-0002-7482-8420*
Зеленський Б. М.[2], *https://orcid.org/0000-0002-9949-3209*

[1]*Національний транспортний університет (НТУ), Київ, Україна*
[2]*Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна*

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ФІЗИЧНОГО ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЗНОСУ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЯКІСНОГО СТАНУ АВТОРОДОРОЖНІХ МОСТІВ

Анотація

Вступ. Оцінка якісного стану автодорожніх мостів є комплексним процесом, що передбачає аналіз фізичного та функціонального зносу конструкцій. Фізичний знос пов'язаний з погіршенням матеріалів і втратою міцності елементів, тоді як функціональний знос виявляється у зниженні несної здатності та деформативності мосту.

Проблематика. Для визначення рівня зносу застосовують комплексний метод, що включає візуальний огляд, розрахункові оцінки та експериментальні дослідження. Крім того, використовується диференційований метод, який дозволяє порівнювати фактичні показники з проєктними та робити висновки про якість окремих елементів і конструкції в цілому.

Мета. Дослідити метод оцінювання фізичного та функціонального зносу при визначенні якісного стану автородорожніх мостів

Матеріали та методи. Експертний метод є важливим доповненням до інших методів оцінки технічного стану мостів. Він дозволяє врахувати чинники, які важко формалізувати, і забезпечує комплексне розуміння стану споруди. Однак, для отримання достовірних результатів необхідно ретельно підходити до формування експертної групи та організації процесу оцінювання.

Результат. Оцінка якісного стану мостів є критично важливою для забезпечення ефективної їх експлуатації. Кваліметрична модель пропонує детальний і структурований підхід до оцінювання фізичного зносу мосту шляхом поділу всієї конструкції на ключові елементи та оцінювання кожного з них за різними параметрами, та забезпечує всебічне визначення його стану.

Висновки. Такий підхід є основою для ефективного управління транспортною інфраструктурою, оптимізації витрат на обслуговування та забезпечення довгострокової безпеки мостів.

Ключові слова: автодорожній міст, транспортна споруда, якісний стан, технічний стан, експлуатаційний стан, дефект, кваліметрична модель, прогонова будова, опора, фундамент.

Вступ

Обстеження мостів є важливим елементом їх експлуатації. Це особливо актуально за нинішньої ситуації в країні із обмеженим фінансуванням галузі. Значна кількість мостів на дорогах України мають вичерпаний термін дії паспорта або взагалі не мають інформації про їхній технічний стан через відсутність обстежень протягом всього строку експлуатації. У таких випадках обстеження є критичним для запобігання аварійних ситуацій.

Задача забезпечення надійної та безаварійної експлуатації мостів, які є невід'ємною складовою транспортної інфраструктури, з кожним роком постає все гостріше внаслідок суттєвого збільшення інтенсивності руху на автомобільних дорогах (особливо великовагових транспортних засобів); змінення складу транспортних засобів у бік зростання навантаження; збільшення швидкості руху; змін навколишнього середовища, що стає більш агресивним, збільшення кількості мостів, проєкти яких не відповідають сучасних норм.

Визначення якісного стану автодорожніх мостів передбачає оцінювання рівня його фізичного та функціонального зносу.

Визначення рівня якісного стану конструкцій мостів на основі кваліметричних моделей дозволить раціонально використовувати необхідні ресурси для підтримання задовільного стану конструктивних елементів, підвищити безпеку та надійність транспортних споруд, знизити їхню аварійність.

Основна частина

Визначення якісного стану автодорожніх мостів передбачає перш за все оцінювання рівня його фізичного та функціонального зносу.

Знос автодорожніх мостів, як і інших інженерних споруд, визначають деградацією його елементів у процесі експлуатування, що обумовлено погіршенням початкових проєктних показників і невідповідністю розрахункових параметрів споруди нормативним вимогам.

Фізичний знос — це знос, що зумовлений частковою або повною втратою початкових технічних і технологічних якостей, а функціональний — частковою або повною втратою початкових функціональних характеристик.

Для визначення рівня якості використовують два основні методи: комплексний і диференційований.

Комплексний включає візуальне оцінювання, розрахункові дані та експериментальні методи.

Диференційований метод базується на оцінюванні одиничних показників якості.

Математично це можна представити формулою:

$$P_{Pj} = P_i \,/P_{i\text{б}} \text{ або } P_{Pj} = \, P_{i\text{б}} \,/\, P_i, \tag{1}$$

де P_i — значення i-го показника якості оцінюваного елемента;

$P_{i\text{б}}$ — значення i-го базового (еталонного) показника.

Диференційований показник міри ураження розраховують за формулою:

$$P_{Pj} = 1 - \frac{P_i}{100}. \tag{2}$$

У випадку відсутності ураження $P_{Pj} = 1$.

Згідно з формулою (1), зростання одиничного показника P_i свідчить про покращення загальної якості продукції. Проте, самі по собі значення P_i не дають повного уявлення про їхній вплив на загальний стан.

Диференційований метод дозволяє зробити однозначний висновок про якість у двох випадках:

1. Якщо всі показники $P_{Pj} \geq 1$, рівень якості оцінюваного елементу вищий або рівний базовому (проєктному).
2. Якщо всі показники $P_{Pj} < 1$, рівень якості оцінюваного елементу нижчий за базовий (проєктний).

Використання такої відносної кількісної оцінки дозволяє звести всі властивості елементів до єдиної шкали, трансформуючи всі прості (квазіпрості) властивості в єдиний показник моделі.

Базові показники відіграють ключову роль у кількісному оцінюванні стану елементів. Вибір базових показників є важливим етапом, оскільки від його коректності залежить об'єктивність оцінки. Тому важливо враховувати такі фактори:

1. Мета оцінювання: для чого проводиться оцінювання?
2. Характеристика об'єкта: які властивості об'єкта найбільш важливі?
3. Доступність даних: чи є можливість отримати необхідні дані для розрахунку показників?

Значення базових показників $P_{i\text{б}}$ можуть бути:

1. Середні показники, досягнуті в галузі або в народному господарстві.
2. Найвищі показники, досягнуті в галузі або в народному господарстві.
3. Перспективні показники.
4. Показники, що відповідають найкращим зарубіжним аналогам.
5. Економічно оптимальні показники, обґрунтовані техніко-економічними розрахунками.

Важливо враховувати, що вимоги до конструктивних особливостей елементів змінюються з часом. Тому кількісна оцінка якості повинна враховувати часовий чинник. При цьому, фактичні показники якості продукції P, залишаються відносно стабільними. Це пояснюється постійним удосконаленням засобів вимірювання та методів контролю якості. Однак, слід зазначити, що незначні зміни фактичних показників можуть бути пов'язані з природним зносом матеріалів або впливом зовнішніх чинників.

Натомість, еталонні показники P_{i6}, які визначають рівень якості продукції або процесу, не є статичними величинами. Вони постійно змінюються під впливом науково-технічного прогресу. Цей процес відомий як **підвищення планки якості**. Для того щоб оцінка якості була актуальною, необхідно регулярно переглядати і коригувати еталонні показники відповідно до нових досягнень науки і техніки. Це забезпечує актуальність та відповідність оцінки якості сучасним вимогам ринку та технологічним можливостям.

Під час оцінювання рівня якісного стану автодорожнього мосту кожен елемент відіграє важливу роль у забезпеченні його міцності та довговічності. Тому при оцінці технічного стану мосту необхідно проводити детальний огляд кожного з визначальних елементів: прогонової будови, опор та фундаментів. **Експлуатаційний стан мосту** визначають як найнижчий із показників якісного стану його визначальних елементів. Тобто, якщо хоча б один із цих елементів має пошкодження або не відповідає нормативним вимогам, то весь міст вважається непридатним для експлуатації.

За умови якщо середній диференційований показник без урахування коефіцієнта вагомості за одним чи декількома визначальними елементами $\leq 0{,}40$, то приймають загальний стан $P_{br} \leq 0{,}40$.

З метою оцінювання якісного стану конструктивних елементів мосту використовують розрахунковий, експериментальний і експертний методи.

Розрахунковий метод є важливим інструментом для оцінки фактичного стану конструкцій мосту та їхньої відповідності проєктним рішенням. Цей підхід поєднує теоретичні розрахунки з практичними вимірюваннями, що дозволяє отримати більш точну та об'єктивну оцінку технічного стану мосту.

За результатами детального аналізу проєктної документації – проєктні дані, креслення та специфікації створюється розрахункова модель мосту, яка відображає його проєктні характеристики.

Проведення відповідних замірів геометричних параметрів (розміри елементів, прогини, зміщення), фізико-механічних характеристик матеріалів (міцність бетону, напруження в арматурі), динамічних показників (частоти власних коливань, амплітуди вібрацій) на реальному об'єкті, у різних умовах навантаження дозволяє отримати данні, що можуть бути співставленні з проєктними. При цьому мають бути враховані допустимі відхилення, передбачені нормативними документами та проєктом. Розбіжності між фактичними та проєктними даними можуть вказувати на різні чинники: від природного зносу конструкції до прихованих дефектів або помилок при проєктуванні чи будівництві.

У випадку виявлення значних розбіжностей необхідно провести додатковий аналіз (перевірку якості будівельних матеріалів; дослідження умов експлуатації мосту; аналіз історії ремонтів і реконструкцій) для визначення їх причин і корегування розрахункової моделі з метою точнішого відображення його фактичного стану.

Це може включати:

— зміну фізичних характеристик: внесення коректив у значення міцності, модуля пружності та інших характеристик матеріалів;

— урахування дефектів: моделювання дефектів, виявлених у результаті обстеження;

— зміна граничних умов: внесення змін в умови закріплення конструкцій;

— урахування додаткових навантажень: врахування впливу додаткових навантажень, таких як температурні деформації, вітер, сейсмічні впливи.

Корегування розрахункової моделі дозволяє отримати більш точну оцінку технічного стану мосту та розробити ефективні заходи щодо його зміцнення або ремонту.

Оцінювання впливу виявлених розбіжностей на загальну роботу конструкції (аналіз несної здатності, стійкості та довговічності мосту) дозволяє визначити, чи є виявлені відхилення критичними для безпеки експлуатації, і які заходи необхідно вжити для приведення конструкції у відповідність до проєктних вимог.

Розрахунковий метод дозволяє спрогнозувати, як виявлені розбіжності між проєктними і фактичними показниками впливатимуть на роботу мосту в подальшому. Що, у свою чергу, дозволяє спланувати заходи щодо технічного обслуговування та ремонтних робіт.

Комплексний підхід, що поєднує розрахунки та натурні дослідження, є ключовим для оцінки технічного стану мостів. Виявлення розбіжностей між проєктними та фактичними даними дозволяє не лише визначити критичність відхилень, але й передбачити подальшу поведінку конструкції, що є основою для ефективного планування технічного обслуговування та ремонту. Такий підхід дозволяє виявити навіть приховані проблеми, які можуть виникнути під час експлуатації.

Такий підхід забезпечує основу для прийняття обґрунтованих рішень щодо технічного обслуговування, ремонту та реконструкції транспортних споруд.

Експериментальний метод визначення якісного стану елементів мостів є одним з найбільш точних та інформативних підходів до оцінки їхнього технічного стану. Цей метод базується на проведенні натурних випробувань конструкцій мосту, що дозволяє отримати фактичні дані про їхню поведінку під дією різноманітних навантажень і впливів.

Основу експериментального методу складають статичні та динамічні випробування. Статичні випробування передбачають навантаження мосту відомою навантагою, наприклад, за допомогою вантажівок або спеціальних вантажів. Під час цього вимірюють прогини, деформації та напруження в різних елементах конструкції, що дозволяє оцінити розподіл навантажень між елементами мосту, виявити слабкі місця та перевірити відповідність фактичної роботи конструкції проєктним розрахункам.

Динамічні випробування, у свою чергу, спрямовані на вивчення поведінки мосту під дією рухомих навантажень та вібрацій. Вони включають вимірювання коливань мосту під час проїзду транспортних засобів, визначення власних частот і форм коливань конструкції, а також оцінку демпфуючих властивостей, що дозволяє оцінити динамічну стійкість мосту, його здатність протистояти вітровим і сейсмічним навантаженням.

Окрім стандартних випробувань, експериментальний метод може включати спеціальні дослідження, спрямовані на вивчення конкретних аспектів роботи мосту. Наприклад, це можуть бути випробування на втому матеріалів, оцінювання стійкості до впливу агресивного середовища, перевірка ефективності систем моніторингу та захисту від корозії.

Результати випробувань порівнюють з теоретичними розрахунками та проєктними характеристиками з метою визначення між реальною роботою конструкції та її розрахунковою моделлю, що може вказувати на приховані дефекти або зміни в стані мосту та дозволяє дійти висновку щодо фактичного технічного стану елементів мосту, їхньої несної здатності та залишкового ресурсу.

Вагомою перевагою експериментального методу є можливість виявлення прихованих дефектів і проблем, які не можуть бути виявлені при візуальному огляді.

Результати експериментальних досліджень також є основою для прийняття рішень щодо необхідності ремонту, посилення або заміни елементів мосту та використовуються для калібрування розрахункових моделей, з метою підвищення точності прогнозування поведінки мосту в різних умовах експлуатації.

Незважаючи на високу інформативність, експериментальний метод має певні обмеження через високу вартість і часоємність, особливо для великих і позакласних мостів. Крім того, проведення випробувань часто вимагає обмеження або повного припинення руху по мосту, що може створювати незручності для користувачів.

Експериментальний метод зазвичай застосовують в комплексі з іншими методами оцінки, такими як візуальні обстеження та розрахункові методи. Це дозволяє отримати найбільш повну та

достовірну картину технічного стану мосту, оптимізувати витрати на діагностику та забезпечити безпечну та ефективну експлуатацію транспортної споруди протягом всього її життєвого циклу.

Експертний метод визначення якісного стану елементів мостів є важливим інструментом оцінки, який базується на знаннях, досвіді та судженнях кваліфікованих фахівців. Цей метод передбачає формування групи експертів, зазвичай у складі 5-9 осіб, які мають досвід у галузі мостобудування, включаючи проєктування, будівництво та експлуатацію.

Процес оцінки починається з розроблення методики, яка включає визначення критеріїв оцінки для кожного елемента мосту та створення шкали оцінювання. Для кожного рівня оцінки розробляються детальні описи, що допомагають експертам у прийнятті рішень.

Перед проведенням обстеження експерти ретельно вивчають проєктну документацію та історію експлуатації мосту, аналізують результати попередніх обстежень. Це дозволяє їм мати повне уявлення про особливості конструкції та її поведінку протягом часу.

Ключовим етапом є візуальне обстеження, під час якого експерти детально оглядають кожен елемент мосту, фіксують видимі дефекти та пошкодження, проводять необхідні вимірювання. На основі цього огляду кожен експерт незалежно оцінює стан елементів за встановленою шкалою, обґрунтовуючи свої оцінки.

Після індивідуального оцінювання проводиться нарада експертів, де обговорюються результати, аналізуються розбіжності в оцінках та досягається консенсус щодо спірних питань. Важливим аспектом є визначення вагових коефіцієнтів для різних елементів мосту та типів дефектів, що дозволяє врахувати їхню відносну важливість для загального стану споруди.

На основі індивідуальних оцінок і вагових коефіцієнтів розраховують узагальнену оцінку стану мосту. Експерти також аналізують різні чинники впливу, такі як навколишнє середовище, інтенсивність і характер навантажень, вплив попередніх ремонтів. Це дозволяє не лише оцінити поточний стан, але й спрогнозувати його зміну в майбутньому.

Результатом роботи експертної групи є детальний звіт, який містить опис стану кожного елемента, обґрунтування присвоєних оцінок, фотофіксацію виявлених дефектів, а також рекомендації щодо ремонту, заміни елементів або зміни режиму експлуатації. Експерти також визначають пріоритетність необхідних робіт.

Для підвищення об’єктивності експертного методу важливо регулярно проводити навчання та підвищення кваліфікації експертів, використовувати стандартизовані форми і критерії оцінки, а також комбінувати експертний метод з інструментальними вимірюваннями. Періодично методика оцінювання калібрується з урахуванням нових типів дефектів, методів ремонту та змін у нормативних вимогах.

Фізичний знос є ключовим компонентом у визначенні загального стану мосту. Він відображає ступінь деградації технічного стану елементів конструкцій і матеріалів внаслідок експлуатації, впливу навколишнього середовища та часу.

Кваліметрична модель пропонує підхід до оцінки фізичного зносу, розбиваючи міст на ключові структурні елементи та оцінюючи кожен з них за набором певних параметрів. Цей підхід дозволяє отримати детальну та всебічну оцінку стану мосту.

Основні структурні елементи, що розглядають під час оцінки фізичного зносу:

1. Прогонова будова (K1).
2. Опори (K2).
3. Фундаменти (K3).
4. Мостове полотно (K4).
5. Підходи до споруди (K5).
6. Русло (K6).
7. Регуляційні споруди (K7).

Кожен із цих елементів оцінюють за набором параметрів (P1-P26) (**табл. 1**), які відображають різні аспекти їхнього фізичного стану. Ці параметри охоплюють широкий спектр чинників, від структурних дефектів до зміни властивостей матеріалів.

Диференційовані показник параметрів (P1-P26) розраховують згідно з (1) або (2).

Детальне та структуроване оцінювання фізичного зносу в рамках кваліметричної моделі забезпечує надійну основу для прийняття рішень щодо управління транспортною інфраструктурою, оптимізації витрат на обслуговування та забезпечення довгострокової експлуатаційної надійності мостів (**табл. 1**).

Таблиця 1

Фізичний знос конструктивних елементів за методом їхнього оцінювання

Ч.ч.	Конструктивний елемент	Метод оцінювання	Умовне позначення
1	Дефекти, що знижують несну здатність прогонової будови	Експертний	P1
2	Дефекти, що не впливають безпосередньо на несну здатність прогонової будови	Експертний	P2
3	Зниження вантажопідйомності прогонової будови	Розрахунковий	P3
4	Вплив зниження проєктних характеристик матеріалу	Експериментальний	P4
5	Карбонізація бетону	Експериментальний	P5
6	Корозійний знос основних металевих несних елементів	Експериментальний	P6
7	Дефекти опор, що знижують несну здатність	Експертний	P7
8	Дефекти опор, що не впливають безпосередньо на несну здатність	Експертний	P8
9	Дефекти опорних частин, що знижують несну здатність	Експертний	P9
10	Дефекти, що не впливають безпосередньо на зниження несної здатності опорних частин	Експертний	P10
11	Зниження проєктних характеристик матеріалів	Експериментальний	P11
12	Дефекти, що знижують несну здатність фундаментів	Експертний	P12
13	Дефекти, що не знижують несну здатність фундаментів	Експертний	P13
14	Стан дорожнього покриття	Експертний або експериментальний	P14
15	Стан гідроізоляції на споруді	Експертний або експериментальний	P15
16	Стан водовідведення	Експертний або експериментальний	P16
17	Стан деформаційних швів	Експертний або експериментальний	P17
18	Стан огорожі безпеки	Експертний або експериментальний	P18
19	Стан покриття на тротуарі	Експертний або експериментальний	P19
20	Стан поручневої огорожі	Експертний або експериментальний	P20
21	Стан огорожі безпеки на підходах	Експертний або експериментальний	P21
22	Стан покриття на підходах	Експертний або експериментальний	P22
23	Стан укріплення конусів опор	Експертний або експериментальний	P23
24	Вплив засміченості русла	Експертний або експериментальний	P24
25	Вплив розмиву/намиву русла	Розрахунковий	P25
26	Стан регуляційних споруд	Експертний або експериментальний	P26

Згідно з кваліметричною моделлю оцінювання фізичного зносу елементів прогонової будови включає таки критерії (табл. 2):

- наявність дефектів, що знижують несну здатність прогонової будови;
- наявність дефектів, що не впливають безпосередньо на несну здатність прогонової будови;
- наявність зниження вантажопідйомності;
- наявність зниження проєктних характеристик матеріалу;
- наявність карбонізації бетону;
- наявність корозійного зносу основних металевих несних елементів.

Таблиця 2

Критерії оцінювання фізичного зносу споруди

Ч.ч.	Конструктивний елемент	Критерії оцінювання	Знос, %
1	Дефекти, що знижують несну здатність прогонової будови	Міра ураження за впливом	0-100
2	Дефекти, що не впливають безпосередньо на несну здатність прогонової будови	Площа ураження	0-100
3	Зниження вантажопідйомності прогонової будови	Зниження вантажопідйомності	табл. 3.3
4	Вплив зниження проєктних характеристик матеріалу	Зниження міцності відносно проєктного значення	0-100
5	Карбонізація бетону	Ступінь ураження	табл. 3.4
6	Корозійний знос основних металевих несних елементів	Ступінь ослаблення	0-100
7	Дефекти опор, що знижують несну здатність	Міра ураження за впливом	0-100
8	Дефекти опор, що не впливають безпосередньо на несну здатність	Площа ураження	0-100
9	Дефекти опорних частин, що знижують несну здатність	Міра ураження за впливом	0-100
10	Дефекти, що не впливають безпосередньо на зниження несної здатності опорних частин	Площа ураження	0-100
11	Зниження проєктних характеристик матеріалів	Зниження міцності відносно проєктного значення	0-100
12	Дефекти, що знижують несну здатність фундаментів	Міра ураження за впливом	0-100
13	Дефекти, що не знижують несну здатність фундаментів	Площа ураження	0-100
14	Стану дорожнього покриття	Площа ураження	0-100
15	Стан гідроізоляції на споруді	Площа ураження	0-100
16	Стан водовідведення	Площа ураження	0-100
17	Стан деформаційних швів	Площа ураження	0-100
18	Стан огорожі безпеки	Площа ураження	0-100
19	Стан покриття на тротуарі	Площа ураження	0-100
20	Стан поручневої огорожі	Площа ураження	0-100
21	Стан огорожі безпеки на підходах	Площа ураження	0-100
22	Стан покриття на підходах	Площа ураження	0-100
23	Стан укріплення конусів опор	Площа ураження	0-100
24	Вплив засміченості русла	Площа ураження	0-100
25	Вплив розмиву/намиву русла	Площа ураження	0-100
26	Стан регуляційних споруд	Площа ураження	0-100

Оцінювання більшості даних критеріїв визначають на основі результатів візуального огляду, вимірювання, власного досвіду експерта та згідно з [2], диференційований показник рівня якісного стану — за (2), а фактичні значення порівнюють з проєктним за (1).

Дефекти прогонової будови мосту, що впливають на несну здатність, можуть бути різними за природою та наслідками, а саме:

— тріщини в несних залізобетонних конструкціях, що можуть знижувати міцність і довговічність конструкції та утворюються внаслідок усадки, температурних змін, перевантаження або корозію арматури;

— корозія арматури, яка виникає під дією вологи і хімічних речовин, що знижує її міцність і здатність нести навантаження;

— деформації та прогини, що виникають через надмірні навантаження або ослаблення матеріалу та знижують несну здатність конструкції;

— вивітрювання та ерозія через відсутність стійкості до природних факторів, таких як вода, вітер та температурні коливання, може спричиняти поступове руйнування матеріалу;

— механічні пошкодження від ударів транспортних засобів або падіння важких предметів знижують несну здатність конструкції;

— недоліки в конструкції або будівництві через помилки, допущені під час проєктування або будівництва, можуть впливати на міцність і стійкість прогонової будови;

— проблеми з опорами та фундаментом можуть вплинути на стабільність всієї конструкції.

Оцінювання виконують від 0 % до 100 % за мірою ураження за впливом на несну здатність:

— 0 % означає відсутність ураження або ідеальний стан;

— 100 % вказує на критичне ураження або повну втрату несної здатності;

— проміжні значення відображають різні ступені ураження та їхній вплив на технічний стан.

Дефекти прогонової будови мосту, що не впливають безпосередньо на її несну здатність, все ж можуть мати негативні наслідки, такі як зниження довговічності або естетичних характеристик. Найчастіше можуть зустрічатися наступні дефекти:

— поверхневі тріщини – тріщини з розкриттям до 0,3 мм на поверхні бетону, які не проходять крізь всю товщину елемента можуть знижувати естетичний вигляд, але не впливають на міцність;

— незначна корозія арматури – поверхнева корозія, яка ще не проникла глибоко у структуру арматури на ранніх стадіях, не впливає на несну здатність конструкції, але з часом, при відсутності ремонтних робіт з їх усунення, можуть перерости в дефекти, що впливатимуть на стійкість та надійність конструкції;

— пошкодження захисного шару без оголення арматури. Незначні ушкодження захисного шару, які не розкривають арматуру і не знижують її захист;

— каверни або пори у бетоні. Невеликі порожнини, що виникають через недостатнє ущільнення бетону під час укладання. Вони зазвичай не впливають на несну здатність, але можуть впливати на довговічність конструкції;

— замокання та вилуговування бетону. На ранніх стадіях не несуть впливу на несну здатність. З часом можуть викликати пошкодження захисного шару бетону та корозію арматури;

— мікробіологічне обростання. Наявність моху, лишайників або грибків на поверхні конструкцій. Вони можуть з часом спричиняти поверхневі пошкодження.

Оцінювання виконують від 0 % до 100 % за мірою площі ураження.

Визначення вантажопідйомності. Визначення фактичної вантажопідйомності прогонової будови виконують розрахунковим методом згідно з [4].

Визначення вантажопідйомності мосту в долях від характеристичного навантаження (K) виконують шляхом порівняння розрахункового зусилля від цього навантаження та граничного зусилля для перерізу конструкції, що перевіряється, за вирахуванням зусиль від постійних та інших навантажень:

$$K = Q/P, \tag{3}$$

де P — узагальнене зусилля в перерізі від певного тимчасового навантаження, за яким виконується перевірка;

$Q=R-(G+\sum q)$ — узагальнене допустиме зусилля для даного перерізу;

R — узагальнене граничне зусилля перерізу;

G — узагальнене зусилля в перерізі від постійних навантажень і впливів;

$\sum q$ — сума узагальнених зусиль у перерізі від інших тимчасових та експлуатаційних навантажень, які можуть діяти разом з основним тимчасовим навантаженням (пішохідне, горизонтальні зусилля, трамвай, поїзд метро, вібрації певних механізмів тощо).

Покроковий алгоритм розрахунку наведено в дод. А, Б, В [4].

Для визначення вантажопідйомності мосту можна застосовувати різні програмні комплекси, кожен з яких має свої особливості та переваги. Основними інструментами для такого аналізу є спеціалізовані програми скінченно-елементного аналізу та системи автоматизованого проєктування.

Використання сучасних програмних комплексів значно підвищує точність та ефективність аналізу вантажопідйомності мостів, дозволяючи інженерам приймати обґрунтовані рішення щодо експлуатації та реконструкції транспортних споруд.

Отриманий результат порівнюють із нормативним і визначають відсоток зниження вантажопідйомності. Ступінь зниження вантажопідйомності визначають згідно з **табл. 3** [3].

Таблиця 3

Співвідношення зниження вантажопідйомності до ступеня ураження

Зниження вантажопідйомності, %	Ступінь ураження, %
від 0 до 0,1	0
від 0,1 до 3,2	25
від 3,2 до 14,6	50
від 14,6 до 40,0	75
понад 40,0	100

Диференційований показник рівня якісного стану визначають за (3).

Наявність зниження проєктних характеристик матеріалу. Визначення міцності бетону можна виконувати руйнівними та неруйнівними методами [1].

1. Руйнівні методи:
   - а) Випробування на стиск стандартних зразків:
     - — виготовлення кубів або циліндрів з бетону під час будівництва;
     - — випробування зразків на пресі до руйнування.
   - б) Відбір кернів:
     - — висвердлювання циліндричних зразків з існуючої конструкції;
     - — випробування кернів на стиск.
2. Неруйнівні методи:
   - а) Метод пружного відскоку (склерометр):
     - — вимірювання відскоку бойка приладу від поверхні бетону;
     - — оцінювання міцності за величиною відскоку.
   - б) Ультразвуковий метод:
     - — вимірювання швидкості проходження ультразвукових хвиль через бетон;
     - — оцінювання міцності за швидкістю ультразвуку.
   - в) Метод відриву зі сколюванням:
     - — вимірювання зусилля, необхідного для відриву анкера, закріпленого в бетоні;
     - — оцінювання міцності за зусиллям відриву.
   - д) Метод сколу ребра:
     - — заснований на вимірюванні зусилля, необхідного для сколювання ділянки бетону на ребрі конструкції.

Якщо прогонова будова не містить залізобетонних несних елементів, даний показник не розглядають, а його вагомість розподіляють пропорційно іншим критеріям оцінки прогонової будови.

Наявність карбонізації бетону. Карбонізація бетону — це хімічний процес, під час якого вуглекислий газ (CO_2) з повітря реагує з гідратом кальцію, що міститься в бетоні, утворюючи карбонат кальцію. Після зниження водневого показника pH, арматура в бетоні стає вразливою до корозії, що може призвести до зниження міцності та довговічності конструкції (**табл. 4**).

Таблиця 4

Співвідношення зниження водневого показника pH до ступеня ураження

Рівень pH	Ступінь ураження, %
11	0
10	25
9	50
8	75
7	100

Фактичне значення pH порівнюють з проєктним за (1).

Якщо прогонова будова не містить залізобетонних несних елементів, даний показник не розглядають, а його вагомість розподіляють пропорційно іншим критеріям оцінки прогонової будови.

Наявність корозійного зносу основних металевих несних елементів. Корозійний знос основних несних елементів, таких як сталева арматура в бетоні або сталеві конструкції в мосту, є серйозною проблемою, що може суттєво знизити міцність і довговічність споруд.

Ступінь корозії визначається інструментальними замірами і порівнюється із проєктними даними.

Оцінювання виконують від 0 % до 100 % за мірою ослаблення робочого перерізу.

Оцінювання фізичного зносу елементів опор

Згідно з кваліметричною моделлю оцінювання опор включає наступні складові:

— наявність дефектів опор, що знижують несну здатність;

— наявність дефектів опор, що не впливають безпосередньо на несну здатність;

— наявність дефектів опорних частин, що знижують несну здатність;

— наявність дефектів, що не впливають безпосередньо на зниження несної здатності опорних частин;

— наявність зниження проєктних характеристик матеріалів.

Дефекти опор, що знижують їхню несну здатність. Дефекти опор мостів можуть суттєво знижувати їхню несну здатність та становити загрозу для стійкості та надійності конструкції. Далі наводяться характерні дефекти для опор мостів і шляхопроводів.

— тріщини утворені внаслідок перевантаження (утворення пластичних деформацій) або переміщення опори в плані;

— корозія арматури. Викликає збільшення об’єму арматури, що призводить до утворення тріщин у бетоні та зниження несної здатності;

— механічні пошкодження. Удари та пошкодження від наземних або плавучих транспортних засобів;

— пошкодження тіла опори зі зменшенням розрахункового перерізу.

Оцінювання виконуються від 0 % до 100 % за мірою ураження за впливом на несну здатність.

Дефекти опор, що не знижують їхню несну здатність, зазвичай є поверхневими або незначними пошкодженнями, які не впливають на загальну міцність та стійкість конструкції.

— поверхневі тріщини викликані усадкою бетону або через перепади температури;

— сколи бетону з оголенням та корозією конструктивної арматури;
— висоли на поверхні бетону;
— поверхневе відшарування або сколи бетону;
— корозія незахищених металевих деталей;
— розшарування верхнього шару бетону через вплив вологи або замерзання, але без проникнення в глибину структури.

Оцінювання виконують від 0 % до 100 % за мірою площі ураження.

Дефекти опорних частин, що знижують їхню несну здатність:

— тріщини;
— відколи, зрізи, розриви;
— зменшення рухомості;
— заклинювання;
— руйнування елементів.

Оцінювання виконують від 0 % до 100 % за мірою ураження за впливом на несну здатність.

Наявність зниження проєктних характеристик матеріалів опор

Визначення міцності бетону може виконуватись руйнівними та неруйнівними методами [1]. Ступінь корозії визначається інструментальними замірами і порівнюється із проєктними даними.

Якщо прогонова будова не містить залізобетонних несних елементів, даний показник не розглядається, а його вагомість розподіляється пропорційно іншим критеріям оцінки прогонової будови.

Оцінювання фізичного зносу елементів фундаментів

Згідно з кваліметричною моделлю оцінювання опор включає наступні складові:

— дефекти, що знижують несну здатність фундаментів;
— дефекти, що не знижують несну здатність фундаментів.

Дефекти, що знижують несну здатність фундаментів:

— тріщини в фундаменті. можуть бути викликані нерівномірним осіданням, перевантаженням або ослабленням ґрунту під фундаментом. горизонтальні тріщини можуть виникати через тиск ґрунту або води на основу фундаменту;
— осідання фундаменту викликає нерівномірний розподіл навантажень і тріщини в надбудові. загальне осідання вказує на ослаблення ґрунту або недостатню глибину закладання фундаменту;
— корозія арматури знижує міцність залізобетонних фундаментів, зменшуючи здатність арматури сприймати навантаження;
— підмивання фундаменту може призвести до його осідання;
— дефекти будівництва. використання неякісного бетону або арматури може знизити міцність фундаменту. порушення технології будівництва може призвести до утворення пустот або слабких зон у фундаменті;
— пошкодження фундаментів вибуховим навантаженням може призвести до пошкодження загальної цілісності конструкції.

Оцінювання виконують від 0 % до 100 % за мірою ураження за впливом на несну здатність.

Оцінювання фізичного зносу елементів мостового полотна

Згідно з кваліметричною моделлю оцінювання стану мостового полотна включає наступні складові:

— дорожнє покриття;
— гідроізоляція на споруді;
— водовідведення;
— деформаційні шви;
— огорожа безпеки;
— покриття на тротуарі;
— поручнева огорожа.

Оцінювання виконують від 0 % до 100 % за мірою зносу.

Оцінювання фізичного зносу елементів підходів

Згідно з кваліметричною моделлю оцінювання стану підходів до споруди включає наступні складові:

— огорожа безпеки на підходах;
— покриття на підходах;
— укріплення конусів опор.

Оцінювання виконують від 0 % до 100 % за мірою зносу.

Оцінювання фізичного зносу (стану) русла

Згідно з кваліметричною моделлю оцінювання стану русла включає наступні складові:

— засміченість русла;
— розмив / намив русла.

Засміченість русла визначають візуально експертом за наявністю перешкоджаючих факторів для пропуску води.

Розмив / намив русла визначають візуально експертом за наявністю перешкоджаючих факторів для пропуску води.

Основні методи і підходи, які використовують для визначення розмиву русла:

— Візуальний огляд. Перевірка видимих ознак розмиву.
— Використання ехолотів для визначення глибини води та форми дна русла. Це дозволяє виявити зміни в глибині та можливі осередки розмиву.
— Використання лазерного сканування для створення детальних тривимірних моделей русла.
— Акустична томографія для дослідження внутрішньої структури дна.
— Електричний резистивітет. Вимірювання електричного опору ґрунту для виявлення зон розмиву, які можуть мати інші фізичні характеристики порівняно з незайманим ґрунтом.
— Георадар (GPR). Використання радіохвиль для дослідження внутрішньої структури ґрунту та виявлення зон розмиву.
— Гідродинамічні моделі моделювання течії. Використання програмного забезпечення для моделювання течії води в руслі та визначення потенційних зон розмиву на основі швидкості та напрямку течії. Моделювання впливу паводків та інших екстремальних подій на русло.
— Тестові буріння та зондаж. Виконання буріння для взяття проб ґрунту та визначення його складу і стану.
— Моніторинг руху та осідання опор.

Оцінювання виконують від 0 % до 100 % за мірою зносу.

Оцінювання функціонального зносу елементів

Згідно з кваліметричною моделлю наведені критерії оцінювання функціонального зносу автодорожнього мосту наведені у **табл. 5** і **табл. 6**.

Таблиця 5

Функціональний знос конструктивних елементів за методом їх оцінювання

Ч.ч.	Конструктивний елемент	Метод оцінювання	Умовне позначення
1	Наявність огорожі безпеки	Експертний	Р27
2	Наявність поручневої огорожі	Експертний	Р28
3	Наявність дорожньої розмітки	Експертний	Р29
4	Габарит проїзду по споруді	Експериментальний	Р30
5	Габарит проходу на тротуарі	Експериментальний	Р31
6	Підмостовий габарит по ширині (для судноплавних річок)	Експериментальний	Р32
7	Підмостовий габарит по висоті (для судноплавних річок)	Експериментальний	Р33

Кінець таблиці 5

Ч.ч.	Конструктивний елемент	Метод оцінювання	Умовне позначення
8	Отвір мосту	Експериментальний	Р34
9	Поперечний профіль покриття на споруді	Експериментальний	Р35
10	Обмеження швидкості руху по споруді	Експертний	Р36
11	Обмеження габариту проїзду по ширині	Експертний	Р37
12	Обмеження габариту проїзду по висоті	Експертний	Р38
13	Обмеження максимальної маси ТЗ	Експертний	Р39
14	Шумове забруднення	Експертний або експериментальний	Р40
15	Стан русла	Розрахунковий	Р41

Оцінювання функціонального зносу елементів мосту є важливою складовою загальної оцінки стану транспортної споруди. Функціональний знос ($S2$) відображає ступінь відповідності характеристик мосту сучасним вимогам експлуатації та нормативам, незалежно від його фізичного стану.

Таблиця 6

Критерії оцінювання функціонального зносу споруди

Ч.ч.	Конструктивний елемент	Критерії оцінювання	Знос, %
1	Наявність огорожі безпеки	Наявна	0
		Частково відсутня (окрема секція)	50
		Відсутня понад 10 % від загальної кількості огорожі	100
2	Наявність поручневої огорожі	Наявна	0
		Частково відсутня	50
		Повністю відсутня	100
3	Наявність дорожньої розмітки	Наявна	0
		Частково відсутня	50
		Повністю відсутня	100
4	Габарит проїзду по споруді	Відповідає вимогам	0
		Частково не відповідає вимогам	50
		Не відповідає вимогам	100
5	Габарит проходу на тротуарі	Відповідає вимогам	0
		Частково не відповідає вимогам	50
		Не відповідає вимогам	100
6	Отвір мосту	Відповідає вимогам	0
		Частково не відповідає вимогам	50
		Не відповідає вимогам	100
7	Поперечний профіль покриття на споруді	Відповідає вимогам	0
		Частково не відповідає вимогам	50
		Не відповідає вимогам	100
8	Обмеження швидкості руху по споруді	Відсутнє	0
		Наявне	100

Кінець таблиці 6

Ч.ч.	Конструктивний елемент	Критерії оцінювання	Знос, %
9	Обмеження габариту проїзду по ширині	Відсутній	0
		Наявний	100
10	Обмеження габариту проїзду по висоті	Відсутній	0
		Наявний	100
11	Обмеження максимальної маси транспортного засобу для пропуску по споруді	Відсутнє	0
		Зменшення маси пропуску до 10 % від проєктної	50
		Зменшення маси пропуску на понад 10 % від проєктної	100
12	Шумове забруднення	Відсутнє	0
		Наявне	100
13	Стан русла (зона впливу) (визначається розрахунком згідно п. 3.8)	Відсутнє	0
		Наявне	згідно з (3.1)

Оцінювання показників функціонального зносу виконують згідно з (2).

Висновки

Комплексний підхід до оцінки якості мостів дозволяє отримати детальну та об’єктивну картину стану споруди, аналіз як фізичного, так і функціонального зносу елементів мосту, забезпечує повне розуміння не тільки поточного технічного стану, але й відповідності споруди сучасним вимогам експлуатації та передбачає ретельну оцінку кожного елемента мосту, включаючи прогонову будову, опори, фундаменти, мостове полотно та інші компоненти застосовуючи різні методи оцінки, включаючи візуальний огляд, інструментальні вимірювання, розрахункові методи та експертні оцінки.

Використання сучасних програмних комплексів для аналізу вантажопідйомності та інших характеристик мосту підвищує точність оцінки, а наведені методи дозволяють якісно оцінити різні параметри, що впливають на загальний стан мосту враховуючи зміни вимог до конструктивних особливостей елементів з часом, що полегшує прийняття обґрунтованих рішень щодо обслуговування, ремонту та довгострокової експлуатації мостів.

Дослідження виконано за підтримки Національного фонду досліджень України в рамках гранту № 2022.01/0142 «Розробка моделі навантаження за фактичними параметрами великовагового рухомого складу для визначення вантажно-пропускної здатності автодорожніх мостів при їх відновлені та експлуатації у воєнний і повоєнний періоди».

Список літератури

1. Борисенко М. А., Зеленський Б. М., Завгородній С. С., Івоненко О. Ю. Дослідження міцності бетону неруйнівними та руйнівними методами. *Дороги і мости.* 2024. Вип. 29. С. 225–234. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.29.225.

2. ДСТУ 8908:2019. Автодорожні мости. Класифікація дефектів. Київ, 2020. 25 с. (інформація та документація).

3. ДСТУ 9181:2022. Настанова з оцінювання та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ, 2022. 52 с. (інформація та документація).

4. МР В.2.3-37641918-921:2021. Методичні рекомендації з визначення вантажопідйомності автодорожніх мостів. Київ, 2021. 83 с. (Інформація та документація).

References

1. Borysenko M. A., Zelenskyi B. M., Zavhorodnii S. S., Ivonenko O. Yu. Doslidzhennia mitsnosti betonu neruinivnymy ta ruinivnymy metodamy (Study of the strength of concrete by non-destructive and destructive methods. Roads and bridges). *Dorohy i mosty.* 2024. Issue 29. P. 225–234. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.29.225 [in Ukrainian].
2. DSTU 8908:2019 Avtodorozhni mosty. Klasyfikatsiia defektiv (Road bridges. Classification of defects). Kyiv, 2020. 25 p. (informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
3. DSTU 9181:2022 Nastanova z otsiniuvannia ta prohnozuvannia tekhnichnoho stanu avtodorozhnikh mostiv (Guidelines for evaluating and predicting the technical condition of highway bridge). Kyiv, 2022. 52 p. (informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
4. MR V.2.3-37641918-921:2021 Metodychni rekomendatsii z vyznachennia vantazhopidiomnosti avtodorozhnikh mostiv (Methodical recommendations for determining the carrying capacity of highway bridges). Kyiv, 2021. 83 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

Olena Slavinska[1], *D.Sc., Prof., https://orcid.org/0000-0002-9709-0078*
Inessa Rutkovska[1], *Ph.D., Prof., https://orcid.org/0000-0001-7832-4222*
Olena Usychenko[1], *Ph.D., Associate Prof., https://orcid.org/0000-0002-7482-8420*
Bohdan Zelenskyi[2], *https://orcid.org/0000-0002-9949-3209*

[1]*National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine*
[2]*State Enterprise "National Institute for Development Infrastructure" (SE "NIDI"), Kyiv, Ukraine*

METHOD OF PHYSICAL AND FUNCTIONAL WEAR ASSESSMENT IN DETERMINING THE QUALITY CONDITION OF ROAD BRIDGES

Abstracts

Introduction. Assessment of the qualitative condition of road bridges is a complex process that involves the analysis of physical and functional deterioration of structures. Physical deterioration is associated with deterioration of materials and loss of strength of elements, while functional deterioration is manifested in a decrease in the bearing capacity and deformability of the bridge.

Problems. To determine the level of wear, a comprehensive method is used, including visual inspection, calculation estimates and experimental studies. In addition, a differentiated method is used, which allows comparing actual values with design values and drawing conclusions about the quality of individual elements and the structure as a whole.

Objective. The expert method is an important addition to other methods of assessing the technical condition of bridges.

Materials and Methods. It allows to take into account factors that are difficult to formalize and provides a comprehensive understanding of the condition of the structure. However, in order to obtain reliable results, it is necessary to carefully approach the formation of an expert group and the organization of the assessment process.

Results. Assessment of the qualitative condition of bridges is critical to ensuring the safety of their effective operation. The qualimetric model offers a detailed and structured approach to assessing the physical deterioration of a bridge by dividing the entire structure into key elements and evaluating each of them according to various parameters and provides a comprehensive assessment of its condition.

Conclusions. This approach is the basis for effective management of transport infrastructure, optimization of maintenance costs and ensuring long-term safety of bridges.

Keywords: highway bridge, transport structure, qualitative condition, technical condition, operational condition, defect, qualimetric model, span structure, support, foundation.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.298

УДК 625.852.061

Онищенко А. М.[1], *д-р техн. наук, проф., http://orcid.org/0000-0002-1040-4530*
Аніщенко Д. В.[2], *http://orcid.org/0009-0008-7721-4644*
Гусев Д. Ю.[3], *http://orcid.org/0000-0002-6972-1944*
Цеханський О. Е.[3], *канд. техн. наук., http://orcid.org/0000-0002-4084-0720*

[1]*Національний транспортний університет (НТУ), Київ, Україна*
[2]*Комунальна корпорація «Київавтодор», Київ, Україна*
[3]*ТОВ «Капонір-Групп», Київ, Україна*

ПІДВИЩЕННЯ КОЛІЄСТІЙКОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ПОКРИВІВ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ І АВТОДОРОЖНІХ МОСТАХ З ДОПОМОГОЮ ЗАСТОСУВАННЯ АРМУЮЧИХ СИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ADFORS GLASGRID

Анотація

Вступ. Одним із найпоширеніших дефектів асфальтобетонного покриву автомобільних доріг та автодорожніх мостів, що виникають у процесі їх експлуатації, є утворення колії.

Проблема збільшення коліестійкості та довговічності асфальтобетонних покривів автомобільних доріг, міських вулиць та доріг на перехрестях, перед світлофорними переходами, на зупинках громадського транспорту та на правих крайніх смугах руху мостів та шляхопроводів є дуже актуальною у всьому світі.

Одним із дієвих засобів вирішення цієї проблеми є підвищення коліестійкості та довговічності асфальтобетонних покривів за рахунок їх армування армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid®.

Проблематика. Проєктування конструкцій дорожніх одягів, стійких до утворення тріщин та колії, та застосування сучасних технологій будівництва та ремонту асфальтобетонних покриттів дозволять істотно підвищити довговічність та експлуатаційні властивості автомобільних доріг.

Сучасний світовий досвід свідчить, що застосування армуючих синтетичних матеріалів для армування асфальтобетонних шарів дозволяє запобігти передчасному тріщино- та колієутворенню в асфальтобетонному покриві та значно збільшити міжремонтний строк та довговічність дорожніх покривів автомобільних доріг, міських вулиць і доріг, мостів і шляхопроводів.

У даній роботі висвітлюються результати експериментальних досліджень, виконаних на замовлення ТОВ «Капонір-Групп» Державним підприємством «Дорожній науково-технічний центр» (ДП «Дорцентр») для оцінки ефективності застосування армуючих синтетичних матеріалів Adfors GlasGrid® виробництва компанії «Saint-Gobain Adfors CZ» (Чехія) порівняно з альтернативними армуючими синтетичними матеріалами для підвищення коліестійкості та довговічності асфальтобетонних покривів автомобільних доріг, міських вулиць і доріг, мостів і шляхопроводів.

Мета. Забезпечення коліестійкості і за рахунок цього підвищення довговічності асфальтобетонних покриттів — це комплексна проблема, яка вирішується як в процесі конструювання та розрахунку конструкції дорожнього одягу, підбору оптимальних складів асфальтобетонних сумішей дорожніх покриттів, в'яжучих і бітумних емульсій для підгрунтовки, так і при дотриманні технологій виконання будівельних і ремонтних робіт, а також за допомогою застосування сучасних матеріалів і технологій армування асфальтобетонних шарів армуючими синтетичними матеріалами. Метою роботи є експериментальне дослідження ефективності застосування армуючих синтетичних матеріалів для підвищення коліестійкості та довговічності асфальтобетонних покривів.

Результати. Випробування армованого асфальтобетонного покриву на стійкість до утворення колії показало, що армування здатне значно підвищити колієстійкість асфальтобетонного покриву.

Армування асфальтобетонного покриву армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid® дозволяє збільшити колієстійкість, тобто зменшити глибину колії та загальну площу колієутворення на 19 – 35 %. При цьому, найбільшої колієстійкості асфальтобетонного покриву можна досягнути при його армуванні геоґратками Adfors GlasGrid GG100.

Армування асфальтобетонного покриву армуючими синтетичними матеріалами інших виробників, що досліджувалися, показало зменшення колієстійкості армованого асфальтобетонного покриву порівняно з неармованим.

Таким чином, армуючі синтетичні матеріали Adfors GlasGrid® збільшують колієстійкість, а отже і довговічність асфальтобетонного покриву. При цьому, дослідження показали, що армуючі синтетичні матеріали Adfors GlasGrid® підтвердили свою ефективність при їх використанні під верхнім шаром покриву.

Висновки. За результатами досліджень доведено ефективність армування армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid® асфальтобетонних шарів дорожніх покриттів, у тому числі верхнього шару асфальтобетонного покриву. Це підтверджує можливість та доцільність використання армуючих синтетичних матеріалів Adfors GlasGrid® під верхнім шаром асфальтобетонного покриву, у тому числі на мостах і шляхопроводах, для підвищення колієстійкості та довговічності асфальтобетонних покривів.

Ключові слова: автомобільна дорога, армований асфальтобетонний шар, армуючий синтетичний матеріал, асфальтобетонний покрив, довговічність, колієстійкість, міст.

Вступ

Поряд з виникненням тріщин та вибоїн, утворення колійності є одним із найпоширеніших дефектів дорожнього покриву, що виникають у процесі експлуатації. Колійність ускладнює стік води з поверхні асфальтобетонного покриву, що провокує його прискорену руйнацію і, крім зниження комфортності проїзду, є причиною зниження безпеки руху.

Результати досліджень свідчать, що утворення колії неприпустимої глибини становить від 20 % до 35 % усіх причин зниження транспортно-експлуатаційних якостей автомобільних доріг. У ряді країн встановлені нормативні межі допустимої глибини колії, а також допустимої товщини води в колії. Встановлено, що при високих швидкостях руху та швидкому виході з колії ризик виникнення ДТП перевищує нормативне значення при глибині колії близько 15 – 17 мм. Така колія, як правило, може з’являтися в асфальтобетонному покриві автомобільних доріг вже на 3–5-й рік експлуатації.

Дуже актуальною є проблема збільшення колієстійкості та довговічності асфальтобетонних покривів автомобільних доріг, міських вулиць і доріг на перехрестях, перед світлофорними переходами, на зупинках громадського транспорту та на правих крайніх смугах руху мостів та шляхопроводів.

Проєктування конструкцій дорожніх одягів, стійких до утворення колії, та застосування сучасних технологій будівництва та ремонту асфальтобетонних покриттів дозволять істотно підвищити довговічність та експлуатаційні властивості автомобільних доріг. Сучасний світовий досвід свідчить, що застосування армуючих синтетичних матеріалів (АСМ) для армування асфальтобетону дозволяє запобігти передчасному колієутворенню в асфальтобетонному покритті та значно збільшити міжремонтний строк та довговічність дорожніх покривів автомобільних доріг, міських вулиць і доріг, мостів і шляхопроводів.

Забезпечення колієстійкості і за рахунок цього підвищення довговічності асфальтобетонних покриттів — це комплексна проблема, яка вирішується як в процесі конструювання та розрахунку конструкції дорожнього одягу, підбору оптимальних складів асфальтобетонних сумішей дорожніх покриттів, в’яжучих та бітумних емульсій для підгрунтовки, так і при дотриманні технологій виконання будівельних та ремонтних робіт, а також за допомогою застосування сучасних матеріалів і технологій армування асфальтобетонних шарів армуючими синтетичними матеріалами. Повномасштабного дослідження та розроблення єдиних методів в світі поки що не існує.

У даній роботі досліджується ефективність застосування армуючих синтетичних матеріалів Adfors GlasGrid® виробництва компанії «Saint-Gobain Adfors CZ» (Чехія) для підвищення колієстійкості та довговічності асфальтобетонних покривів на автомобільних дорогах та автодорожніх мостах.

Основна частина

Одним з провідних світових виробників армуючих синтетичних матеріалів є французький концерн «Saint-Gobain» та його чеський підрозділ «Saint-Gobain Adfors CZ», який завдяки використанню найновітніших наукових і технологічних розробок та впровадженню розроблених патентів створив виробництво армуючих геоґраток нового покоління з унікальними властивостями [1 – 3].

Концерн випускає армуючі синтетичні матеріали зі скловолокна торгівельної марки Adfors GlasGrid®, що дозволяють знизити ризик появи температурних, утомних і відображених тріщин в асфальтобетонних покрива, запобігти колієутворенню, суттєво зменшити витрати на будівництво, ремонт та утримання автомобільних доріг і подовжити строк служби дорожнього одягу.

АСМ Adfors GlasGrid протестовані в провідних лабораторіях Європи і світу, а також в лабораторіях Державного підприємства «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (нині Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»)), Національного транспортного університету (НТУ), Київського національного університету технологій та дизайну (КНУТД), ДП «Дорцентр».

Теоретичними та експериментальними дослідженнями Університету штату Південна Кароліна, США встановлено [4, 5], що армування асфальтобетонного покриву АСМ Adfors GlasGrid підвищує несну здатність конструкції дорожнього одягу, за рахунок чого збільшується опір зсувній деформації та зменшується глибина колії та площа колієутворення. Відмічається, що підвищена несуча здатність армованого асфальтобетонного покриву обумовлена опором розтягу Adfors GlasGrid, утриманням та підвищеним тертям частинок мінерального заповнювача, заблокованих в отворах геогратки Adfors GlasGrid, і це і є основними факторами, що впливають на зменшення колійності.

Дослідження НТУ [6–8] підтвердили високу армуючу здатність АСМ Adfors GlasGrid, які засвідчили, що розрахункові характеристики армованого асфальтобетону значно перевищують характеристики такого ж неармованного асфальтобетону. При цьому, жорсткість каркасу геограток Adfors GlasGrid при підвищених літніх температурах, коли асфальтобетон стає пластичним і проявляє в’язко-пружні властивості, дозволяють запобігти виникненню зсувних деформацій. Покриття міцної ґратки запатентованим еластомерним полімером забезпечує відмінну адгезію ґеограток до асфальтобетонних шарів і відмінну адгезію асфальтобетонних шарів між собою [2, 3, 7, 8].

Все це разом призводить до того, що армований асфальтобетонний покрив працює, як єдиний багатошаровий матеріал з підвищеним загальним модулем пружності та збільшеною стійкістю до зсувних деформацій. У результаті, армування асфальтобетонного покрив армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid дозволяє запобігти колієутворенню та значно збільшити довговічність конструкції дорожнього одягу.

Армуючі синтетичні матеріали Adfors GlasGrid являють собою скловолоконну високоміцну ґратку, покриту запатентованим еластомерним полімером, що дозволяє забезпечити максимально повне об’єднання із структурою асфальтобетону і досягти суттєвого армуючого ефекту. Завдяки цьому значно знижується ризик появи температурних, утомних і відображених тріщин в асфальтобетонних покривах і ризик колієутворення, суттєво зменшуються витрати на будівництво, ремонт та утримання автомобільних доріг та подовжується строк служби дорожнього одягу.

У Центрі випробувань ДП «Дорцентр» на замовлення ТОВ «Капонір-Групп» проведено науково-технічну роботу щодо виявлення ефективності застосування армуючих синтетичних

матеріалів Adfors GlasGrid під верхнім шаром асфальтобетонного покриву проїзних частин автомобільних доріг і міських вулиць ті доріг.

Досліджувалось шість армуючих синтетичних матеріалів: три армуючі матеріали Adfors GlasGrid® та три альтернативні армуючі синтетичні матеріали, а саме:

Армуючі синтетичні матеріали Adfors GlasGrid®:

— армуючий синтетичний матеріал GlasGrid® GG50 – самоклеюча міцна ґратка з жорсткою структурою зі скловолокна типу Е, покрита запатентованим еластомерним полімером та самоклеючим нижнім шаром, що активується тиском, з міцністю на розтяг ((55×55) ± 5) КН/м та максимальним відносним подовженням (2,5 ± 0,5) % [1] (**рис. 1а**);

— армуючий синтетичний матеріал GlasGrid® GG100 – самоклеюча міцна ґратка з жорсткою структурою зі скловолокна типу Е, покрита запатентованим еластомерним полімером та самоклеючим нижнім шаром, що активується тиском, з міцністю на розтяг **((**115×115) ± 15) КН/м та максимальним відносним подовженням (2,5 ± 0,5) % [1] (**рис. 1б**);

— армуючий синтетичний матеріал GlasGrid® CG50L – композиційний матеріал що складається з міцної ґратки зі скловолокна типу Е, покритої запатентованим еластомерним полімером, та шару нетканого текстильного матеріалу, з міцністю на розтяг **((**55×55) ± 5) КН/м та максимальним відносним подовженням (2,5 ± 0,5) % [1] (**рис. 1в**);

Альтернативні армуючі синтетичні матеріали:

— армуючий синтетичний матеріал 1 альтернативного виробника — армуюча геоґратка з волокон полівінілалкоголю (PVA) з геотекстильною підложкою, просоченою бітумом, міцністю на розтяг (100 / 100) кН/м (**рис. 1г**);

— армуючий синтетичний матеріал 2 альтернативного виробника — армуюча геоґратка з скловолокна з геотекстильною підложкою, просоченою бітумом, міцністю на розтяг (100 / 100) кН/м (**рис. 1д**);

— армуючий синтетичний матеріал 3 альтернативного виробника — армуюча геоґратка з поліефірних волокон (поліетилентетрафталат, PET) з геотекстильною підложкою, просоченою бітумом, міцністю на розтяг (50 / 50) кН/м (**рис. 1е**).

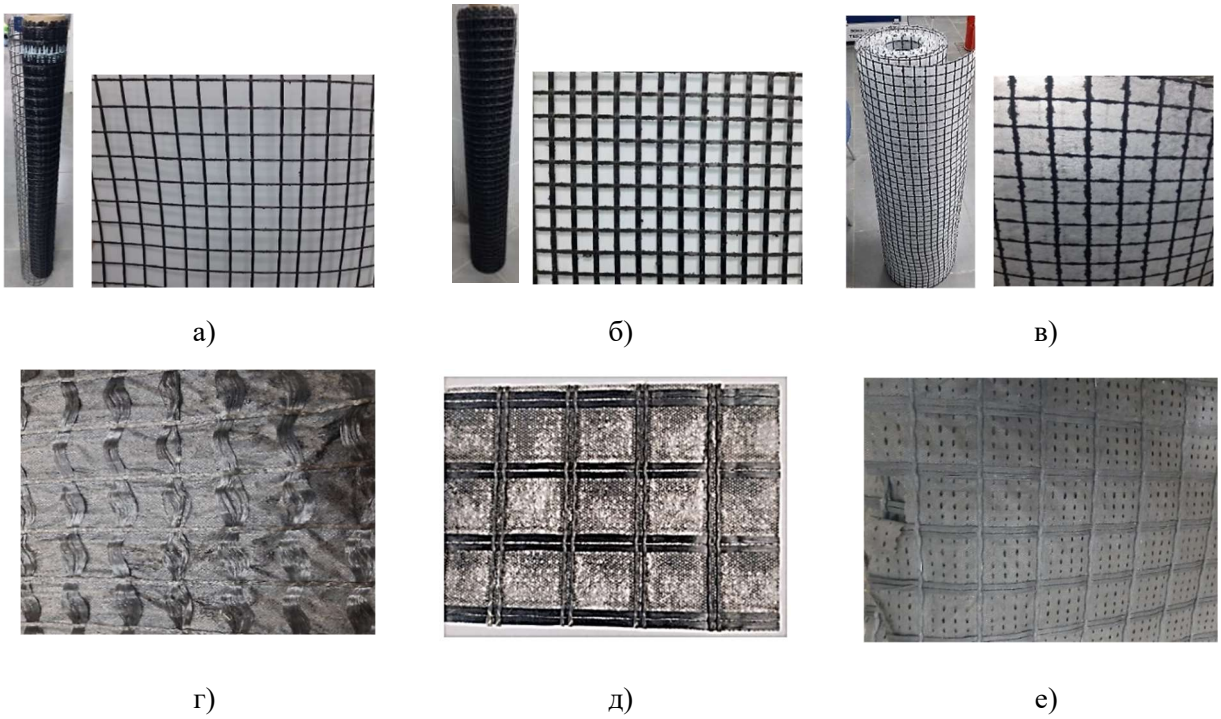
Для випробувань виготовляли зразки у вигляді двох асфальтобетонних плит, розташованих одна на одній. Двошарові асфальтобетонні зразки-плити виготовляли на секторному пресі згідно з ДСТУ EN 12697-3. Для виготовлення зразків-плит було застосовано асфальтобетонну суміш типу А з максимальним розміром зерен 20 мм із застосуванням бітуму дорожнього в’язкого марки БНД 70/100 згідно з ДСТУ Б В.2.7-119. У лабораторії Центру випробувань ДП «Дорцентр» було також виготовлено емульсію бітумну дорожню марки ЕКШ-60, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-129.

Для виконання досліджень у лабораторних умовах імітувалось армування верхнього шару асфальтобетонного покриву переліченими армуючими синтетичними матеріалами, а також для оцінки єфективності застосування армуючих синтетичних матеріалів досліджувались зразки-плити без армування. При цьому, в нижньому асфальтобетонному шарі імітувалась тріщина.

Виготовлені зразки досліджували на колійність згідно з ДСТУ EN 12697-22:2018 «Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 22. Колійність».

Здатність армованого асфальтобетонного покриву до деформування оцінювали вимірюванням глибини колії, що виникає в зразках-плитах (**рис. 2**) у результаті багаторазового проходу навантаженого колеса за постійної температури, на установці для випробування на колієутворення асфальтобетону DWT виробництва CONTROLS, Італія (**рис. 3**).

Випробування виконували колесом з гумовою шиною шириною (50 ± 5) мм та зовнішнім діаметром 200-205 мм. Навантага від колеса на зразок становила 700 Н.



а) б) в)

г) д) е)

а) Adfors GlasGrid® GG50;
б) Adfors GlasGrid® GG100;
в) Adfors GlasGrid® CG50L;
г) альтернативний армуючий синтетичний матеріал 1 на основі полівінілалкоголю (PVA) з геотекстильною підложкою, 100 / 100 кН/м;
д) альтернативний армуючий синтетичний матеріал 2 на основі скловолокна з геотекстильною підложкою, 100 / 100 кН/м;
е) альтернативний армуючий синтетичний матеріал 3 на основі поліефірних волокон (PET) з геотекстильною підложкою, 50 / 50 кН/м.

Рисунок 1 — Армуючі синтетичні матеріали, що досліджувалися



Рисунок 2 — Зразок-плита для випробування на визначення глибини колії

Випробування проводили у два етапи:
1) за робочої температури 50 ºС, кількість циклів: 10 000 (20 000 проходів колеса);
2) за робочої температури 60 ºС, кількість циклів: 10 000 (20 000 проходів колеса).
Перед кожним етапом випробування зразки термостатувались протягом 6 годин.



Рисунок 3 — Установка для випробування на колійність і розміщення зразків-плит у формах

Колія в асфальтобетонному покриві виникає під дією транспортного навантаження від колеса, що рухається, у результаті структурного руйнування зв'язків між частинками мінерального заповнювача у верхньому шарі та поздовжнього зсува часток нижнього шару **(рис. 4**). Як зазначалося, жорсткий каркас армуючого синтетичного матеріалу може запобігти цим процесам або значно уповільнити їх.

У результаті, АСМ Adfors GlasGrid® з жорстким каркасом, що досліджувалися, показують значно кращі показники колієстійкості армованого асфальтобетону у порівнянні з неармованими шарами, а також порівняно з АСМ альтернативних виробників. При цьому як на неармовоному асфальтобетонному покриві, так і на армованому різними АСМ, процес утворення колії уповільнюється з часом (**рис. 5**).

Результати випробування асфальтобетонних зразків-плит на колійність наведені на **рис. 6**.

Результати випробувань свідчать про значне збільшення колієстійкості (тобто зменшення глибини колії та загальної площини колієутворення) зразків-плит з армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid® порівняно із зразком-плитою без армуючого матеріалу, а саме:

— для матеріалу Adfors GlasGrid® GG50:

— після І етапу випробувань (20 000 проходів колеса за температури +50 ºС) — на 18,4 %;

— після ІІ етапу випробувань (ще 20 000 проходів колеса за температури +60 ºС) — на 18,7 %;

— для матеріалу Adfors GlasGrid® GG100:

— після І етапу випробувань (20 000 проходів колеса за температури +50 ºС) – на 23,7 %;

— після ІІ етапу випробувань (ще 20000 проходів колеса за температури +60 ºС) — на 34,7 %;

— для матеріалу Adfors GlasGrid® CG50L:

після І етапу випробувань (20 000 проходів колеса за температури +50 ºС) — на 13,2 %;

після ІІ етапу випробувань (ще 20 000 проходів колеса за температури +60 ºС) — на 20,0 %.

Ці результати збігаються з результатами випробування в Університеті Північної Кароліни (США), виконаних для матеріалів Adfors GlasGrid® для інших складів асфальтобетонного покриву. Після прикладання 400 000 циклів навантаження при температурі +50 °С спостерігалося зменшення глибини колії в армованому асфальтобетонному покриві на 25 % порівняно з неармованим покривом [2 – 5].

Армуючі синтетичні матеріали альтернативних виробників показали зменшення колієстійкості армованого асфальтобетонного покриву порівняно з неармованим. Спостерігалося збільшення загальної глибини колії:

— для армуючого синтетичного матеріалу 1 на основі полівінілалкоголю (PVA) з геотекстильною підложкою (100 / 100) кН/м:

- після I етапу випробувань (20 000 проходів колеса при температурі +50 ºС) — на 31,6 %;
- після II етапу випробувань (ще 20 000 проходів колеса при температурі +60 ºС) — на 29,3 %.

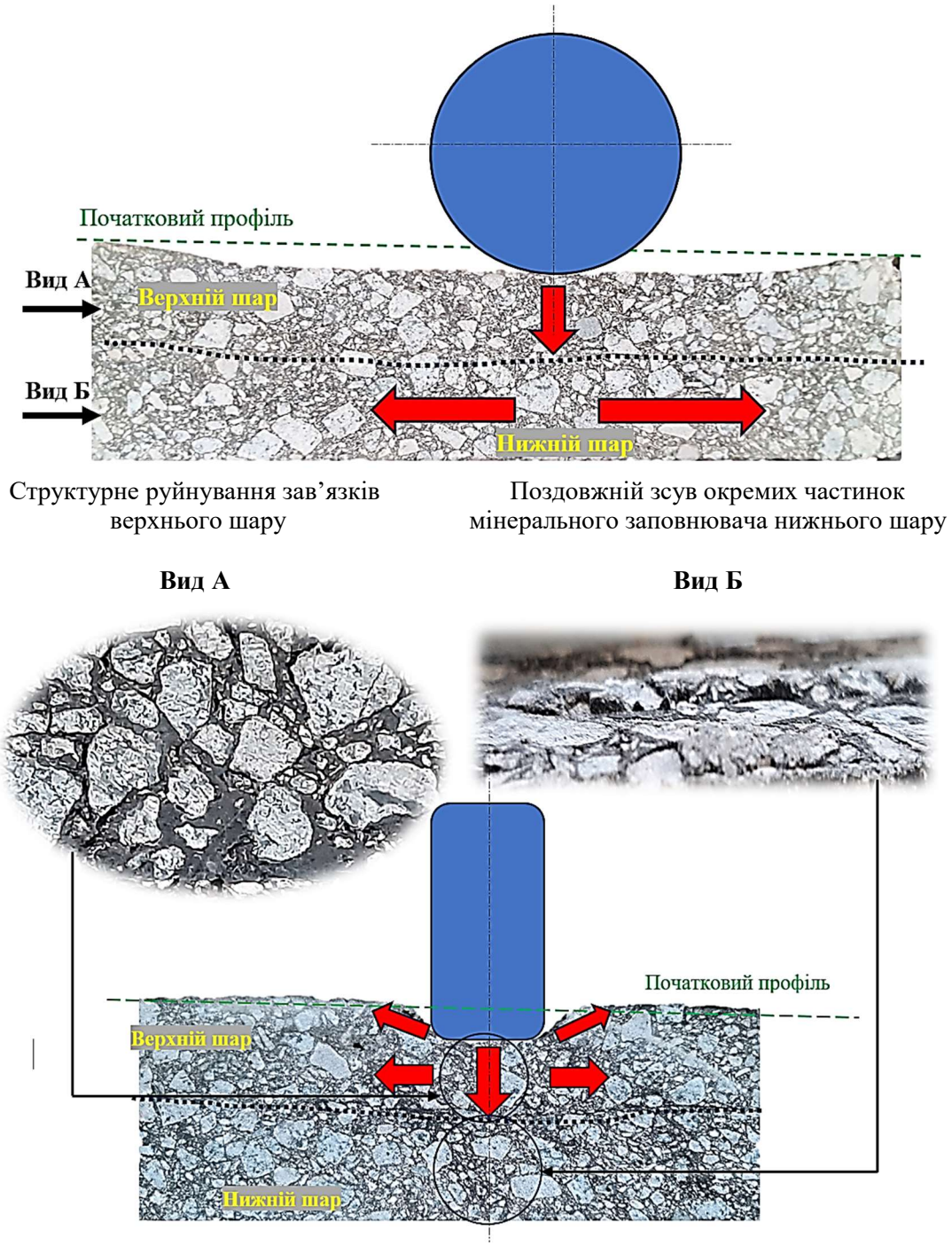
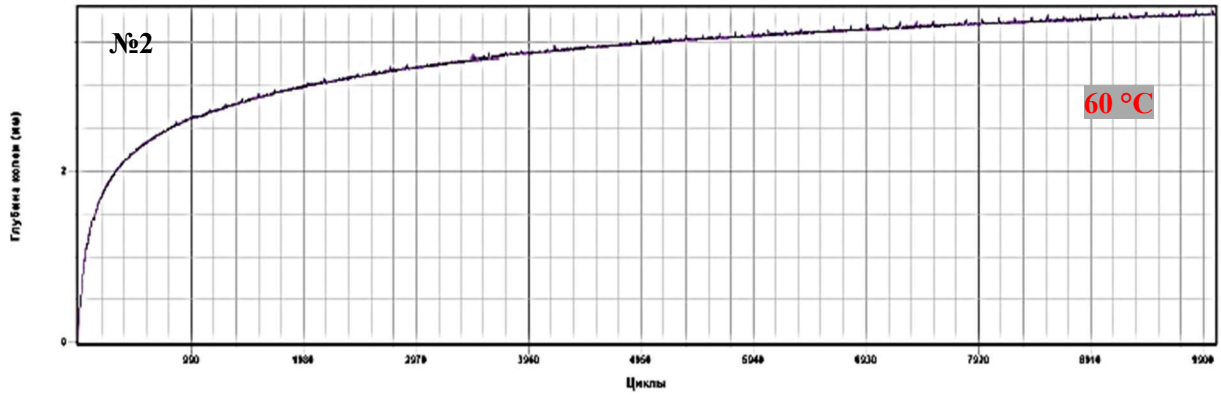
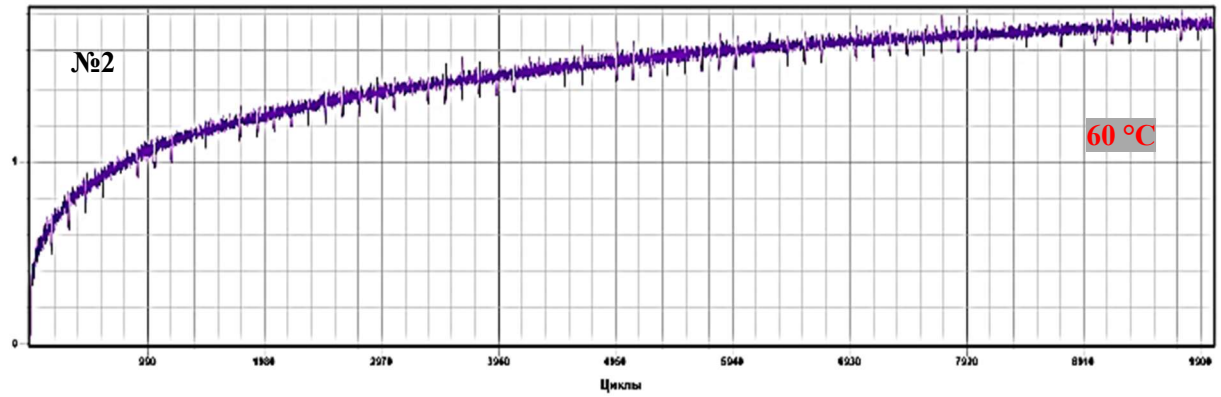


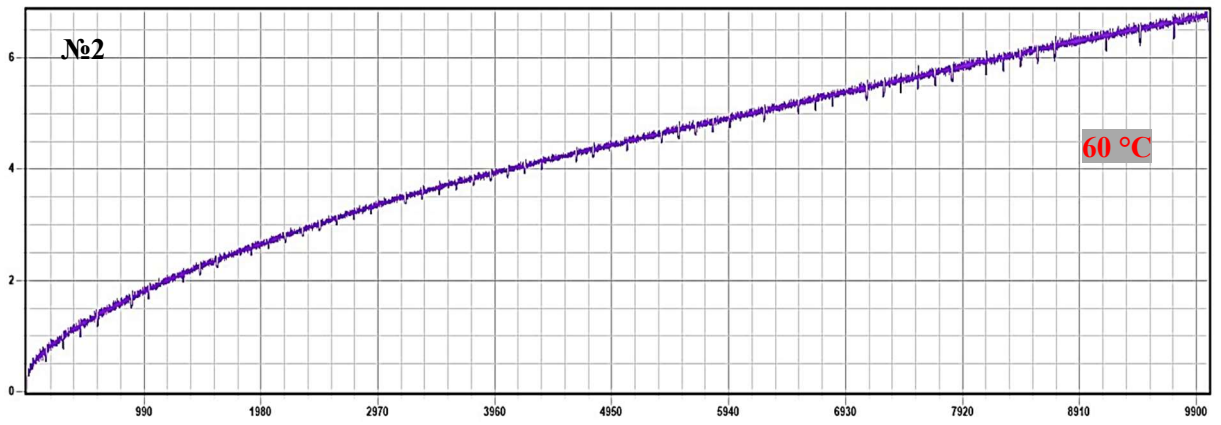
Рисунок 4 — Схема утворення колійності в конструктивних шарах



а)



б)



в)

а) без армування;
б) з армуванням ACM Adfors GlasGrid® GG100;
в) з армуванням ACM 2 альтернативного виробника на основі скловолокна з геотекстильною підложкою (100 / 100) кН/м.

Рисунок 5 — Типові графіки дінаміки утворення колії на зразках

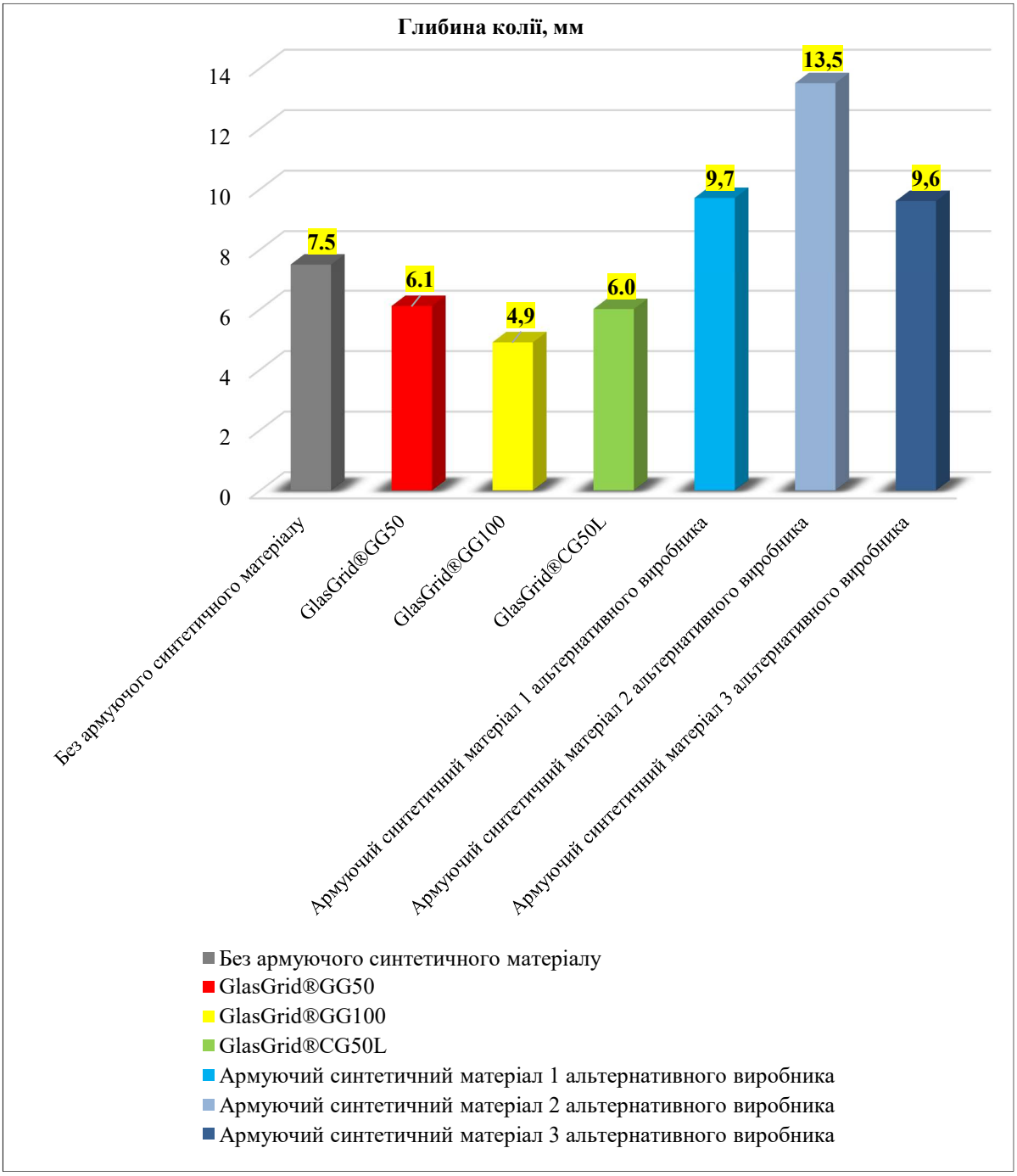


Рисунок 6 — Діаграма порівняння середніх значень кінцевих результатів глибини колії на зразках-плитах після 20 000 циклів навантаження (40 000 проходів колеса)

— для армуючого синтетичного матеріалу 2 на основі скловолокна з геотекстильною підложкою, (100 / 100) кН/м:

- після I етапу випробувань (20 000 проходів колеса при температурі +50 ºС) — на 57,9 %;
- після II етапу випробувань (ще 20 000 проходів колеса при температурі +60 ºС) — на 80,0 %;

— для армуючого синтетичного матеріалу 3 на основі поліефірних волокон (PET) з геотекстильною підложкою, (50 / 50) кН/м:

- після I етапу випробувань (20 000 проходів колеса при температурі +50 ºС) — на 26,3 %;
- після II етапу випробувань (ще 20 000 проходів колеса при температурі +60 ºС) — на 29,3 %.

Армуючий синтетичний матеріал 2 альтернативного виробника на основі скловолокна з геотекстильною підложкою, (100 / 100) кН/м, показав найгірші результати з усіх зразків. Показники глибини колії у зразку, армованого цим матеріалом, перевищують глибину колії у зразку, армованому армуючим синтетичним матеріалом Adfors GlasGrid® GG100, який також вироблений на основі скловолокна та має міцність (100 / 100) кН/м, у 2,8 рази (на 176 %).

При випробуваннях спостерігався досить значний розкид показників, що можна пояснити неоднорідністю асфальтобетонної суміші при виготовленні зразків-плит, зміною вологості та температури повітря у приміщенні під час випробування та випробуванням невеликої кількості зразків для кожного армуючого синтетичного матеріалу. Вважаємо, що дотримання вимог однорідності суміші та випробування більшої кількості зразків дозволить зменшити розкид отриманих показників. Разом з тим, загальна поведінка армуючих синтетичних матеріалів, їх рейтинг і вплив на колієстійкість асфальтобетонного покриву, не зміняться.

Після проведення випробувань був проведений аналіз торців зразків-плит, а саме візуально спостерігалось, яким чином відбулось переміщення мінерального заповнювача у верхньому та нижньому шарах. У верхньому асфальтобетонному шарі зразків спостерігалося руйнування зв'язків між мінеральним заповнювачем та органічним в'яжучим, утворилися тріщини (**рис. 4**). Також відбувалося витіснення матеріалу біля країв колії на поверхню (за лінію початкового профілю). У нижньому асфальтобетонному шарі візуально спостерігався поздовжній зсув окремих часток крупного заповнювача. При цьому, у зразках-плитах, армованих армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid®, руйнівні процеси у верхньому та нижньому шарах були зконцентровані переважно в проекції колії, не значно виходячи за її межі, і відбувалися у межах 70 – 85 мм, а у зразку-плиті без армуючого матеріалу та з альтернативними синтетичними матеріалами деформації значно виходили за межі проекції колії і відбувалися у межах 100 мм (при ширині колеса 50 мм).

Крім того, у зразку-плиті з альтернативним армуючим синтетичним матеріалом 1 на торці спостерігалося розшарування шарів. Це свідчить про те, що цей матеріал не забезпечує достатньої адгезії асфальтобетонних шарів. Вважаємо, що це є основою причиною незадовільної роботи цього матеріалу під циклами навантаження при проїзді колеса і отримання великих значень глибини колії та загальної площі колієутворення.

Таким чином, слід зазначити, що хоча армуючі синтетичні матеріали різних виробників досить широко використовуються при армуванні асфальтобетонного покриву між другим та третім зверху асфальтобетонними шарами дорожнього покриву, дослідження поведінки при армуванні під верхнім шаром покриву свідчить, що деякі з матеріалів не збільшують, а навпаки, зменшують колієстійкість покриву. Оскільки при застосуванні таких матеріалів в покриві збільшується глибина колії та загальна площа колієутворення порівняно з неармованим асфальтобетонним покривом, застосування саме таких матеріалів під верхнім шаром асфальтобетону погіршує загальні умови роботи асфальтобетонного покриву.

Всі досліджені армуючі синтетичні матеріали Adfors GlasGrid® при їх застосуванні під верхнім шаром покриву значно покращують загальні умови роботи асфальтобетонного покриву. Експериментально підтверджено, що армування верхнього шару асфальтобетонних покривів армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid® дозволяє значно зменшити глибину колії та площу колієутворення, тобто суттєво підвищує колієстійкість і довговічність асфальтобетонного покриву. Це підтверджує доцільність та ефективність застосування технологій використання таких матеріалів для збільшення колієстійкості та довговічності асфальтобетонних покривів автомобільних доріг, міських вулиць і доріг на перехрестях, перед світлофорними переходами, на зупинках громадського транспорту та на правих крайніх смугах руху автодорожніх мостів і шляхопроводів.

Висновки

Випробування армованого асфальтобетонного покриву на стійкість до утворення колії показало, що армування здатне значно підвищити колієстійкість асфальтобетонного покриву. Експериментально підтверджено, що армований асфальтобетонний покрив працює як єдиний багатошаровий матеріал з підвищеним загальним модулем пружності та збільшеною стійкістю до зсувних деформацій. Армування асфальтобетонного покриву армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid® дозволяє запобігти колієутворенню та значно збільшити довговічність конструкції дорожнього одягу.

Армування асфальтобетонного покриву армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid® дозволяє збільшити колієстійкість, тобто зменшити глибину колії та загальну площу колієутворення на 19 – 35 % . При цьому, найбільшої колієстійкості асфальтобетонного покриву можна досягнути при його армуванні геоґратками Adfors GlasGrid GG100.

Армування асфальтобетонного покриву армуючими синтетичними матеріалами інших виробників, що досліджувалися, показало зменшення колієстійкості армованого асфальтобетонного покриву порівняно з неармованим.

Таким чином, експериментально підтверджено, що армування асфальтобетонних покривів армуючими синтетичними матеріалами Adfors GlasGrid® дозволяє значно зменшити глибину колії та площу колієутворення, тобто суттєво підвищує колієстійкість, а отже і довговічність асфальтобетонного покриву. При цьому, дослідження показали, що армуючі синтетичні матеріали Adfors GlasGrid® підтвердили свою ефективність при їх використанні під верхнім шаром покриву.

Підтверджено доцільність і ефективність застосування технологій використання армуючих синтетичних матеріалів Adfors GlasGrid® з метою збільшення колієстійкості та довговічності асфальтобетонних покривів автомобільних доріг, міських вулиць і доріг, на перехрестях, перед світлофорними переходами, на зупинках громадського транспорту, на автодорожніх мостах і шляхопроводах.

Список літератури

1. Армуючі геогратки для асфальтобетону GlasGrid®. Мінікаталог – Saint-Gobain Adfors CZ s.r.o. Litomysl, The Czech Republic 2020. 19 c.
2. GlasGrid for asphalt overlays. Summary of GG tests GlasGrid for asphalt overlays. Adfors Saint-Gobain Summary Report. 2020. 26 p.
3. GlasGrid® for asphalt overlays. Adfors Saint-Gobain Technical Manual, 2020. 41 p.
4. Y. R. Kim, Y. Lee. Evaluation of geosynthetics and GlasGrid for rutting prevention in asphalt pavement. Final Report submitted to Saint-Gobain Technical Fabrics. – North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA, 2006. 21 p.
5. Kimb, Y. R., S. Lee, Y. Seo, O. El-Haggan. (2005) “Impact of Price Reductions on the Long-Term Pavement Performance of HMA Mixes in North Carolina”. Final report to the North Carolina Department of Transportation, Report No. FHWA/NC/2005-09.
6. Науковий супровід застосування армуючих синтетичних матеріалів у дорожньому будівництві. Етап 1 (договір № 22/10-18). Участь у маркетингових дослідженнях, аналіз вихідних даних, розробка програм експериментальних випробувань та підготовка експериментального обладнання. Звіт про науково дослідну роботу, Київ. 2018. 150 с.
7. Науковий супровід застосування армуючих синтетичних матеріалів у дорожньому будівництві. Етап 2 (договір № 22/10-18). Визначення розрахункових характеристик армованого асфальтобетону згідно СОУ 45.2-00018112-076:2012 із застосуванням граток GlasGrid GG50 та GlasGrid CG50L. Звіт про науково дослідну роботу. Київ. 2019. 141 с.
8. Висновок щодо застосування продукції ADFORS GlasGrid у дорожньому будівництві України. Київ, 2019. 7 с.

References

1. Armuiuchi heohratky dlia asfaltobetonu GlasGrid®. Minikataloh – Saint-Gobain Adfors CZ s.r.o. Litomysl, The Czech Republic 2020. 19 p. [in English].
2. GlasGrid for asphalt overlays. Summary of GG tests GlasGrid for asphalt overlays. Adfors Saint-Gobain Summary Report. 2020. 26 p. [in English].
3. GlasGrid® for asphalt overlays. Adfors Saint-Gobain Technical Manual, 2020. 41 p. [in English].
4. Y. R. Kim, Y. Lee. Evaluation of geosynthetics and GlasGrid for rutting prevention in asphalt pavement. Final Report submitted to Saint-Gobain Technical Fabrics. – North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA, 2006. 21 p. [in English].
5. Kimb, Y. R., S. Lee, Y. Seo, O. El-Haggan. (2005) "Impact of Price Reductions on the Long-Term Pavement Performance of HMA Mixes in North Carolina". Final report to the North Carolina Department of Transportation, Report No. FHWA/NC/2005-09 [in English].
6. Naukovyi suprovid zastosuvannia armuiuchykh syntetychnykh materialiv u dorozhnomu budivnytstvi. Etap 1 (Scientific support for the use of reinforcing synthetic materials in road construction. Stage 1) (dohovir № 22/10-18). Uchast u marketynhovykh doslidzhenniakh, analiz vykhidnykh danykh, rozrobka prohram eksperymentalnykh vyprobuvan ta pidhotovka eksperymentalnoho obladnannia. Zvit pro naukovo doslidnu robotu, Kyiv. 2018. 150 p. [in Ukrainian].
7. Naukovyi suprovid zastosuvannia armuiuchykh syntetychnykh materialiv u dorozhnomu budivnytstvi. Etap 2 (dohovir № 22/10-18). Vyznachennia rozrakhunkovykh kharakterystyk armovanoho asfaltobetonu zghidno SOU 45.2-00018112-076:2012 iz zastosuvanniam hratok GlasGrid GG50 ta GlasGrid SG50L. Zvit pro naukovo doslidnu robotu. Kyiv, 2019. 141 p. [in Ukrainian].
8. Vysnovok shchodo zastosuvannia produktsii ADFORS GlasGrid u dorozhnomu budivnytstvi Ukrainy. Kyiv, 2019. 7 p. [in Ukrainian].

Artur Onyshchenko[1], *D.Sc., Prof., http://orcid.org/0000-0002-1040-4530*
Dmitry Anishchenko[2], *http://orcid.org/0009-0008-7721-4644*
Dmytro Husev[3], *http://orcid.org/0000-0002-6972-1944*
Oleg Tsekhansky[3], *Ph.D., http://orcid.org/0000-0002-4084-0720*

[1]*National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine*
[2]*Municipal Corporation "Kyivavtodor", Kyiv, Ukraine*
[3]*Caponier-Group LLC, Kyiv, Ukraine*

INCREASING OF RESISTANCE AND DURABILITY OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS ON HIGHWAYS AND HIGHWAY BRIDGES USING REINFORCING SYNTHETIC MATERIALS ADFORS GLASGRID

Abstract

Introduction. One of the most common defects in the asphalt concrete pavements of highways and highway bridges that arise during their operation is the formation of ruts.

The problem of increasing the rut resistance and durability of asphalt concrete pavements of highways, city streets and roads, at intersections, in front of traffic light intersections, at public transport stops and on the right lanes of bridges and overpasses is very relevant all over the world.

One of the effective means of solving this problem is to increase the rut resistance and durability of asphalt concrete pavements by reinforcing them with Adfors GlasGrid® reinforcing synthetic materials.

Problem Statement. The design of road pavement structures that are resistant to the formation of cracks and rutting, and the use of modern technologies for the construction and repair of asphalt concrete pavements will significantly improve the durability and performance properties of highways.

Modern world experience shows that the use of reinforcing synthetic materials for reinforcing asphalt concrete layers makes it possible to prevent premature cracking and rutting in asphalt concrete pavements and significantly increase the time between repairs and the durability of road surfaces of highways, city streets and roads, bridges and overpasses.

This paper highlights the results of experimental studies commissioned by Caponier-Group LLC by the State Enterprise "Road Scientific and Technical Center" (SE "Dorcenter") to evaluate the effectiveness of the use of reinforcing synthetic materials Adfors GlasGrid® produced by Saint-Gobain Adfors CZ" (Czech Republic) in comparison with alternative reinforcing synthetic materials to increase the rut resistance and durability of asphalt concrete pavements of highways, city streets and roads, bridges and overpasses.

Purpose. Ensuring rutting resistance and thereby increasing the durability of asphalt concrete pavements is a complex problem that is solved both in the process of designing and calculating the structure of road pavements, selecting the optimal compositions of asphalt concrete mixtures for road surfaces, binders and bitumen emulsions for priming, and in compliance with construction and repair technologies works, as well as through the use of modern materials and technologies for reinforcing asphalt concrete layers with reinforcing synthetic materials. The purpose of the work is to experimentally study the effectiveness of using reinforcing synthetic materials to increase the rutting resistance and durability of asphalt concrete pavements.

Results. Testing of reinforced asphalt concrete pavement for resistance to rutting showed that reinforcement can significantly increase the rutting resistance of asphalt concrete pavement.

Reinforcement of asphalt concrete pavement with Adfors GlasGrid® reinforcing synthetic materials allows increasing rutting resistance, that is, reducing the rut depth and total rutting area by 19 – 35 %. At the same time, the greatest rutting resistance of an asphalt concrete pavement can be achieved when it is reinforced with Adfors GlasGrid GG100 geogrids.

Reinforcement of an asphalt concrete pavement with reinforcing synthetic materials from other manufacturers has shown a decrease in the rutting resistance of the reinforced asphalt concrete pavement compared to non-reinforced ones.

Thus, Adfors GlasGrid® reinforcing synthetic materials increase the rutting resistance and, consequently, the durability of the asphalt concrete pavement. At the same time, studies have shown that Adfors GlasGrid® reinforcing synthetic materials have confirmed their effectiveness when used under the top layer of the pavement.

Conclusions. Based on research results, the effectiveness of reinforcing asphalt concrete layers of road pavements, including the top layer of asphalt concrete pavement, with Adfors GlasGrid reinforcing synthetic materials has been proven. This confirms the possibility and feasibility of using Adfors GlasGrid® reinforcing synthetic materials under the top layer of asphalt concrete pavement, including on bridges and overpasses, to increase the rutting resistance and durability of asphalt concrete pavements.

Keywords: durability, rutting resistance, asphalt concrete pavement, highway, bridge, reinforcing synthetic material, reinforced asphalt concrete layer.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.311

УДК 625.745.1

Вишнівський Б. О., *https://orcid.org/0009-0002-9376-8299*

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

ПРОЄКТУВАННЯ ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА ЗАЛІЗОБЕТОННІЙ ПЛИТІ МОСТОВОГО ПОЛОТНА АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ

Анотація

Вступ. Автодорожні мости є важливою частиною мережі автомобільних доріг транспортної інфраструктури України. На сьогоднішній день велика кількість автодорожніх мостів не відповідає сучасним вимогам забезпечення безпеки дорожнього руху і конструктивної надійності елементів споруд.

Проблематика. Встановлено, що існує необхідність розроблення методу проєктування цементобетонного покриття на залізобетонній плиті проїзної частини автодорожніх мостів.

Мета. Запропонувати підхід з проєктування цементобетонного покриття на залізобетонній плиті проїзної частини автодорожніх мостів.

Результати. Виконано розрахунок міцності при оцінюванні граничного стану цементобетонного покриття за тріщиностійкістю від спільної дії транспортних засобів та зміни температури. Визначено міри пошкодження цементобетонного покриття на залізобетонній плиті проїзної частини автодорожніх мостів від розтягуючих напружень, що виникають внаслідок дії пневматичних коліс транспортних засобів.

Висновки. У роботі запропоновано підходи з проєктування цементобетонного покриття на залізобетонній плиті мостового полотна автодорожніх мостів.

Ключові слова: автодорожній міст, довговічність, залізобетонна плита, мостове полотно, тріщиностійкість, утворення тріщин, цементобетонне покриття.

Актуальність роботи

Цементобетонне покриття має низку переваг перед асфальтобетонним: більш стійке до деформацій, наприклад колієутворенню; більша довговічність; забезпечує кращий рівень дорожньої безпеки, наприклад менший гальмівний шлях, кращі світловідбиваючі властивості; менша мінімальна товщина покриття (від 6 см); більш екологічний матеріал, що краще придатний для переробки; протягом життєвого циклу потребують меншої кількості експлуатаційних заходів [1].

Оцінювання довговічності під час проєктування представляє собою єдиний процес його конструювання і розрахунку [1 – 6]:

— оцінювання довговічності цементобетонного покриття з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів;

— техніко-економічного порівняння розрахованих рівноміцних варіантів конструкцій та вибір конструкції для будівництва.

Підвищення довговічності цементобетонного покриття під час конструювання дорожнього одягу полягає у:

— призначенні мінімально необхідної товщини цементобетонного покриття;

— влаштуванні (за необхідності) додаткових швів стискання і розширення.

Оцінювання тріщиностійкості цементобетонного дорожнього покриття базується на отриманні формул, що дозволяють прогнозувати напруження від дії річних і добових температур та пневматичних коліс транспортних засобів. Тому для прогнозування утворення тріщин в цементобетоні від зазначених чинників пропонується оцінювати довговічність цементобетонного покриття, яка повинна базуватися на умові граничного стану.

Існує декілька причин, які суттєво впливають на появу тріщин у цементобетонному покритті:

— напруження від усадки цементобетону [2];

— напруження від спільного впливу річних і добових температур [1, 3 – 6];

— напруження від дії пневматичних коліс транспортних засобів [3 – 6].

Тріщини в цементобетонному покритті на залізобетонній плиті проїзної частини автодорожніх мостів можуть виникати через різні чинники [1 – 6]:

— різниця коефіцієнтів лінійного термічного розширення;

— тепловиділення цементу;

— внутрішні напруження в структурі цементного каменю чи в зоні контакту «цементний камінь – заповнювач»;

— не належний догляд за влаштованим шаром; постійний теплообмін і масообмін (водяний пар, рідка фаза води), що викликає нерівномірний розподіл температури і вологості по товщині;

— усадка під дією фізико-хімічних процесів під час твердіння цементного каменю;

— деформації від транспортних навантажень.

Конструювання цементобетонного покриття

Конструювання полягає у розробленні декількох варіантів конструкцій для подальшого визначення товщини покриття.

Мета конструювання полягає у тому, щоб найкращим чином використати механічні і теплофізичні властивості матеріалів і забезпечити міцність, технологічність і економічність конструкції цементобетонного покриття.

Під час конструювання цементобетонне покриття на залізобетонній плиті проїзної частини автодорожніх мостів повинне бути раціонально розташоване за товщиною, по ширині проїзної частини і по довжині (з урахуванням інтенсивності та складу руху на різних мостах).

Задачі цього конструювання:

— призначення відповідного класу міцності цементобетонного покриття для даної категорії дороги;

— вибір гідроізоляційного матеріалу для основи;

— вибір заходів із забезпечення тріщиностійкості цементобетону.

При конструюванні і розрахунку цементобетонного покриття на залізобетонній плити проїзної частини автодорожніх мостів слід враховувати кліматичні особливості різних регіонів України. Ці особливості беруть до уваги при виборі класу цементобетону.

Слід передбачати широке використання місцевих матеріалів, а також нових сучасних дорожньо-будівельних матеріалів.

Для визначення приведеної вартості при варіантному проєктуванні керуються строками служби, виходячи з довговічності покриття, які для дорожніх одягів капітального типу з цементобетонним покриттям становлять не менше ніж 25 років.

Збільшення довговічності покриття може бути забезпечено за рахунок влаштування з високоміцних цементобетонів проєктного класу за міцністю не менше ніж В40, збільшення товщини цементобетонного покриття до (10 – 18) см.

Цементобетонні покриття можуть бути одношаровими, або за наявності відповідного технологічного устаткування — двошаровими, які улаштовують методом зрощування шарів з одночасним ущільненням верхнього і нижнього шарів за один прохід бетоноукладальника, з товщиною верхнього шару не менше 6 см. Товщина цементобетонного покриття повинна бути однаковою по всій ширині проїзної частини автодорожніх мостів. Товщину бетонного покриття *(h)* визначають розрахунком.

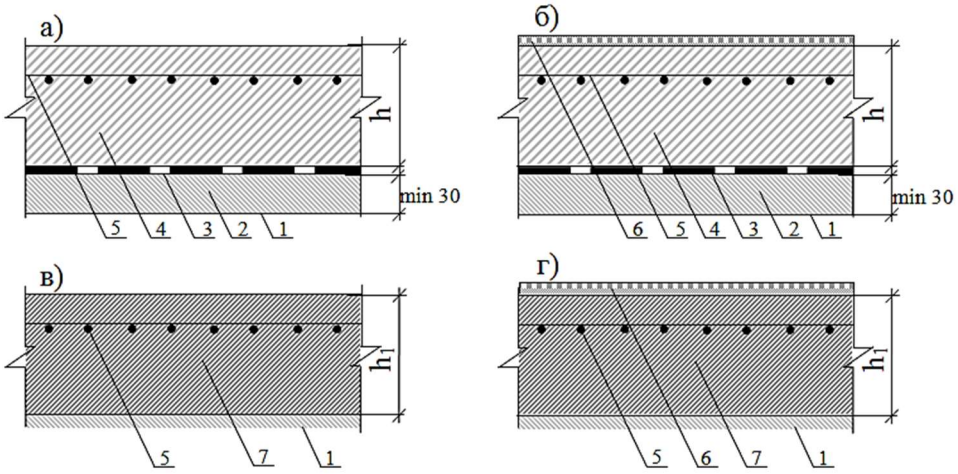
Покриття безпосередньо сприймає навантаження і забезпечує безпеку проїзду транспортних засобів з розрахунковою швидкістю необхідно влаштовувати цементобетон армований (базальтовою арматурою та фіброю) і не армовані з урахуванням техніко-економічного обґрунтування.

Типові конструкції дорожнього одягу. Конструкція дорожнього одягу з цементобетонного покриття на залізобетонній плиті мостового полотна автодорожніх мостів повинна бути визначена в проєкті з урахуванням типу покриття на автомобільній дорозі. Відповідно до проєктних рішень прогонова будова автодорожніх мостів може мати в якості плити проїздної частини: залізобетонну плиту.

При виборі матеріалів конструкція плити мостового полотна повинна відповідати вимогам ДБН В.2.3-4 [7], ДБН В.2.3-22 [8], ГБН В.2.3-37641918-557 [9] та ДСТУ 8858 [10], ДСТУ 8904 [11], ДСТУ-Н Б В.2.3-36 [12] і забезпечувати можливість механізованого влаштування дорожнього одягу, а також можливість проведення робіт з утримання автодорожніх мостів з урахуванням кліматичних умов згідно діючих нормативних документів.

В якості матеріалів для покриття слід застосовувати цементобетон або фіброцементобетон, у тому числі, що виконує гідроізоляційну функцію згідно діючим нормативним документам.

Під час влаштування на поверхню цементобетонного шару тонкошарового полімерного (епоксидів, поліуретанів, метакрилатів, поліестерів) покриття застосовують відповідно до ДБН В.2.3-22 [8].



а) із застосуванням цементобетонного покриття; б) із застосуванням тонкого покриття; в) із застосуванням цементобетонного покриття з особливо щільного бетону, що виконує гідроізоляційні функції, або з фіброцементобетон; г) із застосуванням цементобетонного покриття з особливо щільного бетону на який влаштовано тонкого покриття;
1 — плита проїздної частини; 2 — вирівнюючий шар; 3 — гідроізоляція; 4 — цементобетонне покриття; 5 — базальтова арматура; 6 — тонке покриття, що, виконуються на основі епоксидів, поліуретанів, метакрилатів, поліестерів; 7 — цементобетонне покриття з особливо щільного бетону, що виконує гідроізоляційні функції, або з фіброцементобетона без конструктивної арматурної сітки; h — товщина покриття (h = (100 – 120) мм); h_1 — товщина покриття (h = (90 – 100) мм).

Рисунок 1 — Конструкція цементобетонного покриття на залізобетонній плиті мостового полотна автодорожніх мостів

Конструкція дорожнього одягу на залізобетонній плиті мостового полотна автодорожніх мостів включає в себе, як правило (**рис. 1**):

- бетонний вирівнюючий шар;
- гідроізоляцію, нанесену методом розпилення;
- бетонний захисний шар;
- цементобетонне армоване покриття;

— цементобетонне покриття з особливо щільного бетону, що виконує гідроізоляційні функції;

— тонкі покриття, як правило, виконують на основі епоксидів, поліуретанів, метакрилатів, поліестерів.

На прогонових будовах з монолітною плитою мостового полотна вирівнюючий шар не влаштовують.

Розрахунок міцності цементобетонного покриття на залізобетонній плиті мостового полотна автодорожніх мостів

Цементобетонне покриття розраховують з урахуванням складу транспортного потоку, перспективної інтенсивності руху до наступного капітального ремонту і природо-кліматичних умов.

Розрахунок виконують за граничними станами, що визначають втрату працездатності цементобетонного покриття, на основі розрахункових схем, використовуючи нормовані розрахункові характеристики.

Розрахунок виконують шляхом перевірок заздалегідь призначеної конструкції цементобетонного покриття:

— за міцністю цементобетонного покриття;

— за тріщиностійкістю від дії пневматичних коліс транспортних засобів;

— за температурною тріщиностійкістю цементобетонного покриття при добовому та річному циклі;

— за міцністю при оцінюванні граничного стану цементобетонного покриття за тріщиностійкістю від спільної дії транспортних засобів та зміни температури;

— за міцністю цементобетонного покриття на залізобетонній плиті мостового полотна автодорожніх мостів з різними міжремонтними строками (додаток В).

Цементобетонне покриття розраховують з урахуванням надійності. Допустимий (необхідний) коефіцієнт надійності $K_н$, що визначає мінімальне значення коефіцієнта міцності $K_{мц}$, залежно від категорії дороги з врахуванням капітальності покриття (**табл. 1**) та врахуванням досягнутого рівня якості.

Таблиця 1

Коефіцієнт міцності $K_{мц}$ за критеріями граничного стану для цементобетонного покриття

Категорія дороги	Тип дорожнього одягу	Коефіцієнт надійності, $K_н$	Міра пошкодженості, β	Строк експлуатації покриття, років	Коефіцієнт міцності, $K_{мц}$, за критерієм граничного стану
					згин монолітних шарів
Іа	Капітальний	0,97	0,03	18	1,43
Іб – II	Капітальний			21	
III	Капітальний	0,95	0,05	22	1,39
IV	Полегшений			23	
V	Перехідний			23	
Примітка. Коефіцієнт міцності $K_{мц}$ конструкції цементобетонного покриття для даної категорії може бути збільшений або зменшений при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні для заданого строку служби покриття.					

Розрахунком визначають товщину покриття, відстань між швами розширення.

Вихідні дані для розрахунку конструкції цементобетонного покриття включають:

— параметри транспортного навантаження (розрахункова інтенсивність, розрахункове навантаження) згідно з ГБН В.2.3-37641918-557 [9];

— параметри дороги (категорія, ширина проїзної частини, строк служби дорожнього одягу до капітального ремонту) згідно з ДБН В.2.3-22 [8];

— дорожньо-кліматичний район згідно з ДБН В.2.3-4 [7];

— порівняння варіантів конструкції жорсткого дорожнього одягу з різними міжремонтними строками.

Розрахунок міцності цементобетонних покриттів на залізобетонній плиті мостового полотна автодорожніх мостів виконують шляхом перевіряння міцності цементобетонного покриття за формулою:

$$K_{мц} < \frac{K_p \cdot R_i^p}{\sigma_{pt}}, \quad (1)$$

де $K_{мц}$ — коефіцієнт міцності, визначають залежно від категорії дороги за **табл. 1**;

K_p — комплексний коефіцієнт, K_p = 1,65 для доріг Іа, Іб, ІІ-ї категорії, K_p = 1,60 для доріг ІІІ-ІV категорії;

R_i^p — розрахункова міцність цементобетону на розтяг при згині;

σ_{pt} — напруження розтягу при згині в центрі плити, що виникають у цементобетонному покритті від дії навантаження, з урахуванням перепаду температури по товщині плити:

$$\sigma_{pt} = \frac{M_{зг}}{W \cdot K_t}, \quad (2)$$

де $M_{зг}$ — максимальний згинальний момент, кН;

W — момент опору перерізу покриття;

K_t — коефіцієнт, що враховує вплив температурного короблення цементобетонної плити:

$$K_t = -0{,}028 \cdot h + 1{,}402. \quad (3)$$

Розрахункову міцність цементобетону на розтяг при згині, визначають за формулою:

$$R_i^p = B_{tb} \cdot K_M \cdot K_y \cdot K_{мороз}, \quad (4)$$

де B_{tb} — клас бетону за міцністю на розтяг при згині;

K_M — коефіцієнт набору міцності: для цементобетону природного твердіння за температури повітря вище ніж 10 ºС K_M = 1,2; для цементобетону природного твердіння за температури повітря нижче ніж 10 ºС і під час зимового бетонування K_M = 1;

K_y — коефіцієнт втоми цементобетону при повторному навантаженні:

$$K_y = 1{,}08 \cdot N_p^{\,m}, \quad (5)$$

$K_{мороз}$ — коефіцієнт морозостійкості цементобетону (приймають 0,96) або визначають за формулою:

$$K_{морз} = \frac{R_{btb}^n}{R_{btb}}, \quad (6)$$

де R_{btb}^n, R_{btb} — міцність на розтяг при згині цементобетонних зразків-балочок відповідно до i, після n циклів заморожування і відтавання, МПа;

b_T — показник втоми ($m = 1/b_T$) цементобетону;

R_{ip} — розрахункова міцність на розтяг при згині залежно від коефіцієнта міцності, заданої надійності та дії розрахункового транспортного навантаження, МПа.

Для оцінювання пошкодження цементобетонного покриття згідно з ГБН В.2.3-37641918-557 [9] необхідно визначати напруження розтягу σ_P при згині для розрахунку товщини покриття за умови гарантованого повного контакту плити з основою:

$$\sigma_P = K_{мц} \cdot \sigma_{pt}, \tag{7}$$

де $K_{мц}$ — коефіцієнт міцності з урахуванням заданого рівня надійності.

Розрахунок міцності під час оцінювання граничного стану цементобетонного покриття за тріщиностійкістю від спільної дії транспортних засобів та зміни температури

Для оцінювання граничного стану цементобетонного покриття використовують умову тріщиностійкості:

$$M(t,T(t)) \le \left[M_{цб}\right], \tag{8}$$

де $M(t,T(t))$ — сумарна міра пошкодження цементобетонного покриття, яку визначають за формулою (9);

$\left[M_{цб}\right]$ — гранично допустиме значення міри пошкодження цементобетонного покриття для розрахунків приймають $\left[M_{цб}\right]=1$.

$$M(t,T(t)) = M_{Тр}(t) + M_{Тем}(T(y,t)), \tag{9}$$

де $M_{Тр}(t)$ — міра пошкодження від дії пневматичних коліс транспортного засобів, яка залежить від часу (t) і визначають за формулою:

$$M_{Тр}(t) = \frac{log(N_{pt}(t))}{10^{N_{Тр}}}, \tag{10}$$

де $N_{pt}(t)$ — розрахункова сумарна повторність розрахункових навантажень при добовій інтенсивності руху N_p, яку визначають за формулою згідно з ГБН В.2.3-37641918-557 [9]:

$$N_{pt}(t) = N_p n_c \cdot \frac{\left(q^t - 1\right)}{\left(q - 1\right)}, \tag{11}$$

де n_c — кількість днів року з позитивною температурою повітря (приймають за довідковими даними);

q — знаменник, що описує щорічний приріст інтенсивності руху згідно з ГБН В.2.3-37641918-557 [9];

t — строк служби цементобетонного покриття до капітального ремонту.

Середньодобова, приведена до розрахункового навантаження Q_p кількість проїздів всіх коліс, розташованих по одному борту автотранспортних засобів, у межах однієї смуги проїзної частини з приведеною розрахунковою інтенсивністю N_p (одиниць / добу) впливу навантаження, визначають за формулою:

$$N_p = f_1 \cdot f_2 \cdot N \sum \delta_n \cdot S_n, \tag{12}$$

де f_1 — коефіцієнт, що враховує число смуг і розподілення проїздів по них, який приймають для найбільш напруженої смуги згідно з ГБН В.2.3-37641918-557 [9];

f_2 — коефіцієнт, що враховує ширину смуги руху та дорівнює:

- 1,0 — при ширині смуги 3,75 м і більше;
- 1,1 — при ширині смуги від 3,25 м до 3,75 м;
- 1,4 — при ширині смуги від 2,75 м до 3,25 м;
- 1,8 — при ширині смуги від 2,50 м до 2,75 м;
- 2,0 — при ширині смуги менше ніж 2,50 м;

N — очікувана інтенсивність руху в обох напрямках різних вантажних і пасажирських транспортних засобів, авт/добу;

δ_n — частка n-го транспортного засобу у складі руху вантажного і пасажирського транспорту (у долях одиниці);

S_n — сумарний коефіцієнт для приведення за руйнівною дією на дорожній одяг n-го транспортного засобу до розрахункового навантаження;

n — загальна кількість різних марок вантажних і пасажирських транспортних засобів у складі вантажного транспортного потоку.

Очікувану добову інтенсивність руху N в обох напрямках різних вантажних і пасажирських транспортних засобів визначають до кінця перспективного проєктного строку служби T і знаходять за даними обліку руху за формулою:

$$N = N_o \cdot q^T, \tag{13}$$

де N_0 — добова інтенсивність вантажного руху у вихідному році;

q^T — показник приросту інтенсивності руху або за відсутності таких даних встановлюють за техніко-економічними розробками або розраховують, виходячи з пропускної здатності дороги згідно з ГБН В.2.3-37641918-557 [9];

N_{Tp} — гранично допустима кількість розрахункового навантаження, що може витримати цементобетонне покриття під час дії горизонтального розтягуючого напруження σ_P при згині.

Значення N_{Tp} визначають за формулою:

$$N_{Tp} = \left(\frac{K_p \cdot R_i^p}{\sigma_P} \right)^{1/b_\tau}, \tag{14}$$

де Kp — комплексний коефіцієнт, Kp = 1,65 для доріг $I_а$ — ї категорії, Kp = 1,60 — $I_б$ — II, Kp = 1,55 — III та Kp = 1,50 для доріг IV – V категорії згідно з ГБН В.2.3-37641918-557 [9];

R_i^p — розрахункова міцність цементобетону на розтяг при згині згідно з ГБН В.2.3-37641918-557 [9], МПа;

$M_{Tем}(T(y,t))$ — міра пошкодження цементобетонного покриття від зміни температури відповідного сезону (n_i):

$$M_{Tем}(T(y,t)) = n_i \cdot \int_0^{t_p} \frac{\sigma_{T_i}\left(T(y,t)\right)^{b_\tau}}{B_\tau} dt, \tag{15}$$

де $\sigma_{T_i}\left(T(y,t)\right)$ — сумарні річні та добові температурні напруження при гармонічній зміні температури, які складають із літніх $(\sigma_{Л})$, осінньо-весняних $(\sigma_{О./В})$ і зимових $(\sigma_З)$, МПа;

n_i — період сезону;

b_τ, B_τ — параметри функції довговічності цементобетону;

t_P — час до руйнування, с.

Визначення міри пошкодження цементобетонного покриття на залізобетонній мостового полотна частини автодорожніх мостів від розтягуючих напружень, що виникають внаслідок дії пневматичних коліс транспортних засобів

Від дії пневматичних коліс транспортних засобів у цементобетонному покритті виникають розтягуючі напруження і з часом відбуваються втомні пошкодження у покритті.

На цементобетонне покриття діє колісне навантаження, яке викликає розтягуюче напруження, міру пошкодження від зміни напружень та дії пневматичних коліс транспортних засобів $M_{Tp}(t)$ визначають за формулою (10).

Міру пошкодження $M_{Tp}(t)$ цементобетонного дорожнього покриття автомобільної дороги від зміни напружень, що викликані від дії пневматичних коліс транспортних засобів з урахуванням (3) – (7), (9), (10) визначають за формулою:

$$M_{T_p}(t) = \frac{N_p \cdot n_C \cdot \frac{\left(q^t - 1\right)}{\left(q - 1\right)}}{\left(\frac{K_p \cdot B_{tb} \cdot K_M \cdot K_y \cdot K_{морз}}{\sigma_P}\right)^{1/b_\tau}}. \quad (16)$$

Висновки

У роботі запропоновано підходи з конструювання цементобетонного покриття на залізобетонній плиті мостового полотна автодорожніх мостів. Наведено розрахунок міцності такого покриття. Наведено розрахунок за тріщиностійкістю від спільної дії транспортних засобів та зміни температури. На основі проведених досліджень визначено міру пошкодження зазначеного покриття від розтягуючих напружень, що виникають внаслідок дії пневматичних коліс транспортних засобів.

Робота виконувана на кафедрі мостів, тунелів та гідротехнічних споруд Національного транспортного університету під керівництвом доктора технічних наук, професора Онищенка А. М.

Список літератури

1. Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Давиденко О. О., Цепелєв С. Ю., Федоренко О. В. Перспективи застосування цементобетонного покриття на транспортних спорудах. *Дороги і мости*. 2021. Вип. 23. С. 178–196. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.23.178.

2. Онищенко А. М., Лапченко А. С., Чиженко Н. П. Оцінка напружень від усадки в цементобетонному покритті автомобільних доріг. *Віснику НУ «ЛП», серія «Теорія та практика будівництва»*. 2019. № 912. С. 132–138.

3. Онищенко А. М., Возний С. П. Метод визначення коефіцієнта температурної тріщиностійкості для уточнення розрахунку монолітного цементобетонного покриття автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2016. № 98. С. 179–181.

4. Онищенко А. М., Чиженко Н. П. Оцінка довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг. *Дороги і мости*. 2020. Вип. 22. С. 138–148.

5. Онищенко А. М., Худолій С. М., Чиженко Н. П. Числове моделювання впливу розташування транспортного навантаження на цементобетонне покриття автомобільних доріг. *Вісник НТУ, серія «Технічні науки»: наук.-техн. збірник*. 2020. Вип. 46. С. 237–253.

6. Онищенко А. М., Чиженко Н. П. Метод оцінки довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг. *Збірник тез міжнародної науково-технічної конференції Гідротехнічне і транспортне будівництво*. Одеса. 28–29 травня 2020 р. С. 85–89.

7. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015. 112 с. (Інформація та документація).

8. ДБН В.2.3-22:2009 Мости та труби. Основні вимоги проектування. Київ, 2009. 40 с. (Інформація та документація).

9. ГБН В.2.3-37641918-557:2016 Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування. Київ, 2016. 75 с. (Інформація та документація).

10. ДСТУ 8858:2019 Суміші цементобетонні дорожні та цементобетон дорожній. Технічні умови. Київ, 2019. 19 с. (Інформація та документація).

11. ДСТУ 8904:2019 Настанова з улаштування гідроізоляції проїзної частини автодорожніх мостів. Київ, 2019. 22 с. (Інформація та документація).

12. ДСТУ-Н Б В.2.3-36:2016 Настанова з влаштування жорсткого дорожнього одягу. Київ, 2016. 29 с. (Інформація та документація).

References

1. Onyshchenko A. M., Harkusha M. V., Davydenko O. O., Tsepelyev S. YU., Fedorenko O. V. Perspektyvy zastosuvannya tsementobetonnoho pokryttya na transportnykh sporudakh. *Dorohy i mosty*. 2021. Issue 23. P. 178–196. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.23.178 [in Ukrainian].

2. Onyshchenko A. M., Lapchenko A. S., Chyzhenko N. P. Otsinka napruzhen′ vid usadky v tsementobetonnomu pokrytti avtomobil′nykh dorih. *Visnyku NU "LP", seriya "Teoriya ta praktyka budivnytstva"*. 2019. No. 912. P. 132–138 [in Ukrainian].

3. Onyshchenko A. M., Voznyy S. P. Metod vyznachennya koefitsiyenta temperaturnoyi trishchynostiykosti dlya utochnennya rozrakhunku monolitnoho tsementobetonnoho pokryttya avtomobil′nykh dorih. *Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo*. 2016. No. 98 P. 179–181 [in Ukrainian].

4. Onyshchenko A. M., Chyzhenko N. P. Otsinka dovhovichnosti tsementobetonnoho pokryttya avtomobil′nykh dorih. *Dorohy i mosty*. 2020. Issue 22. P. 138–148 [in Ukrainian].

5. Onyshchenko A. M., Khudoliy S. M., Chyzhenko N. P. Chyslove modelyuvannya vplyvu roztashuvannya transportnoho navantazhennya na tsementobetonne pokryttya avtomobil′nykh dorih. *Visnyk NTU, seriya "Tekhnichni nauky": nauk.-tekhn. Zbirnyk*. 2020. Issue 46. P. 237–253 [in Ukrainian].

6. Onyshchenko A. M., Chyzhenko N. P. Metod otsinky dovhovichnosti tsementobetonnoho pokryttya avtomobil′nykh dorih. *Zbirnyk tez mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi Hidrotekhnichne i transportne budivnytstvo*. Odesa. 28 – 29 travnya 2020 p. P. 85–89 [in Ukrainian].

7. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobil′ni dorohy. Chastyna I. Proektuvannya. Chastyna II. Budivnytstvo [State Building Regulations (DBN V.2.3-4:2015) Automobile roads. Part I. Design. Part II. Construction]. Kyiv, 2015. 112 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

8. DBN V.2.3-22:2009 Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannya. [in Ukrainian]. [State Building Regulations (DBN V.2.3-22:2009) Bridges and pipes. Basic design requirements]. Kyiv, 2009. 40 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

9. HBN V.2.3-37641918-557:2016 Avtomobil′ni dorohy. Dorozhniy odyah zhorstkyy. Proektuvannya [Industry Building Standards (HBN V.2.3-37641918-557:2016) Automobile roads. Road clothes are tough. Designing]. Kyiv, 2016. 75 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

10. DSTU 8858:2019 Sumishi tsementobetonni dorozhni ta tsementobeton dorozhniy. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU 8858:2019) Road cement concrete mixtures and road cement concrete. Technical conditions]. Kyiv, 2019. 19 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

11. DSTU 8904:2019 Nastanova z ulashtuvannya hidroizolyatsiyi proyiznoyi chastyny avtodorozhnikh mostiv [State Standard of Ukraine (DSTU 8904:2019) Guidelines for waterproofing the carriageway of road bridges]. Kyiv, 2019. 22 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

12. DSTU-N B V.2.3-36:2016 Nastanova z vlashtuvannya zhorstkoho dorozhn′oho odyahu [State Standard of Ukraine (DSTU-N B V.2.3-36:2016) Instructions for the installation of hard road clothing]. Kyiv, 2016. 29 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Bolislav Vyshnivskyi, *https://orcid.org/0009-0002-9376-8299*

National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

DESIGN OF CEMENT CONCRETE COATING ON REINFORCED CONCRETE SLAB OF ROADWAY PARTS OF BRIDGES

Abstract

Introduction. Road bridges are an important part of the road network of the transport infrastructure of Ukraine. Nowadays a large number of road bridges do not meet the modern requirements for ensuring road traffic safety and structural reliability of building elements.

Problems. It was established that there is a need to develop a method of designing a cement-concrete coating on a reinforced concrete slab of the carriageway of road bridges

Goal. To propose an approach for designing a cement-concrete coating on a reinforced concrete slab of the carriageway of road bridges.

Results. The strength calculation was performed when assessing the limit state of the cement-concrete coating in terms of crack resistance from the joint action of vehicles and temperature changes. The measures of damage to the cement-concrete coating on the reinforced concrete slab of the carriageway of road bridges due to tensile stresses arising from the action of pneumatic wheels of vehicles were determined.

Conclusions. The paper proposes approaches to the design of a cement-concrete coating on a reinforced concrete slab of the carriageway of road bridges.

Keywords: road bridge, durability, reinforced concrete slab, cracking, bridge deck, crack resistance, cement concrete coating.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.321

УДК 625.745.1

Гаркуша М. В., *канд. техн. наук, доц., https://orcid.org/0000-0002-5388-0561*

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

РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВІДНОВЛЕННЯ ВОДОПРОПУСКАЛЬНИХ ТРУБ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТАЛЕВИХ ГОФРОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Анотація

Вступ. На надійність та довговічність водопропускальних труб впливають статичні та динамічні навантаження від транспортних засобів і температурних кліматичних впливів, руйнівна сила водяного потоку, абразивне руйнування, корозія матеріалу, недоліки вибору конструкцій та незадовільне проєктування, все це спричиняє передчасне руйнування споруди.

На сьогоднішній день широко застосовують водопропускальні споруди з металевих гофрованих конструкцій (далі — МГК). Загальновідомими перевагами, які виправдовують вибір такого рішення, є в основному короткий строк і відносно низька вартість будівництва, будівництво за умови дотримання відповідного технологічного режиму не викликає особливих проблем. Тому, виникає необхідність в розробленні рекомендації з відновлення водопропускальних труб із застосуванням металевих гофрованих конструкцій.

Проблематика. Встановлено, що існує необхідність відновлення водопропускальних труб без зупинки руху транспортних засобів.

Мета. Полягає в запропонуванні підходів з відновлення водопропускальних труб із застосуванням металевих гофрованих конструкцій.

Результати. Запропоновано рекомендації з відновлення водопропускальних труб із застосуванням металевих гофрованих конструкцій з наведенням рекомендацій до вибору матеріалів та виконання організації і технології виконання робіт з відновлення водопропускальних труб.

Висновки. Сьогодні велика кількість водопропускальних труб знаходиться в незадовільному стані, не відслуживши свій розрахунковий строк експлуатації. Маючи пошкодження та дефекти спричинені корозію, що впливає на перенесення ґрунту та вимиванню порожнин і осідання водопропускальної труби з часом. Розмивання ґрунту спричиняє втрату стійкості водопропускальної труби, що є причиною руйнування автомобільної дороги.

Застосування методу «гільзування» дозволяє використовувати безтраншейний метод ремонту труби. Безтраншейний ремонт доречний, коли водопропускальна труба втрачає свою структурну цілісність, але не повністю вийшла з ладу або зруйнувалася. Стандартним методом оцінки вартості / вигоди цього методу ремонту є проведення аналізу витрат протягом життєвого циклу, щоб визначити, як авансові витрати окупаються з часом.

Після визначення непрацездатного технічного стану водопропускальної труби необхідно прийняти рішення щодо повної її заміни чи виконати відновлення із застосуванням металевих гофрованих конструкцій. Чинники, що впливають на це рішення, включають ступінь пошкодження, яких зазнала водопропускальна труба; умови ділянки; вплив руху транспортних засобів; відносні витрати будь-якого підходу; наявність фінансування; питання безпеки, що застосовуються до кожного типу споруди та оцінку залишкового строку служби існуючої водопропускальної труби, незалежно від того, проведено ремонт чи ні.

У роботі запропонуванні підходи з відновлення водопропускальних труб із застосуванням металевих гофрованих конструкцій.

Ключові слова: автомобільна дорога, будівництво, відновлення, водопропускальна труба, металева гофрована конструкція.

Актуальність роботи

Заміна зношених водопропускальних труб під автомобільною дорогою з інтенсивним рухом або глибоким заляганням може бути дорогим і об'ємним видом робіт. Об'їзд транспорту, необхідний для традиційного ремонту, може спричинити значні витрати і незручності. Застосування методу «гільзування» є ефективним способом заміни пошкоджених труб [1].

На вибір відповідної методології відновлення водопропускальної труби впливає багато різних факторів, включаючи поточний стан несправної водопропускальної труби та обмеження, пов'язані з будівництвом.

У виборі методу відновлення є важливим врахування таких чинників:

— екологічних, включаючи вологість і перепади температури;

— гідравлічних; матеріалознавчих; геометричних, доступ до відновлюваної водопропускальної труби;

— вплив на рух автомобілів;

— здатність виконувати роботу без зупинки транспорту;

— розрахунковий строк експлуатації та витрати протягом життєвого циклу [2].

З 1940-х років у США для усунення витоків або відновлення структурної цілісності каналізаційних і водопропускальних труб використовують «метод гільзування» [3].

У наслідок чого у США металеві гофровані конструкції були включені в стандарти та специфікації: Канадська асоціація стандартів (Canadian Standards Association — CSA), Американська асоціація державних доріг і транспорту (American Association of State Highway and Transportation Officials — AASHTO), Американського товариства випробувань і матеріалів (American Society for Testing and Materials — ASTM), Федеральне управління автомобільних доріг (Federal Highway Administration — FHWA), Американська асоціація залізничних інженерів та технічного обслуговування шляхів (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association — AREMA), Корпус інженерів, федеральний управління авіації (Corps of Engineers, the Federal Aviation Administration — FAA), Лісова служба США, Служба охорони природних ресурсів (Natural Resources Conservation Service — NRCS), а також провінційні, окружні, селищні та муніципальні відділів та визнаних інженерів-консультантів [4].

Відновлення водопропускальних труб з металевих гофрованих конструкцій виконують відповідно до проєкту, вимог технологічних регламентів та нормативних документів для забезпечення довготривалого захисту земляного полотна від негативного впливу витрат води, що пропускаються через водопропускальну трубу. Ремонтування методом гільзування піддаються труби, звуження отвору яких не вплине на пропуск потрібного водного потоку, що не втратили несної здатності і мають такі дефекти:

— порушення гідроізоляції;

— відхилення геометричного положення елементів труби більше ніж на 3 % від її діаметра.

Мінімальний отвір відремонтованої водопропускальної труби повинен бути не менше ніж 1 м, а за певних мов може бути меншого діаметра.

Метод ремонту гільзуванням дозволяє:

— проводити ремонтувальні роботи без зупинки руху транспортних засобів автомобільною дорогою (без влаштування тимчасових об'їздів);

— вирішити задачу ремонтування водопропускних труб у стиснених умовах;

— зменшити строку ремонтування (до двох робочих днів);

— зменшити вартість ремонтування;

— збільшити міцнісні та експлуатаційні характеристики дефектної труби;

— гарантувати розрахунковий строк експлуатації до 50 років згідно з ВБН В.2.3-218-198 [5];

— усунути протікання труби;

— відновити водопропускну здатність дефектної труби.

Під час вибору діаметра секцій МГК потрібно забезпечити мінімальне звуження внутрішнього аварійного діаметру споруди.

В умовах воєнного та післявоєнного часу застосування прогресивних підходів з ремонту дорожніх водопропускальних труб є необхідним, беручи до уваги значну кількість пошкоджених штучних споруд, внаслідок бойових дій, виникає необхідність їхнього швидкого та якісного відновлення без затримки транспортного потоку.

Рекомендації до вибору матеріалів

Рекомендації до вибору гофрованих конструкцій

Конструкції із металевих гофрованих елементів повинні відповідати вимогам ВБН В.2.3-218-198 [5], комплекту проєктної документації на виготовлення, комплекту робочих креслень та технологічному регламенту заводу-виготовлювача на об'єкт, де вони використовуються.

Механічні властивості та хімічний склад деяких сталей для МГК вказано в Посібнику до ВБН В.2.3-218-198 [6].

Секції та бандажні з'єднання рекомендується застосовувати з вуглецевої та низьковуглецевої гарячеоцинкованої сталі з класом покриття не нижче ніж Z600 та класом за міцністю не нижче ніж 245 згідно з ДСТУ EN 10025-1 [7], а також з аналогічного прокату з додатковим полімерним покриттям HDPE, нанесеним поверх шару цинку, товщиною не менше ніж 300 мкм згідно з ДСТУ EN 10169 [8].

Рекомендації до вибору бандажів

У США вимоги до матеріалів для систем з'єднання (бандажів) викладені у декількох специфікаціях ASTM і AASHTO. Двома найбільш часто використовуваними специфікаціями для визначення з'єднувальних систем є розділ 26 Специфікацій будівництва мостів AASHTO LRFD та ASTM A760, Стандартна специфікація для гофрованої сталевої труби з металевим покриттям для каналізації та водостоків [4].

У найпоширенішому з'єднанні використовують металеву смугу навколо з'єднання труби (**рис. 1**). Смугу натягують та закріплюють на трубі за допомогою з'єднувальних пристроїв.

Типи з'єднань наведено на **рис. 2**, а стандартні роз'єми на **рис. 3** [4].

Усі системи з'єднання включають один зі з'єднувальних хомутів, зображених у **табл. 1** [9], і можуть вимагати плоскої або кільцевої прокладки.

Секції МГК стикують одну з одною за допомогою бандажних з'єднань, що виступають за зовнішній діаметр труби не більше ніж на 200 мм.

Бандажі можуть бути виготовлені з гофрованого металу зі спіральним чи кільцевим розташуванням гофр.



Рисунок 1 — Типове стрічкове з'єднання

Таблиця 1

Найпоширеніші з'єднувальні системи

Тип з'єднання	Поперечний переріз	Кути	Планка, болт і ремінь	Прокладки			Тип труби		
				Ущільнювальне кільце	Рукав або смужка	Мастика	Кільцеподібні	Гвинтоподібний	
								Рівний	Реформований
Універсальний		+	+		+	+	+	+	+
Гофрований		+	+		+	+	+		+
Напівгофрований		+	+	+		+	+		+
Плоский		+	+	+	+	+	+	+	+

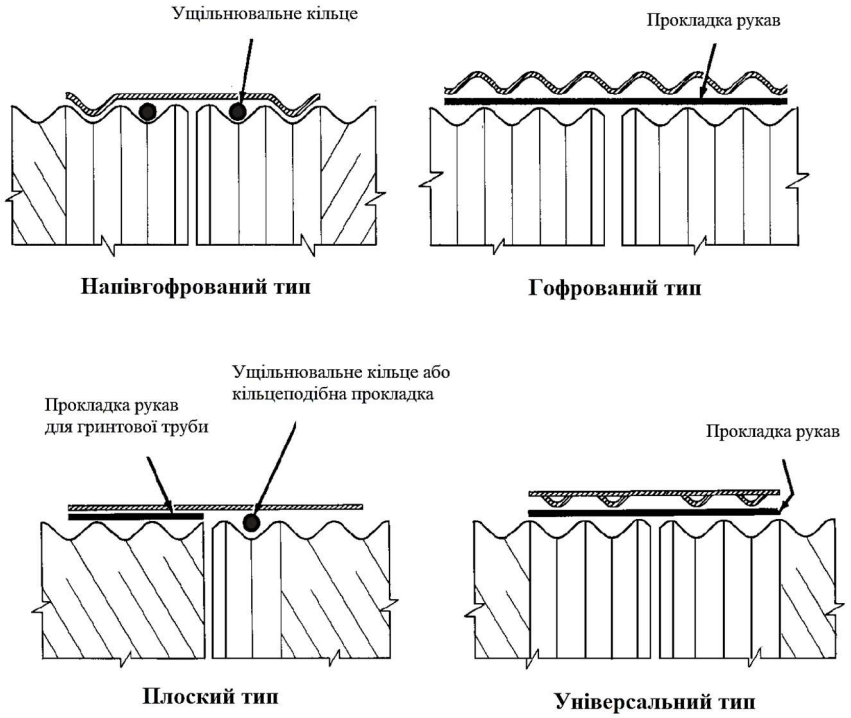


Рисунок 2 — Типи з'єднань

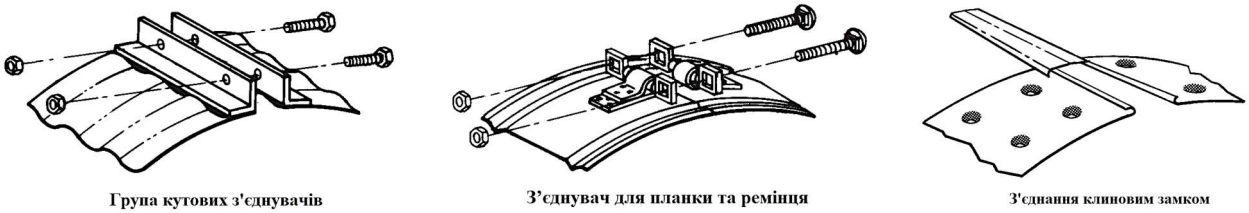


Рисунок 3 — Стандартні роз'єми

Рекомендації до вибору в'яжучих матеріалів для цементобетону

Для виготовлення цементобетонів використовують цементи з нормованим мінералогічним складом: бездомішкові портландцементи на основі клінкеру з нормованим мінералогічним складом з вмістом трикальцієвого алюмінату С3А в кількості не більше ніж 5 % за масою згідно з

ДСТУ Б В.2.7-46 [10]. Співвідношення полягає в тому, що чим менша кількість трикальцієвого алюмінату (С3А) у гідратованому цементі, тим нижча вразливість до сульфатної атаки.

Тужавлення цементного розчину, який застосовується, повинне починатися не раніше ніж через 2 год після його зачинення. У випадку початку тужавлення раніше 2 год, в суміш потрібно вводити хімічні добавки, що сповільнюють тужавлення згідно з ДСТУ EN 934-2 [11].

Рекомендації до вибору заповнювачів для цементобетону

В якості крупного заповнювача для цементобетону використовують щебінь з природного каменю, щебінь з гравію згідно ДСТУ Б В.2.7-75 [12]. Застосування великих наповнювачів з осадових гірських порід не дозволено.

Найбільша фракція щебеню не повинна перевищувати 10 мм.

Як дрібний заповнювач для цементобетонів використовують пісок щільний природний, пісок з відсівів подрібнення та збагачений пісок з відсівів подрібнення згідно з ДСТУ Б В.2.7-32 [13] та ДСТУ Б В.2.7-210 [14].

Не дозволено застосовувати як дрібний заповнювач тільки дроблений пісок (пісок з відсівів дроблення) без змішування його з природним піском.

Потрібно використовувати пісок з модулем крупності (Мк) від 1,5 до 3,25. Вміст у піску пилоподібних, мулистих і глинистих частинок не повинен перевищувати 0,5 %.

Зерновий склад піску повинен відповідати ДСТУ Б В.2.7-32 [13].

Рекомендації до вибору хімічних добавок для цементобетону

Для приготування цементобетонної суміші для заповнення пазух потрібно застосовувати пластифікуючі, розширюючі, підвищуючі морозостійкість цементобетону добавки, які повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 934-2 [11], ДСТУ-Н Б В.2.7-175 [15]. Технічні характеристики цементобетонів і розчинів, що містять суперпластифікуючі добавки повітровтягувальні або газоутворювальні добавки, повинні відповідати вимогам проєктної технічної документації. Вид і кількість хімічних добавок визначають залежно від призначення і умов роботи цементобетону.

Для зменшення водопотреби сумішей цементобетонних, підвищення фізико-механічних характеристик цементобетону в склад обов'язково вводять хімічні добавки, що відповідають вимогам ДСТУ EN 934-2 [11].

Для підвищення морозостійкості цементобетонів в їх склад обов'язково вводять повітровтягувальні або газоутворювальні добавки, що відповідають вимогам ДСТУ EN 934-2 [11].

Хімічні добавки вводять у суміш під час приготування разом з водою. За потреби, дозволено стадійне введення хімічних добавок суперпластифікаторів спочатку під час виготовлення суміші цементобетонної, а потім — повторно на місці укладання

Залежно від умов виготовлення, транспортування, укладання і твердіння, відповідно до проєктних і технологічних вимог, до складу суміші цементобетонної можна вводити хімічні добавки, що регулюють технологічні та реологічні властивості суміші цементобетонної і фізико-механічні властивості цементобетонну, що зазначені в ДСТУ EN 934-2 [11], ДСТУ-Н Б В.2.7-175 [15].

Під час використання двох або декількох хімічних добавок потрібно виконувати перевірку на їхню сумісність під час одночасного введення. У разі поганої сумісності добавок, їх потрібно вводити в суміш цементобетонну окремо, але водночас кожна добавка повинна забезпечувати необхідний ефект.

Витрата суперпластифікуючої добавки повинна становити від 0,3 % до 2,0 % від маси цементу, повітровтягувальної добавки — від 0,05 % до 0,2 % від маси цементу. Витрати інших видів хімічних добавок повинні становити від 0,1 % до 3 % від маси цементу. У кожному конкретному випадку витрату певної хімічної добавки встановлюють за підбору складу цементобетону, однак сумарна витрата всіх хімічних добавок не повинна перевищувати 5 % від маси цементу в перерахунку на суху речовину.

Вміст хлор-іонів у цементобетонах не повинен бути більше ніж:

— 0,2 % від маси цементу для цементобетонів з неметалевою фіброю;
— 0,1 % від маси цементу для цементобетонів з металевою фіброю.

Рекомендації до вибору мінеральних добавок

До складу сумішей цементобетонних допускають введення активних мінеральних добавок типу мікрокремнезема, метакаоліну, а також їх сумішей.

Витрата мінеральних добавок становить від 3 % до 10 % від маси цементу. У кожному конкретному випадку витрату мінеральної добавки визначають за підбору складу цементобетону.

Мінеральні добавки, що вводять у цементобетони в якості замінника цементу, за умови, що їх кількість не перевищує 10 % від маси цементу, повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-128 [16]. У разі, якщо кількість мінеральних добавок перевищує 10 %, то їх надлишок вважають як інертну мінеральну добавку.

Рекомендації до вибору води

Вода для замішування цементобетонної чи / або розчинної суміші і приготування хімічних добавок повинна відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-273 [17].

Рекомендації до вибору фібри

Для збільшення вмісту кількості повітря, залученого до сумішей цементобетонних і зниження розшарування, підвищення міцності цементобетонів на розтяг за згином і за стиском, збільшення морозо- і корозійної стійкості до складу цементобетонів вводять полімерну, металеву або базальтову фібру.

Витрата поліпропіленової фібри повинна становити від 0,6 кг/м^3 до 1,1 кг/м^3, фібри типу «поліарм» — від 1 кг/м^3 до 3 кг/м^3. Довжина волокон фібри типу «поліарм» повинна становити від 30 мм до 60 мм, ширина від 1,0 мм до 1,5 мм, товщина від 0,5 мм до 1,0 мм. Довжина волокон фібри типу «мікроарм» повинна становити від 2,0 мм до 36 мм, діаметр волокон від 0,01 мм до 0,03 мм.

Також фібру вводять для зниження усадки, підвищення тріщиностійкості, ударної стійкості.

Під час вибору виду фібри і її лінійних розмірів потрібно, щоб довжина фібри становила не менше ніж один діаметр максимального зерна крупного заповнювача.

Базальтова фібра повинна мати сертифікат відповідності або декларацію постачальника про відповідність згідно з ДСТУ ISO/IEC 17050-1 [18], ДСТУ ISO/IEC 17050-2 [19].

Базальтова фібра повинна легко і рівномірно розсипатися на окремі нитки (за умови не застосування базальтової фібри в гранульованому вигляді), не комкуватися і не злипатися.

Оптимальна кількість фібри визначається під час підбору складу цементобетонної суміші армованої базальтовою фіброю згідно з ДСТУ Б В.2.7-215 [20], ДСТУ-Н Б В.2.7-299 [21] та, орієнтовно, знаходиться в межах від 0,3 % до 0,6 % від маси заповнювача або орієнтовно від 2 % до 6 % від маси цементу.

Довжина волокон базальтової фібри повинна складати від 10 мм до 60 мм, діаметр волокон від 0,016 мм до 0,024 мм.

Обґрунтування придатності базальтової фібри і оптимального їх вмісту в цементобетонній суміші визначають безпосередньо проведенням випробування зразків цементобетону, приготовлених з їх використанням.

Полімерна фібра повинна відповідати вимогам ДСТУ EN 14889-2 [22], випускатися за технологічним регламентом, розробленим і затвердженим у відповідному порядку.

Виробник вказує масу волокна на кожну одиницю об’єму в кг/м^3, яка потрібна для досягнення залишкової міцності за розтягування і вигині.

Рекомендований вміст полімерної фібри для приготування фібробетонних сумішей становить (3,0 — 5,0) % від маси фібробетонної суміші.

Рекомендації до вибору цементобетону та цементобетонної суміші

Цементобетон для міжтрубного простору повинен відповідати вимогам ДСТУ 9208 [23], клас міцності на стиск повинен бути не нижче ніж С25/30, марка цементобетону за морозостійкістю не нижче ніж F200 та водонепроникності не нижче ніж W4.

Для омонолічування збірних конструкцій потрібно застосовувати цементобетон класу за міцністю на стиск не нижче прийнятого для елементів, що стикуються.

Цементобетонна суміш під час укладання повинна володіти рухомістю і мати марку не нижче П4 згідно з ДСТУ Б В.2.7-96 [24].

Підбір складу сумішей цементобетонних для цементобетону проводять відповідно до ДСТУ Б В.2.7-215 [20], ДСТУ-Н Б В.2.7-299 [21].

Кількість повітря, залученого до сумішей цементобетонних за умови дотримання проєктних вимог до цементобетону за морозостійкістю не повинна бути більша ніж 5 %.

Розшаровуваність сумішей цементобетонних для виготовлення цементобетонів залежно від легкоукладальності повинна бути не більше ніж 2 %.

Рекомендації до вибору розчинної суміші

Придатність розчину для заповнення міжтрубного простору визначають на основі можливості його перекачування.

Визначення поведінки цементно-піщаних розчинів підчас перекачування залежить від показників динамічної в'язкості η та граничного напруження зсуву τ_0, що є основними фізико-механічними властивостями. Величини η та τ_0 відносяться до теоретичних залежностей для визначення гідравлічного опору руху цементно-піщаного розчину в міжтрубному кільцевому зазорі.

Одним з найбільших впливів на здатність розчину перекачуватись розчинонасосами здійснює ступінь розшарування розчинів. Ступінь розшарування залежить в основному від водоутримуючої здатності складових розчину і характеризується зміною його однорідності, тобто рухливості в різних по висоті шарах.

У розчинах, які схильні до розшарування, крупні частки заповнювача опускаються до низу, а вода і дрібні частки в'яжучої речовини піднімаються на поверхню. Якщо при цьому виміряти рухливість розчину в різних шарах, то виявиться, що вона у верхньому шарі більша ніж в нижньому. Чим більше розшарування розчину, тим більша різниця в показниках рухливості розчину у верхньому і нижньому шарах.

Розшарування розчину визначають за різницею величин, що характеризують рухливість верхнього і нижнього шару в сантиметрах.

Варто зазначити, що якість піску має суттєвий вплив на здатність розчинів до перекачування.

Основними характеристиками, що визначають якість піску, якщо виключити глиняні домішки є наступні:

— форма та характер поверхні зерен піску;
— зерновий склад (крупність і % зерен за крупністю);
— вмістом пиловидних і глинистих часток, в тому числі глини у грудках;
— вмістом органічних домішок;
— густину зерен піску;
— насипну густину та порожнистість (пустотності);
— питома поверхня зерен піску.

Всі названі характеристики впливають на здатність розчину, приготованого з даного піску, перекачуватись насосами під тиском.

Форма і характер поверхні зерен піску впливають на водоутримуючу здатність розчину і в певній мірі впливають на здатність розчинів до перекачування.

Пустотність піску коливається в межах 33 % – 48 %. Вважається, що в пісках задовільної якості пустотність не повинна перевищувати 40 %, в якісних — 37 %.

Однак величина пустотності залежить від форми і характеру поверхні зерен піску і від зернового складу, тобто є функцією перших двох характеристик.

Питома поверхня зерен піску є суттєвим показником, що впливає на транспортування будівельних розчинів насосами, оскільки пісок, завдяки молекулярному зчепленню, утримує на своїй поверхні воду (плівкову). Відомо, що плівкова вода утримується поверхнею частинок піску з великою силою.

Із цієї точки зору цілком зрозуміла доцільність наявності дрібних часток у складі піску, що створюють більшу сумарну поверхню, яка міцно утримує воду. Величина сумарної поверхні, як і пустотності, знаходиться в прямій залежності від форми і характеру поверхні зерен піску і від зернового складу.

Таким чином, оптимальний зерновий склад піску, що входить в розчини, який перекачують насосами, в кожному випадку повинен визначатись з урахуванням всіх вимог.

Покращення перекачуваності розчинів можна досягти шляхом введення пластифікуючих і суперпластифікуючих добавок.

Для підбору оптимального складу розчинів, а також для визначення оптимальних параметрів процесу заповнення міжтрубного зазору необхідне знання величин гідравлічного опору рухові розчину. Величина гідравлічного опору залежить від складу та властивостей розчинів, параметрів процесу заповнення, конструктивних параметрів обладнання.

Суміш для цементного розчину виготовляють на основі дрібного заповнювача, вимоги наведено в **табл. 2**.

Таблиця 2

Вимоги до суміші для цементного розчину

Назва показника	Значення
Крупність заповнювача, мм, не більше ніж	2,5
Рухомість, см, не менше ніж	П14
Термін придатності, хв, не менше ніж	60
Границя міцності на стиск, МПа, не менше ніж	45
Морозостійкість, циклів	200

Рекомендації до вибору герметизуючого матеріалу

Мастики гідроізоляційні повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-79 [25], ДСТУ Б В.2.7-108 [26].

Гумові ущільнювачі повинні мати властивості: діапазон температури експлуатування від мінус 40 °С до 120 °С; стійкість до контакту з легким маслом, кислотами та лугами; стійкість до деградації та старіння під впливом сонячного світла та озону; стійкість до абразивного впливу; тривалий термін служби; висока еластичність (до 400 %).

Гумові ущільнювачі повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 681-1 [27].

Організування і технологія виконання робіт з відновлення водопропускальних труб

Загальні положення

Перед початком проєктування відновлення водопропускальних труб з МГК потрібно провести оцінювання стану водопропускальної труби, що підлягає ремонтуванню. Оцінювання має містити такі етапи:

— збір інформації, що є в технічній документації та документації на проведення ремонтувальних робіт;

— натурний огляд;

— вимірювання геометричних розмірів оголовків і поперечного перерізу труби, її довжини, а також величин дефектів та деформацій;

— уточнення стану та характеристик ґрунту в за трубній порожнині;

— визначення характеристик міцності матеріалу труби (за потреби);

— виконання інженерно-геологічних робіт з дослідження насипу та основи;

— проведення гідрологічних розрахунків з урахуванням звуження отвору труби.

До ремонтувальних робіт дозволяється приступати за наявності проєктної та робочої документації, розробленої відповідно до вимог, та виконаного на її основі ПВР.

До складу основних робіт під час відновлення водопропускальних труб з МГК відносяться роботи, що складаються з наступних технологічних операцій:

— комплекс підготовчих робіт;

— монтування секцій внутрішньої труби загальною довжиною до 30 м, за довжини труби понад 30 м з використанням внутрішніх розпірних бандажів (**рис. 4** і **рис. 5**) або іншого способу стикування секцій. Установку секції у проєктне положення здійснюють розклинюванням або за допомогою розпірних болтів (**рис. 6**); після затвердіння цементобетонної суміші внутрішній бандаж дозволено зняти [1, 28];

— омонолічування міжтрубного простору;

— влаштування лотка.

Секції МГК для відновлювання водопропускальних труб стикують одна з одною за допомогою з'єднувальних бандажів, які не виступають за зовнішній діаметр труби.

На будівельний майданчик МГК і бандажі для з'єднання поставляють скомплектованими. Рекомендовано щоб бандаж був заздалегідь змонтований на одному з кінців труби. З'єднувальні бандажі повинні бути виготовлені з оцинкованої сталі.

Бандажі для забезпечення герметичності повинні мати ущільнювальну манжетку з мастик гідроізоляційних, бутилкаучукові і бітумно-бутилкаучукові, ущільнювач з гуми EPDM, SBR або інший матеріал, що забезпечує герметичність.

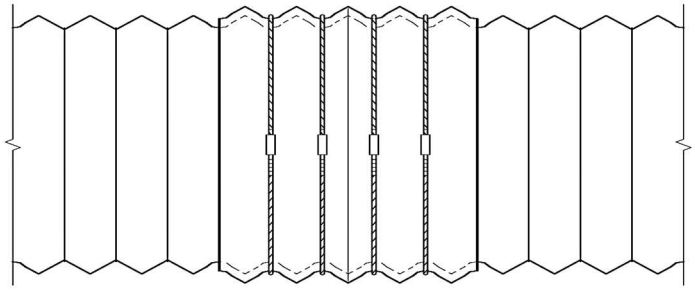
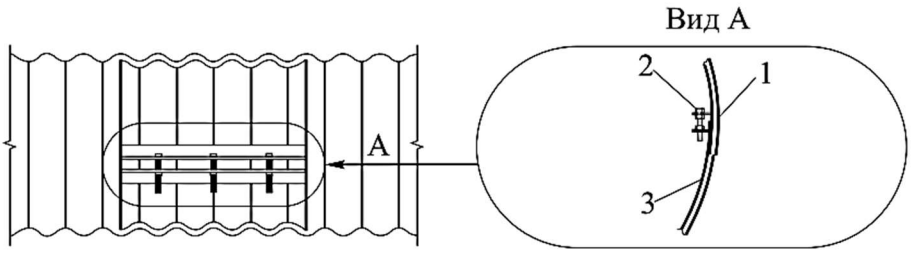


Рисунок 4 — Стикування секцій труби за допомогою зовнішнього бандажу із застосуванням стягувяльних тросів між гофрами



1 — стінка труби;
2 — болт, що розтягує;
3 — внутрішній бандаж.

Рисунок 5 — Стикування секцій труби за допомогою внутрішнього бандажу

Організування будівництва, підготовка до нього, будівельні роботи, а також контроль якості та нагляд повинні виконуватися з дотриманням вимог нормативних документів.

Роботи потрібно виконувати в теплий період року за температурах від 5 °С до 40 °С. Особливості виконання робіт у зимовий період мають бути додатково обумовлені у ПВР.

Після завершення основних робіт з відновлення на території, зайнятій будуванням, повинні бути ліквідовані всі тимчасові споруди та проведена передбачена проєктом рекультивація (ліквідування допоміжних споруд, призначених для відведення води; планування та зміцнення русла; зміцнення укосів насипу біля оголовків труб; благоустрій території).

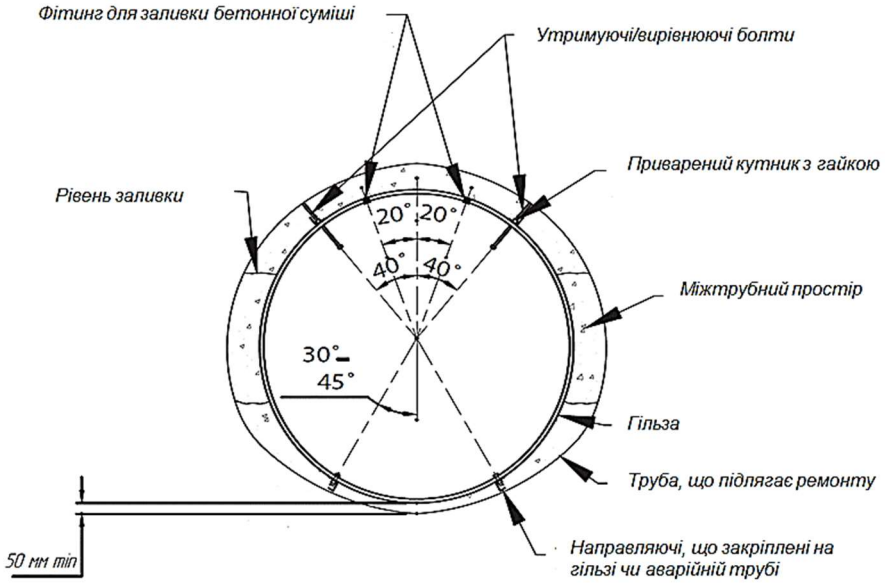


Рисунок 6 — Приклад розташування секції в трубі, що ремонтується

Підготовчі роботи

На етапі підготовчих робіт повинні бути виконі наступні заходи:

— ізоляція зони робіт від води, що протікає (можуть влаштовуватися ґрунтові дамби з тимчасовим водосховищем, водозбірні котловани перед вхідним оголовком, тимчасові трубопроводи для відведення або перекачування води за межі труби);

— очищення або за потреби промивка відновлювальної труби від сміття та бруду, видалення з неї води, закладення тріщин, відкритих стиків та місць інфільтрації ґрунтових вод (конкретний перелік місць з дефектами та деформаціями труби, а також перелік виконуваних робіт повинен бути визначений проєктом);

— створення умов для безперешкодного протягування секцій внутрішньої труби: влаштування настилу, направляючих, вирівнювання дна труби відповідно до проєкту.

Монтувальні роботи

Монтування секцій внутрішньої труби виконують у наступній технологічній послідовності:

Встановлення в трубі, що ремонтується, напрямних для протягування секцій МГК (мінімальна висота 50 мм) відповідно до проєкту щодо осьової та висотної розбивок. За потреби захист покриття геотекстилем. Надання проєктного похилу труби за допомогою нівеліру та клинів. Виготовляє напрямні з дерева, полімерних труб або металопрокату. Закріплення напрямних дозволено як на трубі, що ремонтується, так і на секції МГК із забезпеченням вільного проходження цементобетонної суміші через них. У разі рівної лоткової частини труби (за відсутності виступів, що перешкоджають просуванню секції) напрямні дозволено не встановлювати.

Прокладання в існуючій трубі троса для протягування секцій МГК із розривним навантаженням не менше загальної маси ремонтних ланок.

Протяжка каната з натуральних чи штучних волокон з розривним навантаженням не менше ніж 500 кг для подальшого протягування шланга для бетонування (кінці каната закріплюють (прив’язують) біля вхідного та вихідного оголовків, під час монтування секцій потрібно стежити, щоб канат залишався у міжтрубному просторі та не був задавлений).

Встановлення 1-ї секції МГК за допомогою автокрана біля входу існуючої труби, кінцем з бандажем або розтрубом в напрямку від оголовка.

Можливе застосування монтувального візка з домкратами всередині першої секції так, щоб домкрати перебували в обох кінцях секції, в такому разі: підняти домкрати упорами у верхній звід

секції; підняти секцію труби на домкратах на висоту (5 – 7) см для її переміщення всередині існуючої труби.

Закріплення на торці 1-ї секції МГК троса для протягування труби за допомогою струбцин або заздалегідь підготовлених вушок.

Приєднання до лебідки або іншого буксируваного засобу другого кінця троса.

Протягування секції МГК, залишивши зовні частину розміром не менше ніж 500 мм для встановлення бандажа.

Під час застосування монтувального візка закотити вручну на візку першу секцію внутрішньої труби до протилежного краю існуючої труби.

Виставити першу секцію МГК в існуючій трубі за допомогою домкратів у відповідності до проєкту щодо осьової і висотної розбивок. Встановити проєктний похил за допомогою нівеліра та за допомоги домкратів.

Розклинити першу секцію в чотирьох місцях кожного торця за допомогою дерев'яних клинків по колу (див. **рис. 6**).

Перевірити положення першої секції внутрішньої труби у відповідності з осьовою і висотною розбивкою, в також перевірити похил за допомогою нівеліра;

Встановлення наступної секції МГК за допомогою автокрана. Рекомендовано торцем з бандажним з'єднанням назовні від оголовка.

Під час застосування монтувального візка виконати переміщення монтувального візка з домкратами у початкове положення (до вхідного оголовка). Встановити монтувальний візок з домкратами всередині другої секції так, щоб домкрати перебували в обох торцях, в такому випадку: підняти домкрати упорами у верхній звід секції; встановити упор на торці з муфтою на висоті 1/3 діаметра секції для стягування першої та другої секції внутрішньої труби за допомогою лебідки з ланцюговим тросом; підняти другу секцію на домкратах на висоту (5 – 7) см для її переміщення всередині існуючої труби.

Перемістити другу секцію до бандажу першої секції в існуючій трубі.

За допомогою домкратів поєднати по осях та висоті вільний кінець другої секції внутрішньої труби з бандажем першої секції.

Встановити упор на висоті 1/3 діаметра секції на вільному кінці першої секції для з'єднання першої та другої секцій за допомогою лебідки з ланцюговим тросом.

Встановити дві ручні лебідки з ланцюговими тросами всередині секцій, в такому випадку лебідки застропити на упорі вільного краю першої секції, а гаки ланцюгових тросів — на упорі другої секції.

Очистити від бруду місця з'єднання першої та другої секцій з допомогою волосяної щітки та дрантя.

Нанести змащувальний засіб на внутрішню поверхню з'єднувального бандажу та зовнішню поверхню торця другої секції, яка стикується (в якості мастильного засобу може використовуватися рідке мило, технічний вазелін або спеціальна змазка, що замовляється у постачальника труб).

Завести за допомоги лебідок вільний край другої секції в з'єднувальний бандаж першої секції до проходження ним червоної лінії на муфті (див. **рис. 4**).

Виставити за допомогою домкратів торець із з'єднувальним бандажем другої секції у відповідності до проєкту щодо осьової і висотної розбивок, у такому випадку вільний торець другої секції не повинен вийти за червону лінію в бандажі першої секції.

Розклинити за допомогою дерев'яних клинків торець з бандажем другої секції відповідно до **рис. 6**, перевірити положення другої секції внутрішньої труби.

Під час застосування монтувального візка виконати переміщення монтувального візка з домкратами у початкове положення (до вхідного оголовка).

Інші секції внутрішньої труби з МГК в існуючій трубі змонтувати аналогічно вищевказаним технологічним операціям дотримуючись певних умов: за роботи з ланками не допускати механічних і хімічних ушкоджень матеріалу секцій труби з МГК; застосовувати інвентар і пристосування, які розподіляють навантаження по периметру секції, не допускаючи точкових навантажень.

Дозволено застосування іншого методу монтування секцій МГК, якщо це передбачено проєктом на проведення відновлювальних робіт.

Омонолічування міжтрубного простору

Заповнення міжтрубного простору цементобетонною сумішшю чи / або розчином виконують автобетононасосом у комплекті з автобетонозмішувачем відповідних параметрів.

Установка автобетононасоса на будівельному майданчику повинна забезпечити безперебійну роботу насоса. Автобетононасос встановлюють на виносні опори (аутригери) для сталого його положення в роботі. Шарнірну трисекційну повноповоротну стрілу переводять в робоче положення і проводять перевіряння роботи бетононасоса на холостому ходу.

Експлуатування бетононасоса здійснюють в ручному режимі. Ручний режим застосовується за підготовки насоса до роботи, пуску, укладання невеликих обсягів цементобетонної суміші, промиванню бетоноводів за завершенням роботи.

У випадку вимушеної перерви в роботі автобетононасоса в завантажувальному бункері повинно залишатись (0,1 – 0,2) м³ цементобетонної чи / або розчину для періодичного включення насоса для роботи «на себе».

Омонолічування міжтрубного простору рекомендується виконувати таким чином:

а) закласти цеглою на цементному розчині обидва краї міжтрубного простору за периметром (закладення цегли міжтрубного простору необхідне для запобігання витіканню з нього цементобетонної суміші, можливе застосування опалубки із дощок або листового металу), у такому випадку залишивши в них по одному отвору розміром 100×100 мм для пропуску шланга подачі цементобетонної суміші;

б) прив’язати кінець каната до шланга для протягування його вздовж труби у міжтрубному просторі під час бетонування;

в) подавати цементобетонну суміш по шлангу за допомогою бетононасосу, починати омонолічування від краю труби;

г) здійснювати контроль заповнення цементобетонною сумішшю для труб діаметром:

— від 1,0 м і вище методом простукування всередині труби за допомогою гумового молотка, а також порівнюючи об’єм укладеної цементобетонної суміші з об’ємом за проєктом,

— менше ніж 1,0 м тільки порівнянням обсягу влаштованої цементобетонної суміші з обсягом за проєктом;

д) здійснювати омонолічування міжтрубного простору по всій довжині труби одночасно з двох сторін щодо осі за три етапи за висотою:

— І етап — лоткової частини;

— ІІ етап — середньої частини;

— ІІІ етап – склепіння труби.

Дозволено виконувати омонолічування міжтрубного простору з подачею цементобетонної суміші:

— через прокол із боку дорожнього полотна;

— технологічні отвори у тілі МГК.

Після закінчення укладання цементобетонної суміші бетоновід і насос очищають від залишків цементобетонної суміші. Очищення бетоноводу виконують водою під тиском, в такому випадку робітники, не зайняті безпосередньо виконанням цих технологічних операцій, повинні бути віддалені від бетоновода на відстань не менше ніж 10 м. Вібратори та ручний інструмент очищають від залишків цементобетонної суміші, промивають водою і витирають насухо.

Укладання цементобетонної суміші на кожній захватці починають з найбільш віддаленої від насоса ділянки і виконують в напрямку до місця його установки.

Після закінчення підготовчих робіт, монтувальних робіт та робіт з омонолічування міжтрубного простору повинні бути оформлені Акти огляду прихованих робіт.

Висновки

Сьогодні велика кількість водопропускальних труб знаходиться в незадовільному стані, не відслуживши свій розрахунковий строк експлуатації. Маючи дефекти, що вплинуть на перенесення

ґрунту з подальшим вимиванням порожнин та осідання водопропускальної труби з часом. Розмивання ґрунту впливає на втрату стійкості водопропускальної труби, що спричиняє руйнування автомобільної дороги.

Застосування методу «гільзування» дозволяє використовувати безтраншейний метод ремонту труби. Безтраншейний ремонт доречний, коли водопропускальна труба втрачає свою структурну цілісність, але не повністю вийшла з ладу або зруйнувалася. Стандартним методом оцінки вартості / вигоди цього методу ремонту є проведення аналізу витрат протягом життєвого циклу, щоб визначити, як авансові витрати окупаються з часом.

У роботі запропоновано рекомендації з відновлення водопропускальних труб із застосуванням металевих гофрованих конструкцій.

В умовах воєнного та післявоєнного часу існує велика необхідність у виконанні ремонтних робіт водопропускальних труб, одним із варіантів є застосування металевих гофрованих конструкцій. Перевагу необхідно надати методам, які не потребують зупинення транспортних потоків.

Список літератури

1. Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Клименко М. І., Гаркуша І. Ю. Дослідження та аналіз технології відновлення гідротехнічних споруд транспортного будівництва з дорожніх водопропускних труб методом гільзування. *Дороги і мости*. Київ, 2023. Вип. 28. С. 203–220. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.203.

2. Wagener, Bruce D., Leagjeld, Eric E. (2014). Culvert Repair Best Practices, Specifications and Special Provisions - Best Practices Guidelines. URL: https://hdl.handle.net/20.500.14153/mndot.2945.

3. Jin, He. (2016). Decision-Making Guidance for Selecting Culvert Renewal Techniques. All Dissertations. 1726. URL: https://open.clemson.edu/all_dissertations/1726.

4. Handbook of steel drainage & highway construction products. (2009). Corrugated Steel Pipe Institute. Canada: American Iron and Steel Institute.

5. ВБН В.2.3-218-198:2007 Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд із металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2007. 51 с. (Інформація та документація).

6. Посібник до ВБН В.2.3-218-198:2007 Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд із металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2007. 124 с. (Інформація та документація).

7. ДСТУ EN 10025-1:2007 Вироби гарячекатані з конструкційної сталі. Частина 1. Загальні технічні умови постачання (EN 10025-1:2004, IDT). Київ, 2007. 23 с. (Інформація та документація).

8. ДСТУ EN 10169:2018 Прокат плоский сталевий з органічним покриттям, нанесеним на безперервних лініях фарбування рулонного металу (за технологією койлкоутінгу). Технічні умови постачання (EN 10169:2010 + A1:2012, IDT). Київ, 2018. 37 с. (Інформація та документація).

9. Національна асоціація гофрованих сталевих труб. URL: https://ncspa.org/steel-product/corrugated-steel-pipe-coupling-systems/ (дата звернення: 01.09.2024).

10. ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. Київ, 2010. 21 с. (Інформація та документація).

11. ДСТУ EN 934-2:2019 Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови. Частина 2. Добавки для бетонів. Визначення, вимоги, відповідність маркування, етикетування (EN 934-2:2009 + A1:2012, IDT). Київ, 2019. 24 с. (Інформація та документація).

12. 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. 17 с. (Інформація та документація).

13. ДСТУ Б В.2.7-32-95 Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. Київ, 1995. 35 с. (Інформація та документація).

14. ДСТУ Б В.2.7-210:2010 Будівельні матеріали. Пісок із відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови. Київ, 2010. 26 с. (Інформація та документація).

15. ДСТУ-Н Б В.2.7-175:2008 Будівельні матеріали. Настанова щодо застосування хімічних добавок у бетонах і будівельних розчинах. Київ, 2008. 31 с. (Інформація та документація).

16. ДСТУ Б В.2.7-128:2006 Будівельні матеріали. Добавки активні мінеральні та добавки-навповнювачі до цементу. Технічні умови. Київ, 2006. 12 с. (Інформація та документація).

17. ДСТУ Б В.2.7-273:2011 Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови (ГОСТ 23732-79, MOD). Київ, 2011. 6 с. (Інформація та документація).

18. ДСТУ ISO/IEC 17050-1:2006 Оцінка відповідності. Декларація постачальника про відповідність. Частина 1. Загальні вимоги (ISO/IEC 17050-1:2004, IDT). Київ, 2006. 11 с. (Інформація та документація).

19. ДСТУ ISO/IEC 17050-2:2022 Оцінювання відповідності. Декларація постачальника про відповідність. Частина 2. Підтверджувальна документація (EN ISO/IEC 17050-2:2004, IDT; ISO/IEC 17050-2:2004, IDT). Київ, 2022. 9 с. (Інформація та документація).

20. ДСТУ Б В.2.7-215:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу. Київ, 2009. 13 с. (Інформація та документація).

21. ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013 Настанова щодо визначення складу важкого бетону. Київ, 2013. 91 с. (Інформація та документація).

22. ДСТУ EN 14889-2:2022 Фібра для бетону. Частина 2. Фібра полімерна. Визначення, вимоги та оцінка відповідності (EN 14889-2:2006, IDT). Київ, 2022. 30 с. (Інформація та документація).

23. ДСТУ 9208:2022 Бетони важкі. Технічні умови. Київ, 2022. 31 с. (Інформація та документація).

24. ДСТУ Б В.2.7-96-2000 Суміші бетонні. Технічні умови (ГОСТ 7473-94). Київ, 2000. 40 с. (Інформація та документація).

25. ДСТУ Б В.2.7-79-98 Мастики гідроізоляційні бутилкаучукові і бітумно-бутилкаучукові. Технічні умови. Київ, 1998. 31 с. (Інформація та документація).

26. ДСТУ Б В.2.7-108-2001 Будівельні матеріали. Мастики покрівельні та гідроізоляційні. Загальні технічні умови (ГОСТ 30693-2000). Київ, 2001. 15 с. (Інформація та документація).

27. ДСТУ EN 681-1:2019 Ущільнювачі еластомерні. Вимоги до ущільнювальних матеріалів для з'єднань водопровідних та дренажних трубопроводів. Частина 1. Вулканізована гума (EN 681-1:1996/A1:1998, IDT). Київ, 2019. 19 с. (Інформація та документація).

28. Онищенко А. М., Гаркуша М. В. Аналіз перспективи застосування ремонту, методом гільзування, водопропускних труб, як різновиду гідротехнічних споруд транспортного будівництва. *Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії: зб. наук. пр.* Херсон: ХДАЕУ, 2021. Вип. 3. С. 147–150

References

1. Onyshchenko A. M., Harkusha M. V., Klymenko M. I., Harkusha I. yu. Doslidzhennya ta analiz tekhnolohiyi vidnovlennya hidrotekhnichnykh sporud transportnoho budivnytstva z dorozhnikh vodopropusknykh trub metodom hil′zuvannya. *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2023. Issue 28. P. 203–220. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.203 [in Ukrainian].

2. Wagener, Bruce D., Leagjeld, Eric E. (2014). Culvert Repair Best Practices, Specifications and Special Provisions — Best Practices Guidelines. URL: https://hdl.handle.net/20.500.14153/mndot.2945 [in English].

3. Jin, He. (2016). Decision-Making Guidance for Selecting Culvert Renewal Techniques. All Dissertations. 1726. URL: https://open.clemson.edu/all_dissertations/1726 [in English].

4. Handbook of steel drainage & highway construction products. (2009). Corrugated Steel Pipe Institute. Canada: American Iron and Steel Institute [in English].

5. VBN V.2.3-218-198:2007 Sporudy transportu. Proektuvannya ta budivnytstvo sporud iz metalevykh hofrovanykh konstruktsiy na avtomobil′nykh dorohakh zahal′noho korystuvannya

[Departmental Building Regulations (VBN V.2.3-218-198:2007) Transport facilities. Design and construction of structures made of metal corrugated structures on public highways]. Kyiv, 2007. 51 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

6. Posibnyk do VBN V.2.3-218-198:2007 Sporudy transportu. Proektuvannya ta budivnytstvo sporud iz metalevykh hofrovanykh konstruktsiy na avtomobil′nykh dorohakh zahal′noho korystuvannya [Guide to Departmental Building Regulations (VBN V.2.3-218-198:2007) Transport facilities. Design and construction of structures made of metal corrugated structures on public highways]. Kyiv, 2007. 124 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

7. DSTU EN 10025-1:2007 Vyroby haryachekatani z konstruktsiynoyi stali. Chastyna 1. Zahal′ni tekhnichni umovy postachannya (EN 10025-1:2004, IDT) [State Standard of Ukraine (DSTU EN 10025-1:2007) Products are hot-rolled from structural steel. Part 1. General technical conditions of supply]. Kyiv, 2007. 23 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

8. DSTU EN 10169:2018 Prokat ploskyy stalevyy z orhanichnym pokryttyam, nanesenym na bezperervnykh liniyakh farbuvannya rulonnoho metalu (za tekhnolohiyeyu koylkoutinhu). Tekhnichni umovy postachannya (EN 10169:2010 + A1:2012, IDT) [State Standard of Ukraine (DSTU EN 10169:2018) Rolled flat steel with an organic coating applied on continuous lines of painting rolled metal (using coil coating technology). Technical conditions of supply]. Kyiv, 2018. 37 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

9. National Corrugated Steel Pipe Association. URL: https://ncspa.org/steel-product/corrugated-steel-pipe-coupling-systems/ (data zvernennya: 01.09.2024) [in English].

10. DSTU B V.2.7-46:2010 Budivel′ni materialy. Tsementy zahal′nobudivel′noho pryznachennya. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-46:2010) Building materials. Cements for general construction purpose. Technical conditions]. Kyiv, 2010. 21 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

11. DSTU EN 934-2:2019 Dobavky dlya betoniv i budivel′nykh rozchyniv. Zahal′ni tekhnichni umovy. Chastyna 2. Dobavky dlya betoniv. Vyznachennya, vymohy, vidpovidnist′ markuvannya, etyketuvannya (EN 934-2:2009 + A1:2012, IDT) [State Standard of Ukraine (DSTU EN 934-2:2019) Additives for concrete and construction solutions. General technical conditions. Part 2. Additives for concrete. Definition, requirements, conformity of marking, labeling]. Kyiv, 2019. 24 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

12. DSTU B V.2.7-75-98 Budivel′ni materialy. Shchebin′ ta hraviy shchil′ni pryrodni dlya budivel′nykh materialiv, vyrobiv, konstruktsiy ta robit. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-75-98) Building materials. Crushed stone and gravel are natural dense for building materials, products, constructions and works. Technical conditions]. Kyiv, 1998. 17 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

13. DSTU B V.2.7-32-95 Budivel′ni materialy. Pisok shchil′nyy pryrodnyy dlya budivel′nykh materialiv, vyrobiv, konstruktsiy i robit. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-32-95) Building materials. Dense natural sand for building materials, products, constructions and works. Technical conditions]. Kyiv, 1995. 35 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

14. DSTU B V.2.7-210:2010 Budivel′ni materialy. Pisok iz vidsiviv droblennya vyverzhenykh hirs′kykh porid dlya budivel′nykh robit. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-210:2010) Building materials. Sand from screenings of crushed erupted rocks for construction works. Technical conditions]. Kyiv, 2010. 26 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

15. DSTU-N B V.2.7-175:2008 Budivel′ni materialy. Nastanova shchodo zastosuvannya khimichnykh dobavok u betonakh i budivel′nykh rozchynakh [State Standard of Ukraine (DSTU-N B V.2.7-175:2008) Building materials. Guidelines for the use of chemical additives in concrete and construction mortars]. Kyiv, 2008. 31 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

16. DSTU B V.2.7-128:2006 Budivel′ni materialy. Dobavky aktyvni mineral′ni ta dobavky-navpovnyuvachi do tsementu. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-128:2006) Building materials. Active mineral additives and filler additives for cement. Technical conditions]. Kyiv, 2006. 12 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

17. DSTU B V.2.7-273:2011 Voda dlya betoniv i rozchyniv. Tekhnichni umovy (HOST 23732-79, MOD) [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-273:2011) Water for concrete and solutions. Technical conditions]. Kyiv, 2011. 6 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

18. DSTU ISO/IEC 17050-1:2006 Otsinka vidpovidnosti. Deklaratsiya postachal′nyka pro vidpovidnist′. Chastyna 1. Zahal′ni vymohy (ISO/IEC 17050-1:2004, IDT) [State Standard of Ukraine (DSTU ISO/IEC 17050-1:2006) Compliance assessment. Supplier Declaration of Conformity. Part 1. General requirements (ISO/IEC 17050-1:2004, IDT)]. Kyiv, 2006. 11 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

19. DSTU ISO/IEC 17050-2:2006 Otsinyuvannya vidpovidnosti. Deklaratsiya postachal′nyka pro vidpovidnist′. Chastyna 2. Pidtverdzhuval′na dokumentatsiya (ISO/IEC 17050-2:2004, IDT) [State Standard of Ukraine (DSTU ISO/IEC 17050-2:2006) Compliance assessment. Supplier Declaration of Conformity. Part 2. Supporting documentation (EN ISO/IEC 17050-2:2004, IDT; ISO/IEC 17050-2:2004, IDT)]. Kyiv, 2006. 9 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

20. DSTU B V.2.7-215:2009 Budivel′ni materialy. Betony. Pravyla pidboru skladu [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-215:2009) Building materials. Concretes. Rules of composition selection]. Kyiv, 2009. 13 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

21. DSTU-N B V.2.7-299:2013 Nastanova shchodo vyznachennya skladu vazhkoho betonu [State Standard of Ukraine (DSTU-N B V.2.7-299:2013) Guidelines for determining the composition of heavy concrete]. Kyiv, 2013. 91 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

22. DSTU EN 14889-2:2022 Fibra dlya betonu. Chastyna 2. Fibra polimerna. Vyznachennya, vymohy ta otsinka vidpovidnosti (EN 14889-2:2006, IDT) [State Standard of Ukraine (DSTU EN 14889-2:2022) Fiber for concrete. Part 2. Polymer fiber. Definition, requirements and conformity assessment]. Kyiv, 2022. 30 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

23. DSTU 9208:2022 Betony vazhki. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU 9208:2022) Concrete is heavy. Technical conditions]. Kyiv, 2022. 31 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

24. DSTU B V.2.7-96-2000 Sumishi betonni. Tekhnichni umovy (HOST 7473-94) [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-96-2000) Concrete mixes. Technical conditions (GOST 7473-94)]. Kyiv, 2000. 40 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

25. DSTU B V.2.7-79-98 Mastyky hidroizolyatsiyni butylkauchukovi i bitumno-butylkauchukovi. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-79-98) Waterproofing butyl rubber and bitumen-butyl rubber mastics. Technical conditions]. Kyiv, 1998. 31 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

26. DSTU B V.2.7-108-2001 Budivel′ni materialy. Mastyky pokrivel′ni ta hidroizolyatsiyni. Zahal′ni tekhnichni umovy (HOST 30693-2000) [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-108-2001) Building materials. Roofing and waterproofing mastics. General technical conditions]. Kyiv, 2001. 15 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

27. DSTU EN 681-1:2019 Ushchil′nyuvachi elastomerni. Vymohy do ushchil′nyuval′nykh materialiv dlya z″yednan′ vodoprovidnykh ta drenazhnykh truboprovodiv. Chastyna 1. Vulkanizovana huma (EN 681-1:1996/A1:1998, IDT) [State Standard of Ukraine (DSTU EN 681-1:2019) Elastomeric seals. Requirements for sealing materials for connections of water supply and drainage pipelines. Part 1. Vulcanized rubber]. Kyiv, 2019. 19 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

28. Onyshchenko A. M., Harkusha M. V. Analiz perspektyvy zastosuvannya remontu, metodom hil′zuvannya, vodopropusknykh trub, yak riznovydu hidrotekhnichnykh sporud transportnoho budivnytstva. *Suchasni tekhnolohiyi ta dosyahnennya inzhenernykh nauk v haluzi hidrotekhnichnoho budivnytstva ta vodnoyi inzheneriyi: zb. nauk. pr.* Kherson: KHDAEU, 2021. Issue 3. P. 147–150 [in Ukrainian].

Mykola Harkusha, *Ph.D., Associate Prof., https://orcid.org/0000-0002-5388-0561*

National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

RECOMMENDATIONS FOR RESTORATION OF CULVERT USING METAL CORRUGATED STRUCTURES

Abstract

Introduction. The reliability and durability of culverts are affected by static and dynamic loads from vehicles and temperature and climatic influences, the destructive force of water flow, abrasive destruction, corrosion of the material, shortcomings in the choice of structures and unsatisfactory design, all of which cause the premature collapse of the structure. Today, culverts made of metal corrugated structures (hereinafter referred to as metal corrugated structures) are widely used. The well-known advantages that justify the choice of such a solution are mainly a short term and a relatively low cost of construction, construction provided that the appropriate technological regime is observed does not cause any particular problems. Therefore, there is a need to develop a recommendation for the restoration of culverts using metal corrugated structures.

Problems. It was established that there is a need to restore culverts without stopping the movement of vehicles.

Goal. It consists in offering approaches for the restoration of culverts using metal corrugated structures.

Results. Recommendations for the restoration of culverts using metal corrugated structures are offered, with recommendations for the selection of materials and the organization and technology of culvert restoration works.

Conclusions. Today, a large number of culverts are in an unsatisfactory condition, having not served their predicted service life. Having damage and abrasion caused by corrosion, which affects the transfer of soil and the washing out of cavities and settling of the culvert over time. Soil erosion will cause the culvert to lose stability, which will cause the road to collapse.

The application of the “casing” method facilitates trenchless culvert repair to the maximum advantage of leaving the pipe serviceable during the repair, returning the pipe to original condition or better. Trenchless repair is appropriate when a culvert loses its structural integrity but has not completely failed or collapsed. A standard method for evaluating the cost/benefit of this repair method is to perform a life-cycle cost analysis to determine how the upfront costs pay off over time.

Once a culvert is identified as needing attention, a decision must be made as to whether that particular structure should be completely replaced or a repair and rehabilitation program should be undertaken. Factors influencing this decision include the extent of damage the culvert has sustained; site conditions; impact of vehicle traffic; the relative costs of either approach; availability of financing; safety issues applicable to each type of structure; and an estimate of the remaining service life of the existing culvert, whether repaired or not.

We are working on the proposal of approaches to the restoration of culverts using metal corrugated structures.

Keywords: highway, construction, restoration, culvert, metal corrugated structure.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.338

УДК 624.014:624.21

Абрамов В. М., *канд. техн. наук., доц., https://orcid.org/0000-0002-6911-5178*

Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Івано-Франківськ (на період воєнного стану), Україна

ПРО ТИМЧАСОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА АРКОВІ СПОРУДИ З ГОФРОВАНОГО МЕТАЛУ ПІД ДОРОЖНІМ НАСИПОМ

Анотація

Вступ. Розглянуто питання особливостей формування і практичного розрахунку тимчасового рухомого навантаження від транспортних засобів на аркові споруди з гофрованого металу під дорожнім насипом. Ці особливості пов'язані зі схемою статичної роботи й деформування відносно гнучкої конструкції — переважно на згин під дією переважаючого вертикального тиску від ґрунту насипу і в умовах передавання тимчасового навантаження через ґрунт насипу, який розподіляє певним чином це навантаження.

Проблематика. У чинних нормативно-методичних документах стосовно проєктування мостів і труб інформація щодо правил визначення величини тимчасового рухомого навантаження на труби під насипом автомобільних доріг обмежена вказівками стосовно параметрів типової схеми колісних навантажень (НК-100 або НК-80) і відносно розподільчих властивостей ґрунту насипу, без викладення необхідних для практичних розрахунків методики і формул, що певною мірою ускладнює проєктування. Нормативно-методичні документи безпосередньо з проєктування дорожніх споруд з гофрованого металу також не містять достатньо повної і коректної інформації з цього приводу.

Мета і завдання. Доповнити уявлення про особливості формування тимчасового рухомого навантаження на аркові споруди з гофрованого металу під дорожнім насипом від впливу маси транспортних засобів на дорозі і показати можливі схеми практичного розрахунку цього навантаження — є основною метою і завданням даної роботи.

Методи досліджень і результати. Методичною основою даної роботи є розрахунково-теоретичний аналіз впливу тимчасового рухомого навантаження на напружено-деформаційний стан склепіння напівкруглої форми (арки, за умовами плоскої задачі) з гофрованого металу і на зміни цього стану залежно від розташування транспортного засобу відносно прольоту арки. За результатами серії розрахунків арки при різному розташуванні тимчасового рухомого навантаження і при різній висоті насипу над спорудою встановлені зміни форми і екстремальних значень епюри згинального моменту в арки з визначенням характеру і ступеню цих змін.

Висновки. Показано, як змінюється форма, величини і кутові координати екстремальних значень епюри згинального моменту в арки залежно від зміни розташування тимчасового рухомого навантаження і від висоти насипу над спорудою, наведено чисельні дані таких змін і дані співвідношення значень згинальних моментів при різних схемах розташування тимчасового рухомого навантаження відносно до простій симетричної схеми навантаження, до якої можливо приводити (в деяких випадках) несиметричні схеми навантаження для практичних розрахунків.

Ключові слова: дорожній насип, аркова дорожня споруда, тимчасове навантаження, гофрований метал.

Вступ

Навантаження на споруду, яка розглядається, таке, як і на інші споруди під дорожнім насипом, воно має дві складові — постійне від тиску маси ґрунту насипу над спорудою і тимчасове від маси транспортних засобів на дорозі.

Постійне навантаження визначається як на звичайні водопропускні труби на автомобільних й залізничних дорогах — з урахуванням всієї маси ґрунту від верху споруди до верху дорожнього покриття (чи до низу шпали).

Тимчасове вертикальне навантаження на аркові споруди з гофрованого металу, яка розглядається — це тиск ґрунту від маси транспортних засобів на дорозі, якій для розрахунків приймається як рівномірно розподілене навантаження в рівні верху споруди.

Згідно даним спеціальної технічної літератури і нормативних документів минулих років [1, 2], для визначення величини тимчасового навантаження на труби під насипом автомобільних доріг використовували навантаження НК-80, величину якого q (т/м^2) на рівні верху споруди, на відстані між її верхом і верхом дорожнього покриття H (м), визначали за формулою:

$$q = \frac{19}{H+3} \ . \tag{1}$$

У нормах з проєктування і будівництва дорожніх споруд з гофрованого металу [3] передбачено навантаження від транспортних засобів визначати як дію умовного додаткового шару ґрунту, товщиною H_{eq} , еквівалентного дії транспортних засобів НК-100 чи НК-80 за формулою:

$$H_{eq} = \frac{\nu}{\gamma\left(H+3\right)}, \tag{2}$$

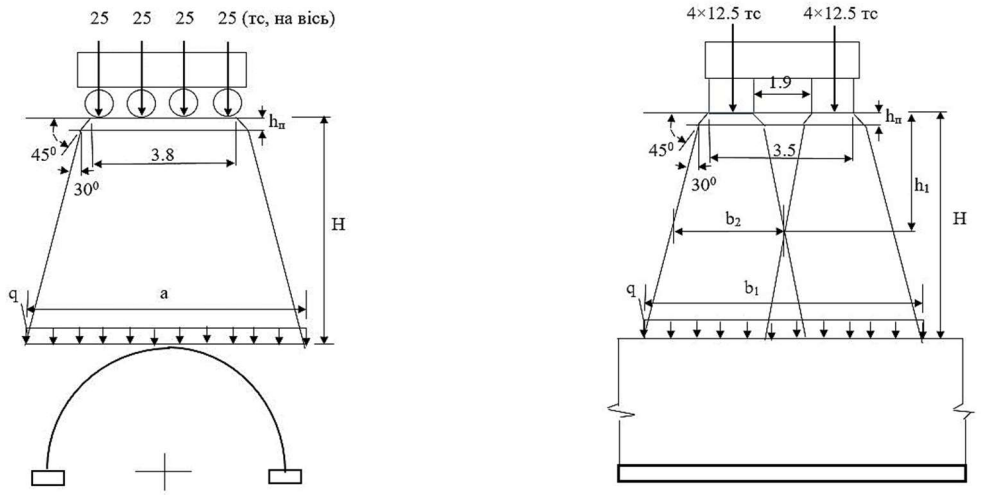
де ν — еквівалентне навантаження, згідно з додатком Н ДБН В.2.3–14:2006 [1], залежить від довжини і форми лінії впливу, кН/м;

γ — питома вага ґрунту насипу.

Для використання в практичних розрахунків аркових споруд, які розглядаються, формула (2) не достатньо коректна, тому, що таблицю додатку Н до ДБН В.2.3–14:2006 складено тільки для навантаження НК-80, крім того відсутні дані щодо форми лінії впливу (і якого саме зусилля ця лінія впливу) для арки із жорстким обпиранням п’ ят, тричі статично невизначеної.

Основа частина

Розрахунково-теоретичний аналіз формування навантаження q (від дії НК-100) на аркову споруду **(рис. 1**).



а) б)

Рисунок 1 — Схеми дії навантаження НК-100 на споруду під дорожнім насипом (розміри в м), розтин вздовж (а) і поперек насипу (б) з урахуванням розподілу вертикального навантаження у ґрунті дорожнього насипу під кутом 30° до вертикалі (у дорожньому покритті, $h_п$ — під кутом 45°), відповідно до розділу 12 [4]

Приймаючи розподіл вертикального тимчасового навантаження від транспортних засобів згідно до вказаних вище особливостей його розподілу в ґрунті [4], з простих геометричних рішень з урахуванням параметрів схеми навантаження НК-100 (а також НК-80) для визначення розмірів a і b площі вертикального навантаження (тиску ґрунту) на рівні верху споруди, відповідно вздовж і поперек насипу (**рис. 1**) отримуємо наступні формули:

$$a = 3{,}8 + 2h_n + 1{,}16\left(H - h_n\right); \tag{3}$$

$$b_1 = 3{,}5 + 2h_n + 1{,}16\left(H - h_n\right), \text{при } H > h_1; \tag{4}$$

$$b_2 = 1{,}1 + 2h_n + 1{,}16\left(H - h_n\right), \text{ при } H \le h_1. \tag{5}$$

Використовуючи формули (3) – (5) виконано серію розрахунків напівкруглої арки як вільно деформованої (поза ґрунтом) споруди на навантаження p (постійне від маси ґрунту насипу над спорудою) і q (тимчасове, рухоме від транспортного засобу НК-100) при різних схемах розташування тимчасового рухомого навантаження відносно прогону арки — на ¼, на ½, на ¾ прогону і на повному прогоні (**рис. 2**).

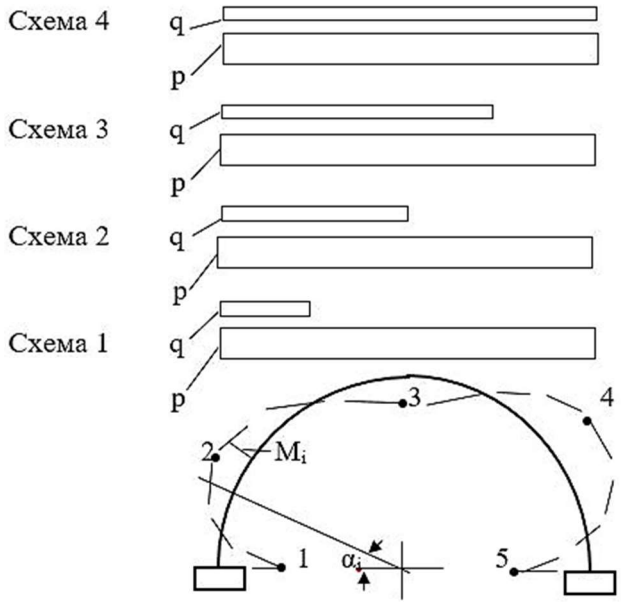


Рисунок 2 — Схеми для визначення зміни величини і кутової координати екстремальних значень (1 – 5) епюри моментів (пунктирна лінія) при дії постійного навантаження p і тимчасового рухомого навантаження q від НК-100 на арку за схемами 1 – 4 (відповідно, при його дії в ¼ прогону, в ½ прогону, в ¾ прогону і в повному прогоні)

Розрахунки виконано методом скінчених елементів (МСЕ). Розрахункову схему напівкруглої арки радіусом 3 м при жорсткому обпиранні п’ят було складено із 36 стрижнів із жорсткістю на вигін, еквівалентний жорсткості металевих гофрованих конструкцій (МГК) з розміром гофрів 150х50х6 (відповідно, довжина хвилі, її висота і товщина металу, мм) з розрахунковим опором металу 230 МПа. Навантаження p і q визначені, відповідно, від маси ґрунту з питомою вагою 19 кН/м^3 над спорудою при різний висоті насипу і від маси тимчасового рухомого колісного навантаження НК-100. Отримані результати розрахунків — характер і значення змін розрахункових параметрів (кутові

координати α_i й співвідношення величини екстремальних значень епюри згинальних моментів, $\frac{M_i}{M_{i,cx.4}}$) для схем 1 – 3 розташування тимчасового навантаження до симетричної схеми (схема 4) цього навантаження залежно від схеми, розташування тимчасового навантаження відносно прогону і від висоти насипу H над спорудою (яку для цих, суто дослідних, умовних, розрахунків прийнято від 2 м до 10 м, а h_n = 0,15 м), наведено у **табл. 1.**

Таблиця 1

Результати розрахунків за різними схемами (рис. 2) дії постійного і тимчасового навантаження на аркову споруду з МГК

Позначення параметрів в екстремальних точках епюри моментів		Величина параметрів при різних схемах (**рис. 2**) дії навантаження q від НК-100											
		Схема 1			Схема 2			Схема 3			Схема 4		
		при H, м			при H, м			при H, м			при H, м		
		2	5	10	2	5	10	2	5	10	2	5	10
α_i, град	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	25	35	30	30	30	30	30	35	30	34	34	34
	3	70	88	88	83	88	88	88	88	88	90	90	90
	4	140	145	145	140	145	145	140	145	150	146	146	146
	5	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
$\frac{M_i}{M_{i,cx.4}}$	1	0,31	0,88	0,97	0,66	0,91	0,98	0,89	0,97	0,99	-	-	-
	2	0,48	0,88	0,95	0,81	0,93	0,96	0,95	0,97	0,97	-	-	-
	3	0,45	0,80	0,98	0,94	0,97	0,99	1,06	0,91	1,00	-	-	-
	4	0,52	0,91	0,98	0,87	0,96	0,99	1,06	1,02	1,00	-	-	-
	5	0,61	0,92	0,98	0,94	0,98	0,99	1,06	1,00	1,01	-	-	-

Результати розрахунків (**табл. 1**) свідчать про таке, що:

— форма епюри моментів змінюється таким чином, що змінюються кутові координати бічних і верхнього екстремальних значень, а також величини всіх екстремальних (і інших) значень моментів;

— інтенсивність зміни кутових координат і величини бічних і верхнього екстремальних значень епюри моментів зменшується зі збільшенням висоти ґрунтового насипу над спорудою, також зменшується із розповсюдженням навантаження від НК-100 на більшу частину прогону;

— співвідношення значень моментів в екстремальних точках епюри $\left(\frac{M_i}{M_{i,cx.4}}\right)$ при різних схемах (1 – 3) не симетричного розташування тимчасового рухомого навантаження до відповідних значень при схемі 4 (симетричне навантаження) наближаються до одиниці зі збільшенням висоти насипу і зі збільшенням розповсюдження тимчасового рухомого навантаження на більшу частину прогону арки.

З аналізу схем, які надано на **рис. 2** і формул (3) – (5), а також даних **табл. 1**, випливає те, якщо довжина тимчасового навантаження q на рівні верху арки вздовж насипу при її висоті H більше, ніж 1 м **(рис. 1, а)** дорівнює чи більше за розмір прогону (2r) напівкруглої арки, тобто, при $a \geq 2r$ і $H > 1$ м, визначальним можна вважати навантаження q на арку за схемою 4 **(рис. 2)**, з розміщенням цього навантаження вздовж всього прогону. При цьому величину навантаження q,

відповідно до умов розподілення ґрунтом [4] дії навантаження НК-100, приймаючи його рівномірним [5], можна визначити за формулами:

— при $H > h_1$, кН/м^2 (тс/м^2)

$$q = \frac{980}{ab} = \left(\frac{100}{ab}\right); \tag{6}$$

— при $H \le h_1$, кН/м^2 (тс/м^2)

$$q = \frac{490}{ab} = \left(\frac{500}{ab}\right). \tag{7}$$

Залежність співвідношення величини тимчасового навантаження q на споруду під насипом у рівні верху споруди до величини відповідного постійного навантаження p від висоти насипу H над спорудою показано на **рис. 3**.

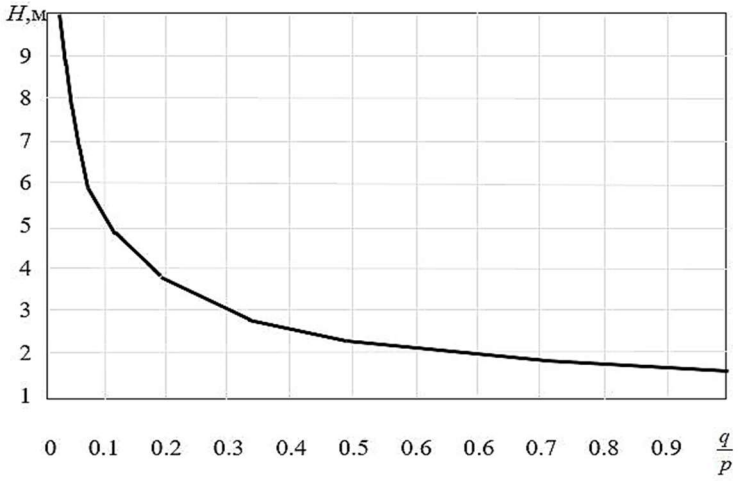


Рисунок 3 — Залежність співвідношення $\frac{q}{p}$ від висоти насипу H над спорудою

На графіку (**рис. 3)** видно, що співвідношення $\frac{q}{p}$ суттєво зменшується зі збільшенням висоти насипу над спорудою (починаючи з 2-х м), а наприклад, при висоті насипу 10 м тимчасове навантаження від транспортного засобу НК-100 практично втрачає своє значення за рахунок його «розсіювання» в ґрунті насипу.

Висновки

У статті запропоновано підхід щодо урахування дії, на аркову споруду з гофрованого металу під дорожнім насипом, тимчасового рухомого навантаження, яке передається на споруду через ґрунт і певним чином розповсюджується, залежно від висоти насипу над спорудою і від положення цього навантаження відносно прогону споруди.

Показано, як змінюється форма і значення епюри визначального для аркової споруди під насипом зусилля (згинального моменту) залежно від положення тимчасового навантаження відносно прогону арки і як змінюється співвідношення екстремальних величин епюри моментів при різних схемах положення тимчасового навантаження до відповідних величин при симетричному навантажені всього прогону.

Зазначено, за якими умовами можливо приведення несиметричного тимчасового навантаження до простої симетричної схеми для спрощення розрахунків з достатньою для практичних задач точністю (зокрема при висоті насипу над спорудою більше ніж 1 м).

Наведено графік, з якого можна оцінити зменшення частки тимчасового навантаження зі збільшенням висоти насипу над спорудою.

Список літератури

1. Поліванов Н. І., Андреєв О. В., Попов І. А., Тен І. А., Кузнєцов Н. І., Кирилов В. С., Островідов А. М., Пушторский Е. І., Роєр Е. Н., Калмиков Н. Я., Кропотов І. І. Під ред. Е. Е. Гібшмана. Довідник інженера-дорожника. Транспорт, 1964. 775 с.

2. ДБН В.2.3-14:2006. Мости та труби. Норми проєктування. Київ, 2006. 218 с. (Інформація та документація).

3. ВБН В.2.3-218-198:2007. Споруди транспорту. Проєктування та будівництво споруд з металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. Відомчі будівельні норми України. Київ. 2007. 49 с. (Інформація та документація).

4. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. Київ, 2009, 66 с. (Інформація та документація).

5. Колоколов Н. М., Янковский О. Я., Щербина К. Б, Черняхівська С. Е. Металеві гофровані труби під насипями. Транспорт. 1973. 117 с.

References

1. Polivanov N. I., Andreєv O. V., Popov I. A., Ten I. A., Kuznetsov N. I., Kirilov V. S., Ostrovidov A. M., Pushtorskyi E. I., Roer T. N., Kalmykov N. Ya., Kropotov I. I. Pid red. Pod red. Hibshmana E.E. Spravochnik inzhenera-dorozhnika (Road Engineer's Handbook) Transport, 1964. 775 p.

2. DBN B.2.3-14:2006. Mosty ta truby. Normy proektuvannya (Bridges and pipes. Design standards) Kyiv, 2006. 218 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

3. VBN V.2.3-218–198:2007. Sporudy transportu. Proektuvannya ta budivnyctvo cporud z metalevikh hofrovanykh konstrukcy na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannya (Transport constructions. Design and construction of structures from metal corrugated structures on public highways), Kyiv. 2007. 49 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

4. DBN V.1.2-15:2009. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Navantazhennya ta vplyvy (State Building Norms (DBN V.1.2-15:2009) Transport constructions. Bridges and pipes. Loads and impacts. Kyiv, 2009, 66 s. (Information and documentation) [in Ukrainian].

5. Kolokolov N. M., Yankovskyi O. A., Shcerbina, K. B., Cherniakhovskaia S. Ye. Metalevihofrovani truby pid nasypiamy (Metal Corrugated Pipes Under Embankments). Transport. 1973. 117 p.

Volodymyr Abramov, *Ph.D., Associate Prof.,* https://orcid.org/0000-0002-6911-5178

Donbas National Academy of Construction and Architecture, Ivano-Frankivsk (for the period of martial law), Ukraine

ABOUT THE TEMPORARY LOAD ON ARCHED STRUCTURES MADE OF CORRUGATED METAL UNDER A ROAD EMBANKMENT

Abstract

Introduction. The issue of features of formation and practical calculation of temporary moving load from vehicles on arched structures made of corrugated metal under the road embankment is considered. These features are related to the scheme of static work and deformation of a relatively flexible structure —

mainly to bending under the influence of the prevailing vertical pressure from the soil of the embankment and in the conditions of the transfer of a temporary load through the soil of the embankment, which distributes this load in a certain way.

Problem Statement. In the current regulatory and methodological documents regarding the design of bridges and pipes, information on the rules for determining the amount of temporary moving load on pipes under highway embankments is limited to instructions regarding the parameters of a typical scheme of wheel loads (NK-100 or NK-80) and regarding the distribution of properties of the soil of the embankment, without setting out the methods and formulas necessary for practical calculations, which complicates the design to a certain extent. Normative and methodical documents directly related to the design of road structures made of corrugated metal also do not contain sufficiently complete and correct information on this issue.

Purpose. To supplement the idea of the peculiarities of the formation of temporary moving load on arched structures made of corrugated metal under the road embankment due to the influence of the mass of vehicles on the road and to show possible schemes for practical calculation of this load is the main goal and task of this work.

Research methods and results. The methodological basis of this work is the calculation-theoretical analysis of the influence of a temporary moving load on the stress-strain state of a semicircular vault (arch, under the conditions of a flat problem) made of corrugated metal and on changes in this state depending on the location of the vehicle relative to the span of the arch. According to the results of a series of calculations of the arch at different locations of the temporary moving load and at different heights of the embankment above the structure, changes in the shape and extreme values of the bending moment plot in the arch were established with the determination of the nature and degree of these changes.

Conclusions. It is shown how the shape, magnitudes and angular coordinates of the extreme values of the bending moment plot in arches change depending on the change in the location of the temporary moving load and the height of the embankment above the structure, the numerical data of such changes and data on the ratio of values of bending moments in different layout schemes are given — variation of a temporary moving load relative to a simple symmetrical load scheme, to which it is possible to lead (in some cases) asymmetric load schemes for practical calculations.

***Keywords**:* road embankment, arched road structure, temporary load, corrugated metal.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.345

УДК 624.014:624.21

Абрамов В. М., *канд. техн. наук., доц., https://orcid.org/0000-0002-6911-5178*

Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Івано-Франківськ (на період воєнного стану), Україна

РОЗРАХУНОК НЕСНОЇ ЗДАТНОСТІ АРКОВОЇ ДОРОЖНЬОЇ СПОРУДИ З ГОФРОВАНОГО МЕТАЛУ АНАЛІТИЧНИМ СПОСОБОМ

Анотація

Вступ. Розглянуто один з можливих варіантів спрощеного практичного розрахунку аркової дорожньої споруди (малого мосту) з гофрованого металу, який може розглядатися як такий, що передує більш детальному і трудомісткому розрахунку такої споруди під дорожнім насипом, як системи «споруда – ґрунт» за методом скінчених елементів.

Проблематика. Чинні норми і технічні документи з проєктування і будівництва дорожніх споруд з гофрованого металу (водопропускних труб, малих мостів, шляхопроводів) містять спрощені формули для розрахунку міцності і деформацій таких споруд тільки у формі круглих труб. Це певною мірою стримує поширення цих раціональних і порівняно простих типів дорожніх споруд аркової форми.

Мета і завдання. Показати один з можливих варіантів розрахунку несної здатності аркової дорожньої споруди з гофрованого металу аналітичним способом на підставі загальноприйнятих вихідних положень і простої зрозумілої розрахункової схеми — є метою і завданням даної роботи.

Методи досліджень і результати. Методичною основою даної роботи є розрахунково-теоретичний аналіз взаємодії аркової гнучкої конструкції з гофрованого металу з ґрунтом дорожнього насипу. Показано, що таку аркову конструкцію доцільно розглядати як частину системи «споруда – ґрунт». Несна здатність її складається з власної несної здатності арки (поза ґрунтом) і опору ґрунту у відповідь на переміщення арки. Власна несна здатність арки (поза ґрунтом) у даній роботі визначеня від дії вертикального рівномірно розподіленого навантаження на рівні верху арки від маси ґрунту і тимчасового навантаження. Для визначення опору ґрунту арку розглядали як «механізм» з повними шарнірами. Величину визначали як вертикальне рівномірно розподілене навантаження на арку, як на «механізм», при якому зусилля в додаткових стрижнях, які забезпечують геометричну незмінність «механізму» дорівнюють рівнодіючій цього опору.

Висновки. Показана можливість виконання спрощеного практичного розрахунку аркової дорожньої споруди з гофрованого металу аналітичним способом на підставі загальноприйнятих вихідних розрахункових положень і простої зрозумілої розрахункової схеми. Запропонований спосіб розрахунку може бути основою для подальших досліджень і розроблення доповнень до чинних норм з проєктування таких споруд.

Ключові слова: аркова дорожня споруда, гофрований метал, несна здатність, опір ґрунту.

Вступ

Дорожні споруді (водопропускні труби під насипом, мали мості, шляхопроводи, оправа тунелів) з металевих гофрованих конструкцій (МГК) вже давно й успішно застосовуються у транспортному будівництві багатьох країн світу як альтернатива спорудам з типових масивних конструкцій. Основна перевага споруд такого типу полягає у сумісній роботі з ґрунтом насипу за рахунок передавання на нього частини вертикального навантаження.

Споруди з МГК аркової форми дозволяють отримати потрібні горизонтальні розміри отвору при відносно малій їх висоті. Тому важливо продовжувати дослідження для доповнення уявлень про особливості таких споруд, доповнення й удосконалення чинних норм їх проєктування, насамперед у частині розрахунків, зокрема спрощених.

Основа частина

У чинних нормах і технічних документах України з проєктування і будівництва дорожніх споруд з МГК достатньо детально викладено загальні правила, вимоги та умови [1, 2]. Але у частині розрахунків на міцність, стійкість і деформації є підстави для доповнення і удосконалення існуючих норм. Зокрема, формули для розрахунків за першою та другою груп граничних станів придатні тільки для споруд у вигляді труб круглої формі і за цими формулами, зокрема, визначають чомусь тільки нормальні зусилля без урахування зусиль від згину труби під насипом від переважаючого вертикального навантаження, а деформації визначають без зв'язку з можливим локальним осіданням дорожнього покриття над гнучкою спорудою.

Показати один з можливих способів спрощеного практичного розрахунку аркової дорожньої споруди з гофрованого металу на підставі загальноприйнятих вихідних розрахункових положень для споруд такого типу і простої зрозумілої розрахункової схеми — є метою і завданням даної роботи.

У роботі розглядається споруда у формі напівкруглого склепіння (арки, за умовами плоскої задачі) з МГК під дорожнім насипом (малий міст, шляхопровід тощо). Арка напівкруглої форми найбільш проста для проєктування і монтажування, її елементи однакової кривизни найбільш зручні для транспортування і складування.

Основними вихідними розрахунковими положеннями є:

— у загальному випадку, переважним навантаженням на арку під ґрунтовим насипом є вертикальне, тому визначальними є зусилля від її згину;

— несна здатність арки складається з її власної несної здатності (поза ґрунтом) опору ґрунту від переміщення арки у бік ґрунту при її згині;

— власну несну здатність арки (поза ґрунтом) визначають від дії вертикального рівномірно розподіленого навантаження від маси ґрунту насипу й тимчасового колісного навантаження;

— опір ґрунту, як деяку величину на яку збільшують несну здатність арки в системі «споруда – ґрунт», визначають як вертикальне навантаження на схему арки у вигляді «механізму» з повними шарнірами у місцях найбільших деформацій і напружень у перерізах арки, яке сприймає ґрунт у відповідь на переміщення арки.

Основну розрахункову умову прийнято у вигляді:

$$p \le (q_0 + q_г)m, \tag{1}$$

де p — розрахункове вертикальне рівномірно розподілене навантаження вздовж проєкції арки на рівні верху споруди від маси ґрунту насипу і тимчасового рухомого навантаження [1, 3];

$q_0 + q_г$ — несна здатність арки в системі «споруда – ґрунт», як сума її власної несуної здатності q_0 і $q_г$ за рахунок опору ґрунту переміщенням арки у бік ґрунту;

$m = 0{,}9$ — коефіцієнт умов роботи.

Несна здатність (граничне вертикальне рівномірно розподілене навантаження) q_0 напівкруглої арки радіусом r поза ґрунтом із жорстким обпиранням п'ят (**рис. 1**), згідно з [4, 5], для пружної стадії роботи визначається за формулою:

$$q_0 = \frac{M_{гр}}{0{,}1r^2}, \tag{2}$$

де $M_{гр} = W\sigma_т$ — граничний пружний згинальний момент для перерізів елементів арки з моментом опору W перерізу (арки одиничної ширини, наприклад 1 м) і границею текучості металу $\sigma_т$.

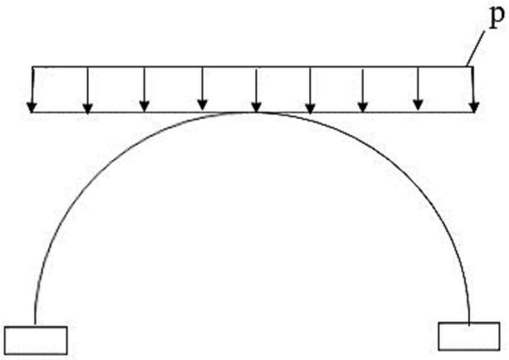


Рисунок 1 — Схема для визначення власної несної здатності арки (поза ґрунтом)

Граничну допустиму величину прогину арки за умови не перевищення можливих осідань дорожнього покриття над спорудою ($S_{гр}$) визначають згідно з методикою [6], за формулою:

$$f_{гр} = 1{,}15 S_{гр} (0{,}87 + (\frac{h}{r} + 0{,}5) 0{,}67) , \quad (3)$$

де h і r — відповідно відстань від верху арки до верху дорожнього покриття і радіус арки.

Несну здатність $q_г$ за рахунок тільки опору ґрунту переміщенням арки, визначають як вертикальне рівномірно розподілене навантаження, при якому для схеми арки у вигляді «механізму» з повними шарнірами у місцях найбільших деформацій і напружень, зусилля у додаткових стрижнях, які моделюють опір ґрунту, дорівнюють рівнодіючій R цього опору (**рис. 2**).

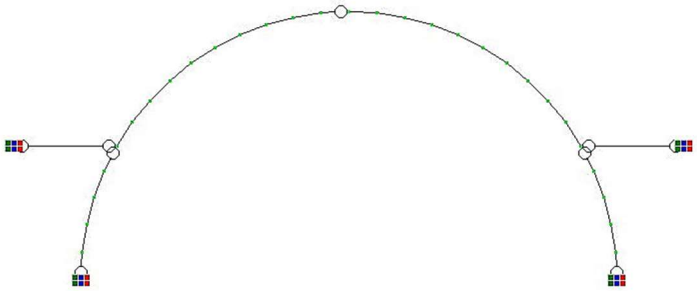


Рисунок 2 — Схема арки у вигляді «механізму» з повними шарнірами

Величину рівнодіючої R опору ґрунту визначають згідно з [7, 8] за формулою:

$$R = Ak , \quad (4)$$

де A — площа (за умовами плоскої задачі, при ширині арки, наприклад, 1 м) епюри опору ґрунту;

k — коефіцієнт пружного опору ґрунту (коефіцієнт постелі) за формулою Б. Г. Галеркіна [7, 8]:

$$k = \frac{E}{(1 + \mu) r} , \quad (5)$$

де E — модуль деформації ґрунту насипу (компресійний);

μ — коефіцієнт Пуассона для ґрунту насипу.

Площу епюри опору ґрунту A визначають згідно зі схемою на **рис. 3**.

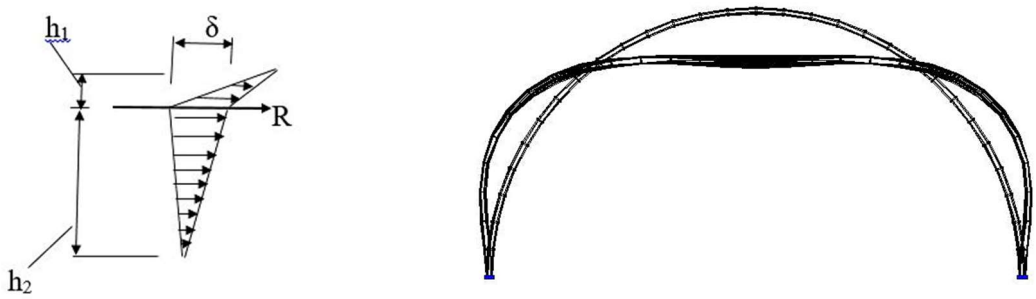


Рисунок 3 — Схема переміщень арки і епюра опору ґрунту (епюру показано з одного боку) з рівнодіючою на рівні максимальних переміщень арки у бік ґрунту

Величину площі епюри опору A (при кутових координатах її низу, максимуму і верху, відповідно 6°, 34° і 51°) знаходять за формулою:

$$A = 0{,}5\,\delta\,(h_1 + h_2), \tag{6}$$

де δ — максимальне горизонтальне переміщення арки у бік ґрунту, яке за даними розрахунків складає певну частину від гранично допустимого прогину $(0{,}587 f_{гр})$ і приймається зменшеним у чотири рази, $\delta = 0{,}587\dfrac{f_{гр}}{4}$;

h_1, h_2 — висота трикутних частин епюри опору $h_1 = r\,(\sin 51° - \sin 34°) = 0{,}218\,r$;
$h_2 = r\,(\sin 34° - \sin 6°) = 0{,}454\,r$.

Для визначення величини q_e арку (її половину) розглядають як «механізм», при якому зусилля у додаткових стрижнях, які моделюють опір ґрунту приймають рівними R (**рис. 4**).

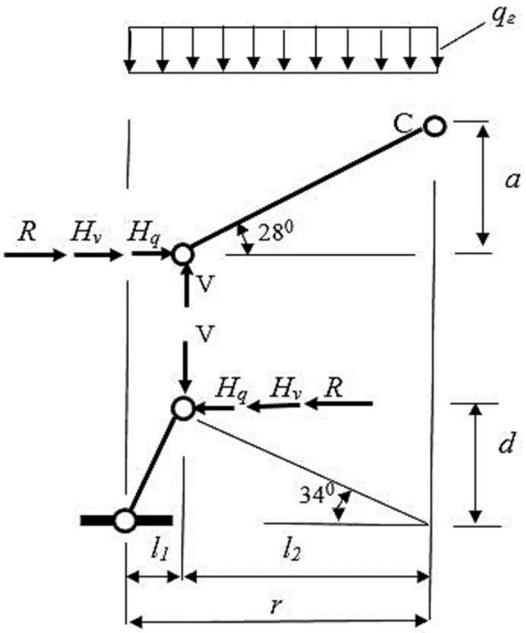


Рисунок 4 — Схема для визначення несної здатності арки від опору ґрунту

За умовою рівноваги верхньої частини схеми на **рис. 4** сума моментів відносно точки С дорівнює нулю :

$$\sum M_c = \left(R + H_q + H_v\right) a + q_г\, l_2\, 0{,}5 l_2 - V l_2 = 0\,, \tag{7}$$

де $R + H_q + H_v$ — горизонтальна реакція (розпір), відповідно від опору ґрунту R ;

$H_q = q_г\, l_1\, 0{,}5 l_1 \frac{1}{d}$, від дії навантаження $q_г$ на нижній стрижень «механізму» і

$H_v = q_г\, l_2\, l_1 \frac{1}{d}$, від дії вертикальної реакції V на нижній стрижень;

$a = l_2 \tan 28°$; $l_1 = r - r\cos 34°$; $l_2 = r\cos 34°$; $d = r \sin 34°$; $V = q_г\, l_2$.

З урахуванням наведених вище складових рівняння (7) має вигляд:

$$Ra + 0{,}5 q_г l_1^2 \frac{1}{d} a + q_г l_2 l_1 \frac{1}{d} a + 0{,}5 q_г l_2^2 - q_г l_2^2 = 0. \tag{8}$$

З рівняння (8) отримаємо:

$$q_г = \frac{Ra}{-0{,}5 l_1^2 \frac{a}{d} - l_2 l_1 \frac{a}{d} - 0{,}5 l_2^2 + l_2^2}. \tag{9}$$

Приклад. Перевіримо несну здатність напівкруглої аркової споруди радіусом 3 м із МГК з розмірами перерізу 150×50×6 (відповідно, довжина хвилі, її висота і товщина металу, мм): момент опору перерізу W = 0,863 см^3/см [1]; метал з границею текучості σ_m = 240 МПа; розрахункове (з відповідними коефіцієнтами надійності) навантаження 11,0 т/м^2 від маси насипу висотою над верхом арки h = 4 м; ґрунт з модулем деформації E = 40 МПа (4 000 тс/м^2), коефіцієнтом Пуассона μ = 0,25 і питомою вагою γ = 18 кН/м^3 ; тимчасове навантаження НК-100.

За формулою (2) для арки шириною 1 м (за умови плоскої задачі) отримаємо:

$$q_0 = 0{,}863 \cdot 100 \cdot 2\,400/(0{,}1 \cdot 300^2) = 23{,}01 \text{ кгс/см} = 2{,}301 \text{ тс/м}.$$

Гранична допустима величина прогину арки (при S = 4 см, для автомобільної дороги другої категорії [6]) за формулою (3) дорівнює:

$$f_{гр} = 1{,}15 \cdot 4\,(0{,}87 + ((400/300) + 0{,}5)\,0{,}67) = 9{,}65 \text{ см}.$$

За формулою (6) площа епюри опору ґрунту складає:

$$A = (\,0{,}5 \cdot 0{,}587(0{,}096)/4)\,(0{,}654 + 1{,}362) = 0{,}014 \text{ м}^2.$$

Величина рівнодіючої R опору ґрунту за формулами (4) і (5) складає:

$$R = 0{,}014 \cdot 4\,000/3(1 + 0{,}25) = 14{,}933 \text{ тс (149,330 кН)}.$$

Несна здатність арки від дії опору ґрунту за формулою (9) з урахуванням значень компонентів формули (7) складає:

$$q_г = 14{,}933 \cdot 1{,}322/\,(-\,0{,}104 - 1{,}006 - 3{,}093 + 6{,}185) = 9{,}970 \text{ тс/м (99,700 кН/м)}.$$

Основна розрахункова умова (1) для арки (шириною 1 м) виконується:

$$11{,}000 \text{ тс/м} < (2{,}301 + 9{,}970) \cdot 0{,}9 = 11{,}044 \text{ тс/м}.$$

Для порівняння, опір ґрунту, як додаткова складова до несної здатності, визначений за методом скінчених елементів (МСЕ) складає 10,6 тс/м = 106,0 кН/м (**рис. 5**).

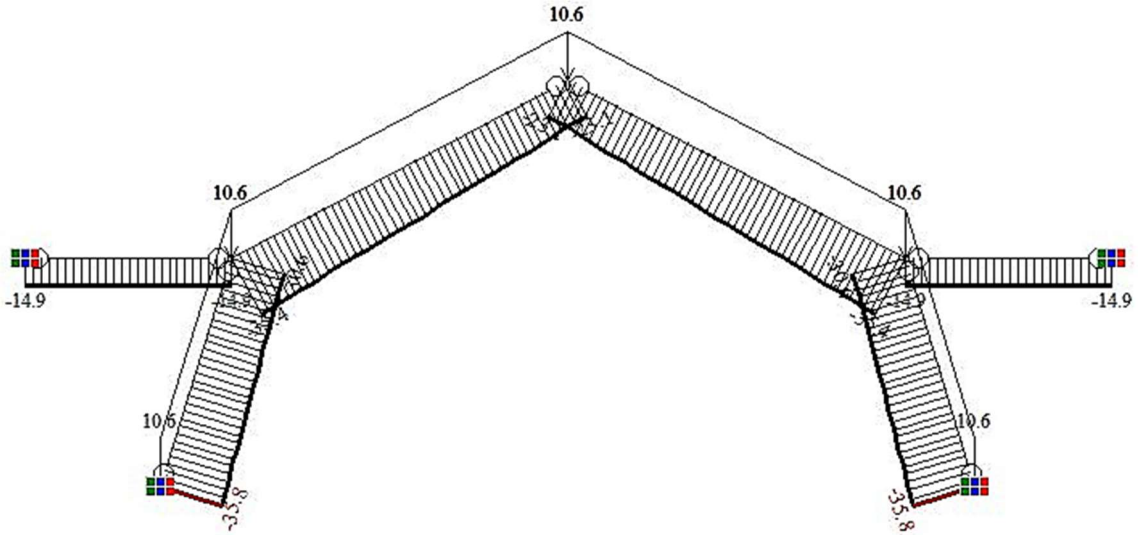


Рисунок 5 — Схема, навантаження і результати (епюра зусиль) розрахунку за МСЕ

При цьому різниця результатів, які отримано аналітичним способом (99,7 кН/м) і за МСЕ (105,0 кН/м, без урахування ваги конструкцій 1,0 кН на 1 м проєкції арки), складає всього 5 %.

Висновки

Показано один з можливих варіантів спрощеного практичного розрахунку аркової дорожньої споруди з МГК аналітичним способом на підставі загальноприйнятих вихідних розрахункових положень і простої зрозумілої розрахункової схеми.

Запропонований спосіб може бути прийнятий за основу при розроблення доповнень до відповідних чинних норм і технічних документів у частині методики спрощеного розрахунку аркових дорожніх споруд з МГК, який передує більш точному і трудомісткому розрахунку системи «споруда – ґрунт» за методом скінчених елементів у режимі взаємовпливових деформацій.

Список літератури

1. ВБН В.2.3-218-198:2007 Споруди транспорту. Проєктування та будівництво споруд з металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2007. 49 с.

2. Посібник до ВБН В.2.3-218-198:2007 Споруди транспорту. Проєктування та будівництво споруд з металевих гофрованих конструкций на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2007. 124 с.

3. ДБН В.1.2-15:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. Київ, 2009. 66 с. (Інформація та документація)

4. Клейн Г. К. Посібник з практичних занять з курсу будівельної механіки (статика стрижневих систем). Вища школа. 1980. 348 с.

5. Новіков А. М. Таблиці для розрахунку труб, склепінь та арок. Будвидав Наркомбуду. 1942. 340 с.

6. Абрамов В. М. Граничні деформації дорожніх споруд з гофрованого металу. *Вісник НУВГП. Технічні науки:* зб. наук. праць. Рівне: НУВГП, 2023. Вип. 1 (101). С. 143–149.

7. Абрамов В. М. Особливості розрахунку дорожніх споруд з металевих гофрованик конструкцій. *Вісник НУВГП. Технічні науки:* зб. наук. праць. Рівне: НУВГП, 2023. Вип. 1(101). С. 100–109.

8. Абрамов В. М. Спосіб розрахунку грунто-сталевих аркових гофрованих мостів за деформаційним критерієм з урахуванням нелінійної роботи. *Автошляховик України.* 2012. № 3 (227). С. 45–48.

References

1. VBN V.2.3-218-198:2007 Sporudy transport. Proektuvannya ta budivnyctvo cporud z metalevikh hofrovanykh konstrukcy na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannya України (VBN V.2.3-218-198:2007. Transport facilities. Design and construction of structures from metal corrugated structures on public highways). Kyiv, 2007. 49 p. [in Ukrainian].

2. Posibnyk do VBN B.2.3-218-198:2007 Sporudy transportu. Proektuvannya ta budivnyctvo cporud z metalevykh hofrovanykh konstrukcy na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannya. (Transport structures. Design and construction in buildings made of metal corrugated structures. on public roads). Київ. 2007. 124 p. [in Ukrainian].

3. DBN B.1.2-15:2009 Sporudy transportu. Mosty ta truby. Navantazhennya i vplyvy (DBN V.1.2-15:2009. Transport structures. Bridges and pipes. Loads and influences). Kyiv, 2009. 66 p. (Informstsya ta dokumentatsya) [in Ukrainian].

4. Kleyn H. K. Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po kursu stroitelnoy mekhaniki (statika sterzhnevykh sistem) (Guide to practical lessons on the construction mechanics course (statics of rod systems)). Vysshaya shkola. 1980. 348 p.

5. Novikov A. M. Tablitsy dlya pashota trub, svodov i arok. Stroyizdat Narkomstroya. (Tables for calculating pipes, arches and arche). 1942. 340 p.

6. Abramov V. M. Osoblyvosty rozrakhunku dorozhnykh sporud z hofrovanoho metalu (Boundary deformations of road structures made of corrugated metal. Herald NUVHP). *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky*: zb. nauk. prats. Rivne: NUVHP, 2023. Vyp. 1(101). P. 100–109. [in Ukrainian].

7. Abramov V. M. Hranyichni deformatsiyi dorozhnikh sporud z gofrovanogo metalu. *Visnyk NUVHP (Peculiarities of calculating road structures from metal corrugated iron const). Tekhnichni nauky*: zb. nauk. prats. Rivne: NUVHP, 2023. Vyp. 1(101). P. 143–149 [in Ukrainian].

8. Abramov V. M. Sposob rozrakhunku hrunto-stalevykh hofrovanych mostiv za defor-macyonnym kriteriem z urakhuvannyam nelineynoyi roboty. (The method of calculating soil-steel arched corrugated bridges according to the deformation criterion, taking into account non-linear operation) *Avtoshlyakhovyk Ukrayiny.* 2012. No. 3 (227). P. 45–48 [in Ukrainian].

Volodymyr Abramov, *Ph.D., Associate Prof., https://orcid.org/0000-0002-6911-5178*

Donbas National Academy of Construction and Architecture, Ivano-Frankivsk (for the period of martial law), Ukraine

CALCULATION OF THE LOAD CAPACITY OF AN ARCHED ROAD STRUCTURE FROMCORRUGATED METAL BY ANALYTICAL METHOD

Abstrakt

Introduction. One of the possible options for a simple, practical design of an arched road structure (small bridge) made of corrugated metal is considered, which can be considered as one that is more accurate and labor-intensive for the design of such a structure under the road pressure, as the “structure – soil” system for finite element method.

Problem Statement. Regular normative and methodological documents for the design and maintenance of road structures (culverts, small bridges, tunnels) made of corrugated metal provide a simple formula for the structure of the structure and deformation of the body for such structures round pipes. The world is constantly streaming a wider range of rational and fairly simple types of road structures.

Purpose. To show one of the possible ways of calculating an arched road structure made of corrugated metal on the basis of generally accepted initial provisions and a simple, understandable calculation scheme is the goal and task of this work.

Research methods and results. The methodical basis of this work is the computational and theoretical analysis of the interaction of an arched flexible structure made of corrugated metal with the soil of a road embankment. It is shown that there are reasons to consider such a structure as a component of the "structure – soil" system. Its bearing capacity consists of its own bearing capacity of the arch (outside the soil) and an addition from the action of soil resistance in response to the movement of the arch. The bearing capacity of the arch (beyond the soil) in this work is determined from the action of the vertical uniformly distributed load at the level of the top of the arch from the mass of the soil and the temporary load. To determine the addition to the load-bearing capacity, the arch is considered as a "mechanism" with full hinges. The value of this application is defined as a vertical uniformly distributed load, in which the forces in the additional rods, which ensure the geometric invariance of the "mechanism" and which simulate the soil resistance, are equal to the net effect of this resistance.

Conclusions. The possibility of performing a simplified calculation of an arched road structure made of corrugated metal based on generally accepted initial calculation provisions and a simple and understandable calculation scheme is shown. The proposed method of calculation can be the basis for further research and the development of additions to the current standards for the design of such structures.

Keywords: arched road construction, corrugated metal, bearing capacity, soil support.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.353

УДК 625.7

Беленчук О. В., *https://orcid.org/0000-0003-0525-0546*
Попович Н. І., *https://orcid.org/0000-0001-5822-2501*
Кононенко А. О., *https://orcid.org/0000-0003-4826-0373*

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

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СВІТЛОФОРІВ ТА ЇХНЯ РОЛЬ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Анотація

Вступ. Розвиток автомобільного транспорту неминуче призводить до збільшення інтенсивності дорожнього руху, внаслідок чого виникають проблеми у забезпеченні безпеки та комфорту пересування для учасників дорожнього руху, зокрема на нерегульованих перехрестях і пішохідних переходах, які є зоною підвищеної імовірності виникнення дорожньо-транспортних пригод.

Проблематика. Велика імовірність виникнення ДТП на нерегульованих перехрестях автомобільних доріг і пішохідних переходах потребує вжиття заходів, спрямованих на забезпечення безпеки усіх учасників дорожнього руху, особливо пішоходів і велосипедистів.

Мета. Забезпечення безпеки дорожнього руху, зменшення імовірності виникнення ДТП та забезпечення комфортних умов пересування для учасників дорожнього руху.

Матеріали та методи. Проаналізовано чинні нормативно-правові акти та нормативні документи щодо технічних засобів організування дорожнього руху, зокрема дорожніх світлофорів та статистичну інформацію про дорожньо-транспортні пригоди в Україні.

Результат. У даній статті розглянуто ефективність застосування світлофорів як засобу управління дорожнім рухом та їхню важливу роль у забезпеченні безпеки для всіх учасників дорожнього руху, а також можливість впровадження нових технологій, які можуть підвищити ефективність роботи світлофорів для регулювання дорожнього руху та покращення безпеки на автомобільних дорогах.

Висновки. Світлофори є одним із найважливіших інструментів для управління дорожнім рухом і забезпечення безпеки та підвищення ефективності руху транспорту як в містах, так і на позаміських автомобільних дорогах. Вони регулюють рух транспортних засобів і пішоходів на перехрестях та інших ключових ділянках доріг, допомагаючи уникнути конфліктних ситуацій і знижуючи ризик виникнення дорожньо-транспортних пригод. Світлофори дозволяють організувати впорядковану черговість руху, тим самим зменшуючи ризик виникнення зіткнень і наїздів на пішоходів.

Ключові слова: безпека дорожнього руху, велосипедист, дорожньо-транспортна пригода, пішохід, світлофор.

Вступ

Відомо, що автомобільний транспорт, як складова транспортної системи, є найбільш зручним і ефективним видом транспорту. Проте автомобілізація має й негативні наслідки, оскільки зростання автопарку та обсягу автомобільних перевезень призводять до постійного зростання інтенсивності дорожнього руху, а вулично-дорожня мережа багатьох міст вже вичерпала резерви пропускної здатності і знаходиться в умовах постійного утворення заторів, створення аварійних ситуацій під час пропуску транспортних і пішохідних потоків.

За даними [1] щороку на дорогах в усьому світі гине близько 1,3 мільйона людей і близько 50 мільйонів отримують травми внаслідок дорожньо-транспортних пригод (далі — ДТП). Більшість

цих випадків припадає на країни з низьким і середнім рівнем доходу і часто це стосується найбільш соціально-економічно активних громадян. Травми внаслідок ДТП є головною причиною смертності у світі серед дітей і молоді віком від 15 до 29 років. Без термінових заходів прогнозується, що до 2030 року дорожньо-транспортні пригоди посядуть сьоме місце серед основних причин смертності для всіх вікових категорій.

За даними [2] порушення правил проїзду перехресть займає третє місце серед усіх порушень правил дорожнього руху (далі — ПДР) в Україні за 2023 рік, які спричинили ДТП із загиблими та / або травмованими (**рис. 1**).

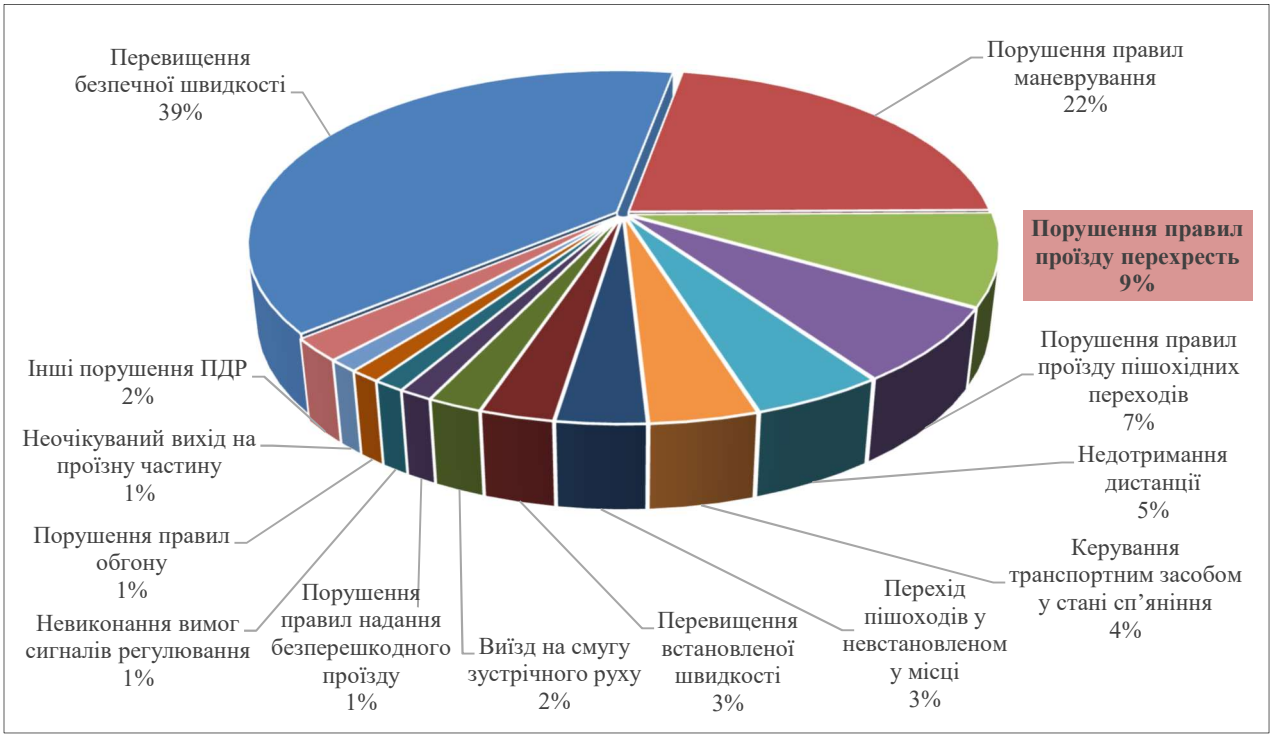


Рисунок 1 — Розподіл порушень ПДР під час виникнення ДТП із загиблими та / або травмованими в Україні за 2023 рік

В умовах зростаючої урбанізації та постійного збільшення кількості транспортних засобів на автомобільних дорогах ефективним засобом зниження рівня ДТП та тяжкості їх наслідків є застосування технічних засобів організування дорожнього руху, зокрема дорожніх світлофорів. Світлофори є невід'ємною частиною дорожньої інфраструктури в усьому світі, відіграючи ключову роль у регулюванні дорожнього руху та забезпеченні плавності руху як в містах, так і на позаміських автомобільних дорогах. Їх ефективне функціонування є ключовим елементом сучасної транспортної інфраструктури, який дозволяє мінімізувати ризики виникнення аварійних ситуацій, зменшити час очікування на перехрестях і покращити загальну екологічну ситуацію в містах, знижуючи викиди шкідливих речовин у повітря.

Основна частина

Світлофори є невід'ємною частиною дорожньої інфраструктури в усьому світі, відіграючи ключову роль у регулюванні дорожнього руху та забезпеченні безпеки на дорогах. Їхнє значення важко переоцінити, адже вони сприяють зниженню кількості дорожньо-транспортних пригод, запобігають виникненню заторів і полегшують рух пішоходів і велосипедистів у міських

умовах. З моменту своєї появи світлофори зазнали значної еволюції — від простих механічних пристроїв до сучасних інтелектуальних систем, здатних адаптуватися до змін дорожньої ситуації в реальному часі.

Світлофор — це пристрій оптичної сигналізації, призначений для інформування та регулювання руху транспортних засобів і пішоходів на автомобільних дорогах і залізничних переїздах.

Перший світлофор був винайдений Джеєм Найтом і був встановлений у 1868 році в Лондоні біля будівлі британського парламенту. Керувався він вручну, мав два семафорних крила, а в темний час доби підсвічувався газовим ліхтарем. На жаль, на початку 1869 року ліхтар пристрою вибухнув і поранив поліцейського, який керував світлофором. Після цього випадку про світлофор забули майже на 50 років.

У 1910-му було розроблено та запатентовано перший автоматичний світлофорний пристрій. Попередник сучасних пристроїв був встановлений 5 серпня 1914 року в Америці в місті Клівленд. Він мав червоний і зелений сигнал, а під час перемикання видавав звуковий сигнал. Системою керував поліцейський, який сидів у скляній будці на перехресті.

Триколірний світлофор у тому вигляді, до якого ми звикли, із використанням жовтого ліхтаря, був встановлений у 1920 році у Детройті та Нью-Йорку. З плином часу світлофори набули значного поширення в Америці та Європі. В Україні перший світлофор встановили у 1936 році у Харкові.

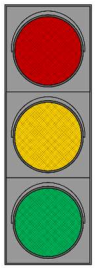
Практично одночасно з появою на автомобільних дорогах перших світлофорів в кінці XIX століття постало завдання вибудувати управління сигналами таким чином, щоб усім учасникам руху (і водіям, і пішоходам) не доводилося чекати своєї черги на перехресті занадто довго. Спочатку світлофори знаходилися на ручному керуванні — поліцейський перемикав сигнали вручну або за допомогою спеціального пульту управління. Розвиток електроніки дозволив замінити людей таймерами і реле: тепер вони перемикали фази світлофорів — поєднання заборонних сигналів для одних напрямків і дозвільних — для інших. Для кожного світлофора існував свій розклад перемикань (тобто своя тривалість кожної фази), який з часом навчилися коригувати для особливих випадків — у години пік або вночі [3].

Основні вимоги до світлофорного регулювання, зокрема й розташування сигналів світлофора, передбачені Конвенцією про дорожні знаки і сигнали [4], відповідно до якої в Україні розроблено національний стандарт ДСТУ 4092:202Х «Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні умови» на заміну ДСТУ 4092-2002 «Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосовування та вимоги безпеки». Згідно з розробленим ДСТУ 4092:202Х світлофори за призначенням поділяють на транспортні і пішохідні. Запропоновано розрізняти дев’ять типів транспортних світлофорів, а саме:

✧ світлофори типу 1 мають три кольорові сигнали круглої форми діаметром 200 мм або 300 мм, розташовані вертикально (червоний, жовтий, зелений). Як виняток, дозволено горизонтальне розташування сигналів. Додаткові секції із зображеними на них стрілками застосовують тільки з типом 1 вертикального розташування. У цьому випадку світлофор обладнують прямокутним екраном білого кольору, що поліпшує розпізнавання додаткових секцій;

✧ світлофори типу 2, на відміну від попередніх, застосовують для регулювання руху за визначеними напрямками (відповідно смугам руху) при повністю безконфліктному регулюванні. На всі лінзи цих світлофорів наносять контури стрілок, відповідно до напрямків регулювання, а знизу розміщують таблички білого кольору із зображенням стрілок, що вказують ті ж самі напрямки;

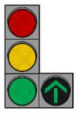
✧ світлофори типу 3 із сигналами діаметром 100 мм застосовують як світлофори-повторювачі для типу 1 у разі, якщо їх видимість ускладнена для водія першого транспортного засобу, що зупинився біля стоп-лінії на крайній правій смузі проїзної частини даного напрямку (**рис. 2**);



Світлофор типу 1
з діаметром сигналів 300 мм



Світлофор типу 2
з діаметром сигналів 200 мм



Світлофор типу 3
з діаметром сигналів 100 мм

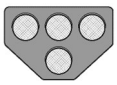
Рисунок 2 — Приклад зображення світлофорів першого, другого та третього типів з різними діаметрами сигналів

✧ світлофори типу 4 (реверсивні) застосовують для регулювання в'їзду на окремі смуги проїзної частини, динамічного розподілу смуг руху — зміна напрямку смуги руху на ділянці залежно від переважаючої інтенсивності руху одного напрямку, регулювання пропускної здатності ділянки — відкриття чи закриття руху по смугах, адаптації до мінливих навантаг на фіксованих контрольно-пропускних пунктах (наприклад, на прикордонних переходах, поромних портах і пунктах збору плати за користування дорогою);

✧ світлофори типу 5 застосовуються тільки для безконфліктного регулювання руху трамваїв, а також маршрутних транспортних засобів, що рухаються спеціально виділеною смугою (**рис. 3**);



Світлофор типу 4



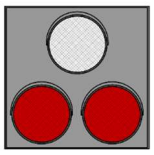
Світлофор типу 5

Рисунок 3 — Приклад зображення світлофорів типу чотири і п'ять

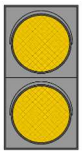
✧ світлофори типу 6 застосовують для регулювання дорожнього руху через залізничні переїзди, розвідні мости, причали поромних переправ, у місцях виїзду на дорогу спеціальних транспортних засобів (оперативних, дорожньо-експлуатаційних і комунальних служб);

✧ світлофори типу 7 застосовують для позначення небезпечних нерегульованих перехресть, пішохідних переходів та / або велосипедних переїздів, а також завчасно перед регульованим перехрестям та / або регульованим пішохідним переходом за межам населених пунктів;

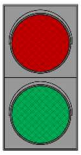
✧ світлофори типу 8 застосовують для регулювання руху на внутрішніх територіях підприємств, організацій тощо, а також у місцях звуження проїзної частини, коли організовано почерговий рух однією смугою руху, зокрема у місцях проведення дорожніх робіт. Під час почергового руху однією смугою в двох напрямках (**рис. 4**);



Світлофор типу 6



Світлофор типу 7



Світлофор типу 8

Рисунок 4 — Приклад зображення світлофорів шостого, сьомого і восьмого типів

✧ світлофори типу 9 — світлофори для велосипедистів із сигналами діаметром 100 мм або 200 мм, які застосовують для регулювання руху велосипедистів у місцях перетину велосипедної

доріжки або велосипедної смуги з проїзною частиною дороги чи регульованим пішохідним переходом, а також за необхідності введення окремої фази регулювання велосипедного руху або у разі різної тривалості зелених тактів для основного руху транспорту та велосипедного руху.

Також запропоновано розрізняти два типи пішохідних світлофорів із сигналами діаметром 200 мм або 300 мм, які застосовують для регулювання руху пішоходів на пішохідних переходах (**рис. 5**). Зокрема, пішохідні світлофори типу 2 треба застосовувати для регулювання руху пішоходів і велосипедистів через проїзну частину у випадку, коли суміжно з пішохідним переходом розташовано велосипедний переїзд.



Транспортний світлофор типу 9
з діаметром сигналів 100 мм



Пішохідний світлофор типу 1
з діаметром сигналів 200 мм



Пішохідний світлофор типу 2
з діаметром сигналів 200 мм

Рисунок 5 — Приклад зображення транспортних світлофорів типу дев'ять та пішохідних світлофорів

Критерії впровадження світлофорної сигналізації враховують інтенсивність транспортних потоків, що перетинаються, їх сумарні затримки і ступінь небезпеки руху. Крім того, світлофорне регулювання використовують у разі великої інтенсивності пішохідних потоків до місць масового відвідування (кінотеатрів, стадіонів, великих торгових і промислових об'єктів тощо), а також у зоні розташування навчальних закладів, де без світлофорної сигналізації неможливо забезпечити безпечний рух пішоходів.

Традиційні світлофорні системи працюють за заздалегідь встановленими режимами, які змінюються на основі фіксованого часу. Цей підхід забезпечує контроль над транспортними потоками на перехрестях, дозволяючи розділяти рух у протилежних напрямках і створювати умови для безпечного перетину дороги пішоходами. Основні світлофорні сигнали (червоний, жовтий та зелений) чітко регулюють дії водіїв і пішоходів, знижуючи можливість виникнення хаосу на дорогах.

Однак із розвитком технологій, все більшої популярності набувають адаптивні світлофорні системи, які працюють на основі аналізу поточної дорожньої ситуації в реальному часі. Адаптивні світлофорні системи застосовують датчики, камери та інші технології для збирання інформації про інтенсивність руху на певних ділянках дороги. Ці системи використовують штучний інтелект та алгоритми для того, щоб автоматично змінювати режими роботи світлофорів відповідно до поточної ситуації на дорозі. Наприклад, якщо на перехресті утворився великий затор у певному напрямку, система може подовжити зелений сигнал для цього потоку, зменшуючи час затримки для водіїв.

Такі системи мають численні переваги, зокрема:

— оптимізація пропускної здатності доріг. Адаптивні системи допомагають краще керувати транспортними потоками, зменшуючи кількість заторів і покращуючи швидкість руху на дорогах;

— зниження затримок і часу очікування. Система може змінювати тривалість світлофорних сигналів залежно від поточної ситуації, що дозволяє скоротити час очікування для водіїв, особливо в години пік;

— підвищення безпеки на перехрестях. Завдяки адаптивному підходу, світлофорні системи можуть швидко реагувати на зміни дорожньої обстановки, запобігаючи виникненню ДТП та небезпечним ситуаціям на дорогах;

— економія палива та зниження викидів. Менше часу, проведеного в заторах, означає скорочення споживання палива та зменшення шкідливих викидів у атмосферу, що сприяє покращенню екологічної ситуації.

Сучасні системи також дозволяють інтегрувати так звані «зелені хвилі» — спеціальні послідовності налаштування світлофорів, які синхронізують їх роботу таким чином, щоб автомобілі могли проїжджати декілька перехресть без зупинки. Це особливо ефективно на основних магістралях, де необхідно забезпечити безперервний рух під час високої інтенсивності транспортного потоку.

Світлофори не тільки забезпечують контроль за рухом транспортних засобів, але й значно підвищують рівень безпеки на дорогах. Завдяки правильному розміщенню світлофорів, зокрема на перехрестях із високою інтенсивністю руху або в районах, де часто трапляються ДТП, можна суттєво знизити імовірність їх виникнення. Світлофори відіграють ключову роль у захисті найбільш уразливих учасників дорожнього руху, а саме пішоходів, зокрема дітей, і велосипедистів. Ці категорії учасників дорожнього руху є найменш захищеними у випадку аварій та часто є жертвами ДТП на перехрестях чи пішохідних переходах без світлофорного регулювання.

Пішохідні переходи з регульованими світлофорами суттєво знижують ризик наїзду на пішоходів, особливо в містах із великою кількістю населення, поблизу шкіл, лікарень і дитячих садків. Світлофори дозволяють пішоходам безпечно переходити дорогу у чітко визначений час, коли всі автомобілі з конфліктного напрямку зупиняються. Також із розвитком велосипедного руху в містах наявність окремих світлофорів для велосипедистів сприяє підвищенню їхньої безпеки. Окремі фази для велосипедистів дозволяють їм безпечно пересуватися по перехрестях без ризику конфлікту з автомобілями.

Світлофори також впливають на соціально-економічні аспекти життя громадян. Вони зменшують витрати часу водіїв і пішоходів, покращують роботу громадського транспорту та підвищують загальний рівень комфорту пересування в місті. Завдяки використанню сучасних технологій, таких як адаптивні світлофорні системи, штучний інтелект та автоматизовані датчики, міста можуть ефективно управляти дорожнім рухом, враховуючи актуальні умови та потреби учасників руху в реальному часі.

Однак неправильне налаштування або технічні несправності світлофорів можуть призвести до серйозних проблем, таких як затори через невірний розподіл фаз світлофорного регулювання, небезпека для пішоходів через недостатній час для перетину дороги, порушення в роботі світлофорів через технічні несправності та неефективне управління рухом, якщо світлофори не адаптовані до поточних дорожніх обставин. Це підкреслює важливість регулярного технічного обслуговування та належного налаштування світлофорів для забезпечення безпеки та ефективності руху на автомобільних дорогах.

Висновки

Світлофори є одним із найважливіших інструментів для управління дорожнім рухом і забезпечення безпеки та підвищення ефективності руху транспорту як в містах, так і на позаміських автомобільних дорогах. Вони регулюють рух транспортних засобів і пішоходів на перехрестях та інших ключових ділянках доріг, допомагаючи уникнути конфліктних ситуацій і знижуючи ризик виникнення дорожньо-транспортних пригод. Світлофори дозволяють організувати впорядковану черговість руху, тим самим зменшуючи ризик виникнення зіткнень та наїздів на пішоходів.

Проте, для забезпечення їхньої максимальної ефективності, необхідно постійно удосконалювати технології та підходи до їхнього використання, враховуючи зміни в умовах дорожнього руху і впровадження новітніх технологій. Застосування адаптивних світлофорних систем і сучасних технологій управління дорожнім рухом є критично важливим елементом розвитку безпечної та ефективної транспортної інфраструктури в містах.

Таким чином, ефективність світлофорних систем стає не лише питанням дорожньої безпеки, але й важливим елементом стратегії розвитку міської інфраструктури та покращення якості життя мешканців.

Список літератури

1. Road Safety Manual. Recommendations from the World Road Association (PIARC). (Посібник з безпеки дорожнього руху. Рекомендації від Світової дорожньої асоціації). PIARC Technical

Committee on road safety (C13). URL: https://roadsafety.piarc.org/en/strategic-global-perspective/scope-road-safety-problem (дата звернення: 10.09.2024).

2. Статистичні дані про аварійність Департаменту патрульної поліції Національної поліції України. URL: https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/ (дата звернення 10.09.2024).

3. Міжнародний день світлофора. Ліга.net, серпень 2017. URL: https://file.liga.net/ua/holidays/mejdynarodnii_den_svetofora (дата звернення: 10.09.2024).

4. Конвенція про дорожні знаки і сигнали. Відень, 1968. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_902#Text (дата звернення 10.09.2024).

References

1. Road Safety Manual. Recommendations from the World Road Association (PIARC). PIARC Technical Committee on road safety (C13). URL: https://roadsafety.piarc.org/en/strategic-global-perspective/scope-road-safety-problem (Last accessed: 10.09.2024) [in English].

2. Statistical data on the accident rate of the Patrol Police Department of the National Police of Ukraine. URL: https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/ (Last accessed: 10.09.2024) [in Urkainian].

3. Mizhnarodnyi den svitlofora. Liga.net, August, 2017. URL: https://file.liga.net/ua/holidays/mejdynarodnii_den_svetofora (Last accessed: 10.09.2024) [in Urkainian].

4. Convention on road signs and signals. Vienna, 1968. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_902#Text (Last accessed: 10.09.2024) [in Urkainian].

Olga Belenchuk, *https://orcid.org/0000-0003-0525-0546*
Nataliya Popovych, *https://orcid.org/0000-0001-5822-2501*
Alla Kononenko, *https://orcid.org/0000-0003-4826-0373*

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

EFFECTIVENESS OF TRAFFIC LIGHTS AND THEIR ROLE IN ENSURING ROAD SAFETY

Abstract

Introduction. The development of motor transport inevitably leads to an increase in traffic intensity, resulting in challenges related to ensuring the safety and comfort of road users, particularly at uncontrolled intersections and pedestrian crossings, which are areas of heightened risk for road accidents.

Problem statement. The high likelihood of traffic accidents occurring at uncontrolled road intersections and pedestrian crossings necessitates the implementation of measures aimed at ensuring the safety of all road users, particularly pedestrians and cyclists.

Purpose. Ensuring road safety, reducing the likelihood of traffic accidents, and providing comfortable travel conditions for road users.

Materials and methods. The current regulatory acts and normative documents regarding traffic control devices, particularly traffic lights, as well as statistical information on road accidents in Ukraine, have been analyzed.

Results. This article examines the effectiveness of traffic lights as a means of traffic management and their crucial role in ensuring safety for all road users. It also explores the potential implementation of new technologies that can enhance the efficiency of traffic lights in regulating traffic flow and improving road safety.

Conclusions. Traffic lights are one of the most essential tools for managing traffic and ensuring safety, as well as enhancing the efficiency of transportation both in cities and on highways. They regulate the movement of vehicles and pedestrians at intersections and other critical road sections, helping to prevent conflicts and reduce the risk of traffic accidents. Traffic lights help organize a structured flow of movement, thereby reducing the likelihood of collisions and pedestrian-related incidents.

Keywords: road safety, cyclist, traffic accident, pedestrian, traffic light.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.360

УДК 625.7

Єфименко Р. В., *https://orcid.org/0000-0002-9414-611X*
Пина О. Г., *https://orcid.org/0000-0002-5808-4679*
Беленчук О. В., *https://orcid.org/0000-0003-0525-0546*

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

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ОБСТЕЖЕННЯ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ ЗАХОДІВ З ПОКРАЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В МІСЦЯХ / НА ДІЛЯНКАХ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

Анотація

Вступ. Зростання аварійності на автомобільних дорогах призводить до виникнення місць і ділянок концентрації дорожньо-транспортних пригод, які в свою чергу потребують детального обстеження для виявлення можливих причин виникнення аварійності, визначення шляхів для усунення проблематики та забезпечення безпеки всіх учасників дорожнього руху.

Проблематика. Дорожньо-транспортні пригоди у місцях / на ділянках їх концентрації характеризуються великою тяжкістю наслідків, особливо за участю уразливих учасників дорожнього руху, що потребує детального аналізування кожного такого місця / ділянки та впровадження заходів, які покращать безпеку дорожнього руху.

Мета. Забезпечення безпеки автомобільних доріг у місцях / на ділянках концентрації дорожньо-транспортних пригод, зменшення тяжкості наслідків і забезпечення комфортних умов для учасників дорожнього руху.

Матеріали та методи. Проаналізовано чинні нормативно-правові акти, будівельні норми та нормативні документи щодо технічних засобів організування дорожнього руху, практичний досвід, здобутий під час проведення позапланових перевірок безпеки автомобільних доріг у місцях / на ділянках концентрації дорожньо-транспортних пригод.

Результат. Встановлено, що проведення перевірки безпеки автомобільних доріг у місцях / на ділянках концентрації дорожньо-транспортних пригод з подальшим впровадженням рекомендованих заходів впливає на зниження рівня аварійності, зокрема, зменшується кількість ДТП за участі уразливих учасників дорожнього руху.

Висновки. Місця та ділянки концентрації дорожньо-транспортних пригод характеризуються великою тяжкістю наслідків на невеликому проміжку автомобільної дороги. Для ефективного захисту учасників дорожнього руху та для зменшення імовірності виникнення дорожньо-транспортних пригод, особливо з уразливими учасниками, потрібно виконувати перевірку безпеки автомобільних доріг, за результатами якої рекомендовано впроваджувати заходи з покращення безпеки дорожнього руху.

Ключові слова: аварійність, безпека дорожнього руху, ділянка концентрації ДТП, дорожньо-транспортна пригода, місце концентрації ДТП, уразливі учасники дорожнього руху.

Вступ

Місця / ділянки концентрації дорожньо-транспортних пригод (далі — ДТП) зазвичай утворюються на складних або небезпечних ділянках доріг. Основними чинниками, що є причиною утворенню таких місць / ділянок, є ненормативні геометричні параметри автомобільної дороги, незадовільні дорожні умови, недосконале організування дорожнього руху (далі — ОДР), порушення Правил дорожнього руху, недостатнє штучне освітлення тощо. Типові місця / ділянки концентрації ДТП утворюються на великих перехрещеннях автомобільних доріг, складних транспортних

розв'язках, у районі нерегульованих наземних пішохідних переходів, ділянках доріг з обмеженою оглядовістю та ділянках з інтенсивним рухом.

Виявлені на основі аналізування аварійності місця і ділянки концентрації ДТП потребують детального обстеження з метою дослідження основних причин виникнення ДТП на них. За результатами обстеження фіксують всі чинники, які можуть впливати на зростання рівня аварійності та призначають заходи з покращення безпеки дорожнього руху, спрямовані на усунення таких чинників.

Основна частина

Заходи з покращення безпеки дорожнього руху (далі — заходи) призначають для зниження кількості ДТП і зменшення тяжкості наслідків від них. Вони охоплюють різні сфери: від удосконалення дорожньої інфраструктури до зміни схеми ОДР, а також підвищення свідомості учасників дорожнього руху.

До основних заходів можливо віднести:

— покращення дорожньої інфраструктури, зокрема, улаштування штучного освітлення на автомобільних дорогах, особливо в межах населених пунктів та контрастного освітлення наземних пішохідних переходів; оновлення та покращення видимості дорожніх знаків, використання флуоресцентної плівки, світлодіодів та облямівок на них; поновлення горизонтальної дорожньої розмітки; улаштування засобів заспокоєння руху та острівців безпеки; встановлення дорожньої огорожі;

— посилення контролювання швидкісного режиму руху, зокрема, встановлення приладів контролю системи автоматичної фото-, відеофіксації порушень Правил дорожнього руху;

— покращення безпеки для уразливих учасників дорожнього руху, а саме облаштування наземних пішохідних переходів світлофорними об'єктами та забезпечення безпечних підходів до них;

— встановлення огорож для захисту пішоходів;

— улаштування пішохідних і велосипедних доріжок.

Призначення заходів на виявлених місцях і ділянках концентрації ДТП рекомендовано здійснювати за таким алгоритмом:

1. Аналізування аварійності та визначення основних видів ДТП, які виникали на виявлених місцях чи ділянках їх концентрації, виявлення можливих причин виникнення ДТП на основі інформації щодо місця розташування небезпечної ділянки, порушення Правил дорожнього руху, пори року, пори доби, наявності чи відсутності штучного освітлення, недоліків в експлуатаційному стані дороги тощо.
2. Вивчення існуючої схеми ОДР.
3. Безпосереднє обстеження місця або ділянки концентрації ДТП шляхом проведення його перевірки безпеки згідно з [1], зокрема:

— визначення інтенсивності руху транспортних засобів;

— перевіряння поперечного профілю на відповідність його параметрів до наявної категорії дороги;

— перевіряння стану дорожнього покриву, узбіччя, системи водовідведення;

— вивчення плану траси та поздовжнього профілю;

— детальне обстеження кожного перехрещення чи примикання на ділянці автомобільної дороги за їх наявності;

— обстеження території біля об'єктів дорожнього сервісу щодо наявності всіх технічних засобів ОДР, перехідно-швидкісних смуг та їх відповідність вимогам будівельних норм і нормативних документів;

— обстеження наявних пішохідних переходів. Особливу увагу варто приділити нерегульованим пішохідним переходам, а саме визначити правильність їх розташування на автомобільній дорозі, наявність штучного освітлення, стан дорожніх знаків і горизонтальної дорожньої розмітки, наявність безпечних підходів до пішохідних переходів і дорожніх стримувальних систем;

— візуальне обстеження видимості та стану наявних дорожніх знаків, їх місця та висоти встановлення;

— візуальне перевіряння наявності та стану горизонтальної дорожньої розмітки;

— фіксування наявності чи відсутності штучного освітлення у межах на ділянці обстеження автомобільної дороги;

— перевіряння наявності та візуальне обстеження стану встановленої дорожньої огорожі та напрямних пристроїв.

На основі зібраної інформації у місцях / на ділянках концентрації ДТП рекомендуються заходи, кожен з яких виконує окрему функцію, а виконання комплексу запропонованих заходів у повній мірі повинне зменшити ризики виникнення ДТП. Відповідно до [2] заходи поділяють на:

— невідкладні – заходи, які орган управління здійснює протягом 10 календарних днів з дня затвердження плану заходів у межах експлуатаційного утримування автомобільної дороги;

— обов'язкові – заходи, які орган управління здійснює в межах поточного ремонтування автомобільної дороги;

— перспективні – заходи, які орган управління здійснює в межах капітального ремонтування або реконструювання автомобільної дороги, а також передбачає як пропозиції під час внесення змін до містобудівної документації на місцевому рівні, схем планування територій районів, схем планування територій областей, Генеральної схеми планування територій України.

Основним етапом для призначення заходів з безпеки дорожнього руху є оцінювання та опис елементів впливу на безпеку дорожнього руху та виявлення недоліків у місцях / на ділянках концентрації ДТП. Основних елементами впливу на безпеку автомобільних доріг є швидкість руху, поперечний профіль автомобільної дороги, дорожній покрив, водовідведення, план траси і повздовжній профіль, перехрещення і примикання, об'єкти дорожнього сервісу, наявність уразливих учасників дорожнього руху, дорожні знаки та розмітка, штучне освітлення, дорожні стримувальні системи та напрямні пристрої.

Безпечна швидкість руху — це швидкість, яка дозволяє водію транспортного засобу вчасно реагувати на можливі небезпеки, зберігаючи контроль над автомобілем і мінімізуючи ризик виникнення ДТП. Під час встановлення обмежень швидкості руху покладатись потрібно не лише на законодавчо встановлені норми, а і враховувати дорожні умови.

Під час аналізування аварійності у місцях / на ділянках концентрації ДТП особливу увагу приділити зазначеним в картці обліку порушенням Правил дорожнього руху, адже, якщо переважаючим видом порушень є перевищення безпечної швидкості, то варто призначати заходи, спрямовані на зниження швидкості руху на ділянці автомобільної дороги. До таких заходів відносять:

— встановлення приладів контролю системи автоматичної фото-, відеофіксації порушень Правил дорожнього руху;

— улаштування штучних нерівностей, напрямних острівців та острівців безпеки **(рис. 1)**.



Рисунок 1 — Приклад улаштування острівця безпеки

Залежно від категорії автомобільної дороги на об’єкті обстеження проводять порівняння наявних параметрів поперечного профілю на відповідність вимогам будівельних норм і нормативним документам. За умови їхньої невідповідності рекомендації спрямовуються на доведення параметрів поперечного профілю до нормативних. Наявність крутих спусків / підйомів потребують детального обстеження, особливо у поєднання з кривими у плані. Затяжні спуски перевіряються на наявність уловлювальних з’їздів.

Під час обстеження детальну увагу слід приділити стану узбіч, оскільки вони повинні забезпечувати належне зчеплення шин та мати стійку поверхню. Окрім того, неукріплене узбіччя є причиною винесення бруду на покрив проїзної частини, що погіршує його зчіпні властивості та може призводити до виникнення ДТП.

До основних заходів, які стосуються поперечного профілю, відносять:

— доведення параметрів поперечного профілю до нормативних;
— укріплення та профілювання узбіччя;
— улаштування уловлювальних з’їздів **(рис. 2)**.



Рисунок 2 — Приклад улаштування уловлювального з’їзду

Наявний асфальтобетонний дорожній покрив обстежують візуально на наявність вибоїн, проломів, руйнувань крайки, гребінок і зміщень, колійності. Цементобетонний дорожній покрив обстежують на наявність зміщення плит, у разі виявлення яких вимірюють висоту зміщення, та відколів цементобетону від арматури. Проїзну частину перевіряють на наявність різних забруднень, особливу небезпеку несуть забруднення з паливо-мастильних матеріалів. У разі виявлення дефектів дорожнього покриву призначають заходи, спрямовані на їх усунення.

На об’єкті перевірки визначають метод відведення води з проїзної частини. У разі відведення води із застосуванням дощоприймальних колодязів проводиться їхній огляд з метою виявлення замулення.

Особливу увагу під час обстеження місць і ділянок концентрації ДТП приділяють елементам плану і поздовжнього профілю, зокрема, радіуси кривих у плані повинні відповідати вимогам [3], повинна бути забезпечена видимість у напрямку руху залежно від дозволеної швидкості руху.

Всі перехрещення і примикання у межах місця / ділянки концентрації ДТП обстежують разом з підходами до них пов’язаних автомобільних доріг. Безпека перехрещень і примикань є одним з ключових аспектів у забезпеченні загальної безпеки дорожнього руху, оскільки вони є місцем, де сходяться транспортні потоки різних напрямків, що створює підвищений ризик виникнення ДТП. Для зменшення кількості ДТП в зоні перехрещень і примикань потрібно ураховувати різні фактори, такі як вид перехрещення / примикання, тип регулювання, забезпечення видимості, а також стан облаштування технічними засобами ОДР.

Перехрещення і примикання можуть бути регульованими і нерегульованими, лінійними або кільцевими. Залежно від наявного виду перехрещення / примикання під час обстеження приймають рішення щодо рекомендацій з покращення безпеки дорожнього руху. Одним із можливих шляхів зменшення аварійності є зміна виду перехрещення / примикання: з нерегульованого на регульоване, з лінійного на перехрещення з рухом по колу, а в особливих випадках, за наявності технічної можливості, може бути рекомендоване влаштування транспортної розв'язки в різних рівнях.

Водії повинні мати достатню видимість для оцінювання ситуації на перехрещеннях і примиканнях. Дерева, будівлі або інші перешкоди, розташовані в зоні перехрещення або примикання, можуть обмежувати оглядовість, збільшуючи ризик виникнення ДТП. Важливою є наявність штучного освітлення зони перехрещення чи примикання. Технічні засоби ОДР, зокрема, дорожні знаки та горизонтальна дорожня розмітка, встановлені та нанесені на перехрещеннях і примиканнях, повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів.

Наземні пішохідні переходи, розташовані в зоні перехрещень і примикань, повинні бути чітко позначені і добре освітлені. Якщо перехрещення / примикання регульоване, потрібно перевірити роботу світлофорного об'єкта, зокрема переконатись у синхронізації роботи транспортних і пішохідних світлофорів. Правильно налаштовані світлофорні об'єкти з достатнім проміжком часу для переходу дозволяють здебільшого уникати конфліктів між пішоходами та транспортними засобами.

До основних заходів на перехрещеннях / примиканнях відносять:

— встановлення світлофорів;
— покращення видимості в зоні перехрещень / примикань;
— зниження швидкості руху на підходах до перехрещення / примикання;
— змінення конфігурації транспортної розв'язки для забезпечення нормативного кута перехрещення / примикання (**рис. 3**);
— змінення виду перехрещення;
— улаштування штучного освітлення;
— удосконалення інфраструктури для пішоходів і велосипедистів тощо.

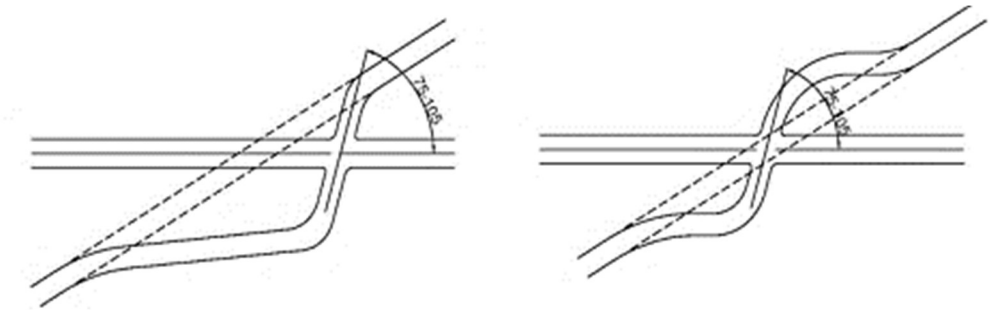


Рисунок 3 — Приклад змінення конфігурації розв'язки для забезпечення нормативного кута перехрещення / примикання

Об'єкти дорожнього сервісу — це спеціально облаштовані зони уздовж автомобільних доріг, які надають водіям і пасажирам різноманітні послуги, необхідні під час поїздки. Вони забезпечують безпеку, комфорт і задоволення потреб учасників дорожнього руху. Ці об'єкти можуть розташовуватися на як на автомобільних дорогах загального користування, так і на вулицях населених пунктів. До основних типів об'єктів дорожнього сервісу можна віднести зупинки маршрутних транспортних засобів, автозаправні станції, автомобільні стоянки та паркінги, зони відпочинку, готелі, станції технічного обслуговування, пункти харчування, магазини та торгівельні комплекси тощо.

Обстеження та планування заходів в зоні прилягання об'єктів дорожнього сервісу до автомобільної дороги є важливим етапом для забезпечення безпеки, як водіїв, так і пішоходів, які користуються цими об'єктами. Це процес, який включає аналізування існуючих умов дорожнього руху, виявлення потенційних небезпек та розроблення конкретних заходів для зниження ризиків в зоні об'єктів сервісу. Під час обстеження місць / ділянок концентрації ДТП вивчають всі наявні на них об'єкти сервісу, оцінюють стан інфраструктури на них (якість дорожнього покриву, технічний стан дорожніх знаків, розмітки чи інших технічних засобів ОДР), доступність об'єктів сервісу для учасників дорожнього руху; оцінюють стан тротуарів, пішохідних переходів і підходів до них, перевіряють наявність і стан штучного освітлення та дорожніх стримувальних систем.

До основних заходів на об'єктах дорожнього сервісу відносять:

— улаштування перехідно-швидкісних смуг;
— облаштування зон для паркування транспортних засобів;
— облаштування зупинок маршрутних транспортних засобів заїзними кишенями;
— улаштування штучного освітлення в зоні об'єктів дорожнього сервісу;
— встановлення дорожніх стримувальних систем, зокрема для пішоходів тощо.

Уразливі учасники дорожнього руху – це люди, які мають підвищений ризик стати жертвами ДТП через особливості їхньої участі в дорожньому русі та обмежені можливості захиститися під час небезпеки на автомобільній дорозі. До них належать пішоходи, велосипедисти та мотоциклісти.

Обстеження місць / ділянок концентрації ДТП, на яких виникають пригоди за участю уразливих учасників дорожнього руху, допомагає визначити ризики та розробити заходи для зниження кількості ДТП, покращення безпеку та комфорт пересування для пішоходів та велосипедистів. Це є важливим етапом, спрямованим на виявлення факторів, які можуть негативно впливати на безпеку уразливих учасників дорожнього руху. Процес обстеження полягає в аналізуванні середовища, умов руху та інфраструктури і пропонуванні рішення для покращення їх безпеки.

Обстеження інфраструктури полягає в оцінюванні наявності і безпечності пішохідних переходів. Перевіряють наявність та якість горизонтальної дорожньої розмітки та дорожніх знаків на пішохідних переходах, світлофорних об'єктів. Додатково обстежують тротуари та велосипедні доріжки, їх перевіряють на наявність безпечних зон для пішоходів і велосипедистів, які мають бути фізично відокремлені від проїзної частини. Велику увагу приділяють наявності та стану дорожньої огорожі.

Штучне освітлення в місцях скупчення уразливих учасників дорожнього руху необхідно перевіряти на рівень освітленості зони пішохідних переходів, тротуарів і велосипедних доріжок у темну пору доби. Наявність дерев, рекламних щитів тощо також не повинна перекривати видимість пішоходів і велосипедистів для водіїв транспортних засобів.

Перевіряння горизонтальної дорожньої розмітки пішохідних переходів передбачає оцінювання її видимості та, за потреби, відповідності нормативним вимогам. Дорожні знаки позначення пішохідного переходу перевіряють на наявність, правильність розміщення, візуально оцінюють їх стан, а, за потреби, додатково оцінюють їх відповідність нормативним вимогам.

До основних заходів для безпеки уразливих учасників дорожнього руху відносять:

— улаштування додаткових пішохідних переходів і велосипедних доріжок;
— встановлення дорожніх стримувальних систем в місцях руху пішоходів і велосипедистів;
— улаштування штучного освітлення на небезпечних ділянках і контрастного освітлення зон наземних пішохідних переходів (**рис. 4**);
— видалення об'єктів, які перешкоджають видимості (дерев, рекламних щитів тощо);
— встановлення обмежень швидкості на ділянках з великою кількістю пішоходів або велосипедистів;
— впровадження засобів заспокоєння руху тощо.

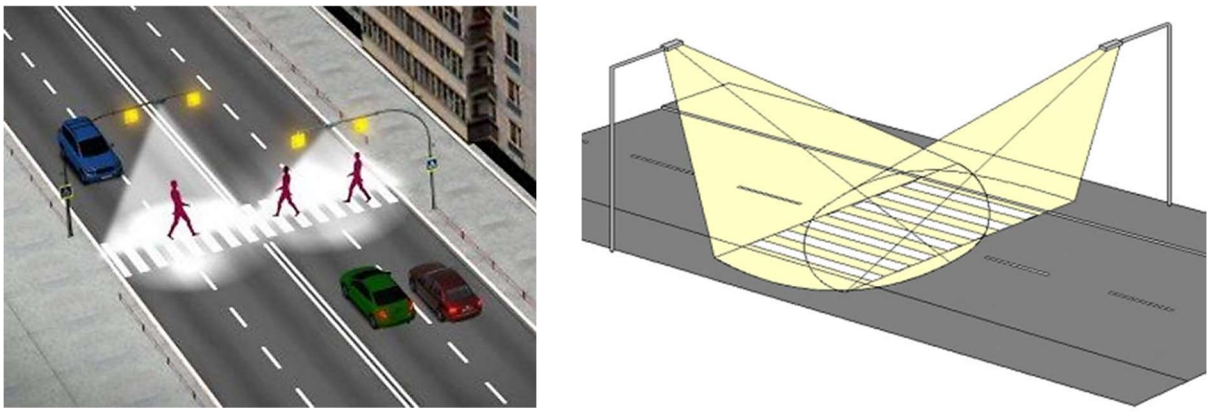


Рисунок 4 — Приклад улаштування системи освітлення пішохідних переходів

Обстеження дорожніх знаків — це процес оцінювання їхньої відповідності вимогам безпеки, зокрема, видимості та розташування на автомобільній дорозі для забезпечення належного інформування учасників руху. Правильно встановлені та добре помітні дорожні знаки є важливим елементом ОДР, що допомагає попередити аварійні ситуації і забезпечити безпеку на дорогах.

Під час обстеження дорожніх знаків перевіряють їхній стан на наявність пошкоджень, забруднень або інших дефектів, які знижують їхню видимість або зрозумілість. Видимість дорожніх знаків повинна бути забезпечена на достатній для водія відстані, не перекриватись деревами, спорудами чи іншими об’єктами. Знаки повинні бути видимими в темну пору доби та в умовах недостатньої видимості, зокрема мати достатній коефіцієнт світлоповертання в залежності від категорії автомобільної дороги. Також дорожні знаки оцінюють на правильність встановлення та розташування, перевіряють висоту їхнього встановлення.

У місцях / на ділянках концентрації ДТП розглядають можливість встановлення додаткових дорожніх знаків (наприклад, попереджувальних) або модернізацію існуючих (наприклад, використання додаткової облямівки з властивостями флуоресценції).

До основних заходів під час перевіряння дорожніх знаків відносять:

— заміну пошкоджених дорожніх знаків на нові;
— покращення видимості дорожніх знаків;
— встановлення додаткових дорожніх знаків.

Обстеження дорожньої розмітки – це процес оцінювання її якості, видимості і відповідності нормативним вимогам для забезпечення безпеки дорожнього руху. Дорожня розмітка виконує ключову роль в організуванні дорожнього руху, оскільки вказує на межі смуг, напрямки руху, зони паркування, пішохідні переходи тощо. Її правильне застосування є важливим для зниження кількості ДТП і покращення загальної безпеки на дорогах.

Під час перевіряння стану дорожньої розмітки візуально оцінюють стан матеріалу, зношеність і пошкодження, проводять оцінювання видимості у світлу та темну пори доби, за потреби, за допомогою приладів перевіряють на відповідність вимогам нормативних документів.

До основних заходів під час перевіряння дорожньої розмітки відносять:

— нанесення дорожньої розмітки на ділянках, де вона відсутня;
— поновлення дорожньої розмітки у разі втрати її властивостей;
— рекомендування замінити матеріали для нанесення розмітки;
— видалення дорожньої розмітки, якщо вона суперечить вимогам безпеки дорожнього руху.

Обстеження штучного освітлення на автомобільних дорогах є важливим заходом для забезпечення безпеки дорожнього руху, особливо в нічний час і в умовах поганої видимості. Правильне освітлення сприяє покращенню видимості для водіїв пішоходів, інших

учасників дорожнього руху та об’єктів, розташованих на автомобільній дорозі, що знижує ризик виникнення ДТП.

У місцях / на ділянках концентрації ДТП візуально оцінюють рівень штучного освітлення, тобто перевіряють правильність розташування опор освітлення, рівномірність освітлення для виявлення недостатньо освітлених зон, оглядають стан, забрудненість і справність світильників. Особливу увагу слід приділити перевірянню зон пішохідних переходів, зупинок маршрутних транспортних засобів, транспортних розв’язок.

До основних заходів під час перевіряння штучного освітлення відносять:

— улаштування штучного освітлення за його відсутності;
— модернізацію освітлення в небезпечних зонах за недостатнього рівня освітленості;
— технічне обслуговування елементів системи штучного освітлення, зокрема, світильників;
— додавання додаткових джерел освітлення.

Обстеження дорожніх стримувальних систем – це процес оцінювання стану, ефективності та відповідності дорожніх огорож нормативним вимогам з метою покращення безпеки дорожнього руху. Дорожня огорожа відіграє важливу роль в запобіганні виїзду транспортних засобів за межі проїзної частини дороги, в’їзду в масивні перешкоди тощо та зменшує тяжкість наслідків від таких ДТП, особливе значення дорожня огорожа відіграє для захисту пішоходів.

Під час обстеження огорожі оцінюють її фізичний стан, перевіряють на наявність пошкоджень та корозії, міцність кріплень, відсутність розривів. Також перевіряють тип огорожі, висоту та правильність місця встановлення відповідно до нормативних вимог. Видимість огорожі в темну пору доби має бути забезпечена за рахунок наявності світлоповертальних елементів. За потреби, перевіряють наявність дорожніх знаків на кінцевих елементах огорожі.

До основних заходів під час перевіряння дорожньої огорожі відносять:

— заміну пошкоджених елементів огорожі;
— встановлення додаткових ділянок дорожньої огорожі;
— застосування на початку ділянки огорожі амортизаційних пристроїв для двобічних дорожніх огорож та енергопоглинальних початкових / кінцевих ділянок бар’єрної огорожі для однобічних огорож (**рис. 5**).



Рисунок 5 — Приклад застосування амортизаційного пристрою перед двобічною бар’єрною огорожею

Висновки

Безпека дорожнього руху залишається однією з найбільш критичних проблем у сфері транспортної інфраструктури. Впровадження ефективних заходів, спрямованих на зниження

аварійності, вимагає комплексного підходу, що поєднує ретельний аналіз аварійності, постійний моніторинг стану доріг і впровадження сучасних технологій для управління рухом. Використання світлофорів, розмітки, додаткових знаків та інших технічних засобів регулювання дорожнього руху повинні відповідати реальним умовам руху та враховувати поведінку його учасників.

Основним методом визначення причин виникнення ДТП є безпосереднє обстеження небезпечної ділянки дороги та визначення усіх чинників, які можуть бути причиною зростання аварійності. Проведення перевірки безпеки місць і ділянок концентрації ДТП з подальшим впровадженням запропонованих заходів, спрямованих на покращення безпеки всіх учасників дорожнього руху — водіїв та пасажирів, пішоходів і велосипедистів, значно знижують імовірність виникнення ДТП, особливо із загиблими та / або травмованими.

Список літератури

1. Про затвердження Порядку проведення перевірки безпеки автомобільних доріг: наказ Міністерства інфраструктури України від 18.05.2021 № 266 // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0737-21#Text (дата звернення: 30.09.2024).

2. Про затвердження Порядку виявлення аварійно-небезпечних ділянок та місць концентрації дорожньо-транспортних пригод: наказ Міністерства інфраструктури України від 12.08.2022 № 598 // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1313-22#Text (дата звернення: 30.09.2024).

3. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015. 91 с. (Інформація та документація).

References

1. Pro zatverdzhennia Poriadku provedennia perevirky bezpeky avtomobilnykh dorih: order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine of 18.05.2021 No. 266 // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0737-21#Text (Last accessed: 30.09.2024) [in Ukrainian].

2. Pro zatverdzhennia Poriadku vyiavlennia avariino-nebezpechnykh dilianok ta mists kontsentratsii dorozhno-transportnykh pryhod: order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine of 12.08.2022 No. 598 // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1313-22#Text (Last accessed: 30.09.2024) [in Ukrainian].

3. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo. Kyiv, 2015. 91 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Roman Yefymenko, *https://orcid.org/0000-0002-9414-611X*
Oleksandr Pyna, *https://orcid.org/0000-0002-5808-4679*
Olga Belenchuk, *https://orcid.org/0000-0003-0525-0546*

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

BASIC PRINCIPLES OF INVESTIGATION AND APPOINTMENT OF MEASURES TO IMPROVE ROAD SAFETY IN PLACES / AREAS OF CONCENTRATION OF TRAFFIC ACCIDENTS ON MOTOR ROADS

Abstract

Introduction. The increase in accidents on highways leads to the emergence of places and areas of concentration of traffic accidents, which, in turn, require a detailed examination to identify possible causes of accidents, determine ways to eliminate the problem and ensure the safety of all road users.

Problem statement. Traffic accidents in places / areas of their concentration are characterized by great severity of consequences, especially involving vulnerable road users, which requires a detailed analysis of each such place / area and the implementation of measures that will improve road safety.

Purpose. Ensuring the safety of highways in places / areas of concentration of traffic accidents, reducing the severity of their consequences and ensuring comfortable conditions for road users.

Materials and methods. Current legal acts, building codes and regulatory documents regarding technical means of traffic management, practical experience gained during unscheduled road safety inspections in places / areas of concentration of traffic accidents have been analyzed.

Results. It has been established that road safety inspections in places / areas of concentration of traffic accidents with subsequent implementation of recommended measures affect the reduction of the accident rate, in particular, the number of road accidents involving vulnerable road users decreases.

Conclusions. Places and areas of concentration of traffic accidents are characterized by great severity of consequences on a short stretch of road. In order to effectively protect road users and to reduce the likelihood of traffic accidents, especially with vulnerable road users, it is necessary to carry out a road safety inspection, based on the results of which it is recommended to implement measures to improve road safety.

Keywords: road safety, traffic accident concentration area, traffic accident, traffic accident concentration place, vulnerable road users.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.370

УДК 625.746.5

Нагребельна Л. П., *д-р філос. з трансп. техн.*, *https://orcid.org/0000-0002-5615-9075*
Крутульова Т. Є., *https://orcid.org/0000-0002-9554-1285*
Шпінь Д. М., *https://orcid.org/0000-0003-0779-5558*
Корчевська А. А., *https://orcid.org/0000-0001-8245-9891*

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

АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ І МЕТОДІВ ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ДОРОЖНЬОЇ РОЗМІТКИ, ЯК ПІДҐРУНТЯ ДЛЯ НОВИХ СТАНДАРТІВ

Анотація

Вступ. Горизонтальна дорожня розмітка є важливим елементом безпеки дорожнього руху, організування та упорядкування руху транспортних потоків. Також дорожня розмітка дозволяє збільшити пропускну здатність автомобільної дороги більше ніж на 20 % та зменшити кількість дорожньо-транспортних пригод.

Сучасний етап розвитку дорожньої галузі характеризується посиленням вимог до дорожньої розмітки. Сьогодні вибір матеріалів для влаштування дорожньої розмітки дуже різноманітний, це: фарби, пластики холодного та гарячого нанесення, полімерні стрічки, попередньо сформовані вироби, мікрокульки скляні світлоповертальні тощо. Кожен матеріал має унікальний набір властивостей, пов'язаних із довговічністю, світлоповертанням, вартістю нанесення та життєвим циклом.

Проблематика. Розширення асортименту матеріалів для розмітки ускладнює задачу їхнього вибору. Вибір потрібно здійснювати з урахуванням багатьох чинників, зокрема: вид розмітки, дорожні умови (криві у плані, перехрещення доріг, дороги з високою інтенсивністю тощо), матеріал дорожнього покриву та його шорсткість.

Для того, щоб правильно вибрати матеріали для розмітки доріг, потрібно враховувати рівень навантаження на дорогу і строк використання.

З метою оптимального вибору, насамперед, необхідно здійснювати перевіряння якісних характеристик матеріалів шляхом проведення випробувань за фізико-механічними, технологічними, функціональними характеристиками.

Мета. На підставі проведеного аналізу технічних вимог і методів випробування матеріалів для дорожньої розмітки, визначити проблемні питання та шляхи їх вирішення.

Матеріали та методи. Аналіз нормативних документів щодо технічних вимог і методів випробування матеріалів для дорожньої розмітки.

Результати. Розглянуті технічні вимоги та методи випробування матеріалів для дорожньої розмітки у чинних нормативних документах України та у нормативних і технічних документах зарубіжних країн. Наведені основні зміни щодо окремих показників і методик випробувань у проєктах нових нормативних документів.

Висновки. Розроблені нові стандарти є перехідним етапом від застарілих галузевих до європейських, їх зможуть використовувати українські виробники та дослідні лабораторії з наявним обладнанням для проведення якісного оцінювання та сертифікації матеріалів для дорожньої розмітки.

Ключові слова: дорожня розмітка, матеріал для дорожньої розмітки, мікрокульки скляні світлоповертальні, пластик гарячого нанесення, пластик холодного нанесення, фарба.

Вступ

Функціональна довговічність, денна та нічна видимість розмітки залежать від виду та якості матеріалів, від технології нанесення розмітки, умов її експлуатування тощо. У [1 – 2] американські дослідники надають результати досліджень довговічності розмітки залежно від виду матеріалу,

заходів із зимового утримування доріг, транспортного навантаження, типу лінії розмітки тощо. Дослідження у європейських країнах описані в [3].

Улаштування розмітки здійснюють різними матеріалами: фарбою, пластиками холодного та гарячого нанесення, попередньо сформованими виробами, полімерними стрічками, а в окремих спеціальних випадках — керамічною та клінкерною бруківкою, порцеляновою крихтою тощо [4 – 6].

Відповідно до [7] на стадії вхідного контролювання матеріалів для розмітки необхідно здійснювати перевіряння якісних характеристик шляхом проведення випробувань за фізико-механічними, технологічними, функціональними характеристиками.

У рамках проведення сертифікації матеріалів також проводиться оцінювання відповідності показників чинним нормативним документам.

Основна частина

На теперішній час в Україні оцінювання якісних характеристик матеріалів для дорожньої розмітки здійснюють відповідно до галузевих стандартів [8 – 11]:

— [8] установлює вимоги та методи випробування фарб за такими показниками: колориметричними (коефіцієнт яскравості, координати колірності), технологічними (умовна в'язкість, час висихання до ступеня 3, час висихання після якого можна відкривати рух, густина), фізико-механічними (еластичність, покривність, ступінь перетиру, адгезія), функціональними (зносостійкість за Табером, коефіцієнт зчеплення, стійкість до води, лугів та солей, зниження яскравості по бітуму тощо);

— [9] установлює вимоги та методи випробування пластиків, спрейпластиків гарячого та холодного нанесення за фізико-механічними (щільність, еластичність, адгезія), технологічними (час затвердіння до ступеня 3, в'язкість за Брукфільдом пластиків холодного нанесення, умовна в'язкість спрейпластиків холодного нанесення, розтікання пластиків гарячого нанесення), колориметричними (білизна, коефіцієнт яскравості, координати колірності) та функціональними характеристиками (морозостійкість, стійкість до води, лугів, солей, коефіцієнт зчеплення тощо);

— [10] установлює вимоги та методи випробування мікрокульок скляних світлоповертальних за зовнішнім виглядом, кольором, гранулометричним складом, коефіцієнтом заломлення скла, вмісту дефектів та чужорідних частинок, наявністю поверхневого оброблення;

— [11] установлює вимоги та методи випробування полімерних стрічок за світлоповертальними (коефіцієнт світлоповертання), колориметричними (білизна, коефіцієнт яскравості, координати колірності), функціональними характеристиками (морозостійкість, стійкість до води, лугів, солей, коефіцієнт зчеплення), фізико-механічними показниками (зовнішній вигляд, еластичність).

Відповідно до цих нормативних документів випробування матеріалів проводять за старими ГОСТами, які вже втратили чинність, а методики випробувань потребують перегляду.

У 2021 році набули чинності гармонізовані європейські стандарти щодо матеріалів для дорожньої розмітки [12 – 17].

[12] установлює класи якості за коефіцієнтами яскравості, світлоповертання та яскравості за розсіяного денного та штучного освітлення дорожньої розмітки як системи, що влаштована різними розмічальними матеріалами.

[13] установлює вимоги до таких характеристик матеріалів: ступінь суспензії і легкості перемішування, втрата маси після ущільнення, стійкість до старіння від ультрафіолетового випромінювання та втрата маси після його впливу, коефіцієнт яскравості, координати колірності, стійкість до лугів, розтікання (для фарб), термостійкість, холодостійкість і точка розм'якшення (для пластиків гарячого нанесення).

[14] описує методи випробування матеріалів для дорожньої розмітки, зокрема визначення густини, щільності, в'язкості, вмісту твердих речовин, органічних і неорганічних сполук, діоксиду титану, розчинника, золи, склокульок (для пластиків).

[15] описує метод випробування системи матеріалів на зношення на стенді для встановлення класів якості згідно з [12].

[16 – 17] установлюють вимоги до мікрокульок скляних світлоповертальних, які змішують з розміточним матеріалом та які посипають на поверхню свіжовлаштованого розміточного матеріалу. Показники мікрокульок, які нормують [10] та [16 – 17] майже однакові, виключенням є вимоги щодо визначення небезпечних речовин (миш'яку, свинцю та сурми) у гарманізованих стандартах. Для визначення вмісту небезпечних речовин у скляних мікрокульках еталонним методом є атомно-емісійна спектрометрія з індуктивно-зв'язаною плазмою, яка дозволяє вимірювання в мільйонних частках концентрацій заявлених елементів. Для прискореного аналізування хімічного складу виготовлених склокульок перед відвантаженням можна використовувати портативний чи стаціонарний рентгенофлуоресцентний аналізатор (X-Ray Fluorescence, XRF).

На сьогоднішній день українські лабораторії не укомплектовані необхідним обладнанням для проведення випробувань за показниками, які встановлюють європейські стандарти. Для переобладнання лабораторій необхідно закуповувати вартісне обладнання, зокрема: газову хроматографічну систему, камери для УФ старіння, віскозиметр Кребса-Стормера тощо. Особливо вартісним є стенд для випробування на зношування, вартість якого орієнтовно становить один млн євро. У зв’язку зі складною економічною ситуацією та в умовах обмеженого фінансового забезпечення не всі виробники та лабораторії можуть закупити необхідне обладнання.

Ураховуючи застарілість галузевих стандартів і неможливість працювати за європейськими нормами було прийняте рішення на перехідний період переглянути діючі галузеві стандарти щодо матеріалів для дорожньої розмітки та розробити національні стандарти, що будуть встановлювати технічні вимоги до матеріалів та методів їх випробування, які будуть прийнятними для українських виробників і лабораторій, з урахуванням вимог нормативно-правових актів, будівельних норм, нормативних документів та передового світового досвіду.

Під час розроблення національних стандартів проводилися паралельні лабораторні дослідження та обговорення і з виробниками матеріалів для дорожньої розмітки щодо уточнення показників, зміни методів випробування, використання більш сучасного обладнання, введення інших показників для кращого проведення оцінювання якості матеріалів. Окрім цього, також були звернення до європейських спеціалістів щодо окремих питань з випробувань склокульок. Аналізувались американські, австралійські нормативні документи [18 – 24], а також технічні специфікації матеріалів різних країн з метою глибшого вивчення властивостей матеріалів.

За результатами проведеної роботи було внесено ряд змін за різними показниками.

Одним із основних показників, який визначає денну видимість розмітки є коефіцієнт яскравості. Відповідно до [25] цей показник встановлено тільки для білого та жовтого кольорів, але для дорожньої розмітки використовують також фарби інших кольорів – червону, синю, тому було введено вимоги за коефіцієнтом яскравості *(β)* й для цих кольорів (**табл. 1**). Для фарб різних кольорів також було введено вимоги за координатами колірності (**табл. 1**). Вимоги за коефіцієнтом яскравості *(β)* та координатами колірності для пластиків, спрейпластиків гарячого та холодного нанесення ідентичні.

Таблиця 1

Призначення фарби	Колір	Позначення координат	Координати колірності для кутових точок				Коефіцієнт яскравості *(β)*	
			1	2	3	4	Клас	Вимога
Для влаштування постійної дорожньої розмітки	Білий	*x* *y*	0,355 0,355	0,305 0,305	0,285 0,325	0,335 0,375	LF5 LF6 LF7	Не менше ніж 0,75 Не менше ніж 0,80 Не менше ніж 0,85
	Жовтий	*x* *y*	0,545 0,455	0,443 0,399	0,389 0,431	0,465 0,535	LF1 LF2	Не менше ніж 0,40 Не менше ніж 0,50

Кінець таблиці 1

Призначення фарби	Колір	Позначення координат	Координати колірності для кутових точок				Коефіцієнт яскравості *(β)*	
			1	2	3	4	Клас	Вимога
Для влаштування постійної дорожньої розмітки	Червоний	*x* *y*	0,480 0,300	0,690 0,315	0,620 0,380	0,480 0,360	—	Від 0,06 до 0,15
	Синій	*x* *y*	0,105 0,100	0,220 0,180	0,200 0,260	0,060 0,220	—	Від 0,05 до 0,14
Для влаштування тимчасової дорожньої розмітки	Жовтий	*x* *y*	0,545 0,455	0,494 0,427	0,427 0,483	0,465 0,535	LF1 LF2	Не менше ніж 0,40 Не менше ніж 0,50

За спостереженнями фахівців на автомобільних дорогах існує проблема зниження яскравості дорожньої розмітки за рахунок налипання пилу та бруду.

Виробники матеріалів для дорожньої розмітки, намагаючись підвищити стійкість своїх матеріалів до зносу, додають спеціальний пігмент, що має властивість «липкості», навіть якщо матеріал висихає, підвищується брудоутримання.

Така проблема спостерігається особливо на вулицях м. Києва, де фарбу наносять без склокульок.

Фахівці ДП «НІРІ» проводили заміри коефіцієнтів яскравості *(β)* на деяких вулицях м. Києва на існуючій дорожній розмітці, а також після її очищення (**рис. 1**).



Рисунок 1 — Визначення коефіцієнтів яскравості *(β)* на очищеній дорожній розмітці

Після очищення в середньому значення коефіцієнтів яскравості *(β)* вищі на (35 – 45) %.

Для перевіряння зниження яскравості у лабораторних умовах проводились дослідження на зразках фарб та пластиків щодо оцінювання стійкості до впливу бруду.

На пластини наносили аплікатором фарбу або пластик. Через 1 год з моменту нанесення фарби та через 2 год з моменту нанесення пластику вимірювали коефіцієнт яскравості *(β)*. За результат вимірювань приймали середнє арифметичне значення не менше ніж п’яти визначень.

Через 3 години з моменту нанесення на перші дві пластини за допомогою сита наносили пил із розрахунку 60 г/м^2 таким чином, щоб уся поверхня пластин була вкрита рівномірним шаром. Відразу після нанесення пилу на поверхню пластин, по кожній із двох пластин прокочували колесом 20 разів по 1 проходу (**рис. 2**).



Рисунок 2 — Зразок із нанесеним пилом

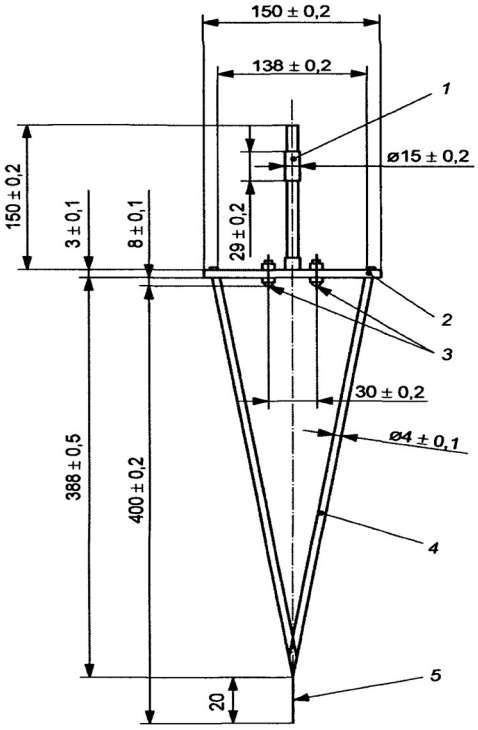
Через 10 хв пластини обдували струменем стисненого повітря під тиском 1 кг/см² на відстані (25 ± 5) см. Далі вимірювали коефіцієнт яскравості *(β)* кожної з двох пластин. За результат вимірювання приймали середньоарифметичне значення не менше п'яти визначень для кожної пластини.

Наступним кроком дослідження було зволоження зразків, з цією метою на пластини виливали 100 мл води з відстані (20 – 25) см протягом 10 с. Пластини висушували та вимірювали коефіцієнт яскравості *(β)*.

Випробування повторювали через 1, 2, 3 та 4 доби з моменту висихання матеріалів. Результати досліджень показали, що найбільше налипання пилу та зниження коефіцієнта яскравості *(β)* відбувається у перші години після нанесення матеріалів.

Враховуючи отримані результати, у нові нормативні документи було введено показник — зниження коефіцієнта яскравості після впливу дорожнього пилу.

Було уточнено вимоги до твердості плівки фарб, оскільки відповідно до [26] твердість за маятником Кеніга (**рис. 3**) вимірюють як період коливань у секундах.



1 — противага;
2 — поперечина завширшки (12 ± 1) мм;
3 — кульки діаметром (5 ± 0,005) мм;
4 — рамка;
5 — наконечник.

Рисунок 3 — Маятник Кеніга

За рядом показників (еластичність, адгезія, густина, твердість, співвідношення товщини сформованого покриття до товщини рідкого шару фарби) вимоги до матеріалів, які використовують для постійної дорожньої розмітки, були посилені з метою забезпечення необхідної функціональної довговічності розмітки.

На вимогу виробників для оперативного та швидкого визначення в'язкості пластиків холодного нанесення (навіть у польових умовах) було додано показник — текучість за Даніелем. Метод полягає у вимірюванні відстані на градуйованій пластині приладу (**рис. 4**), на яку розтікається зразок пластику холодного нанесення за 60 с.



Рисунок 4 — Прилад для визначення текучості за Даніелем

Для полімерних стрічок були введені вимоги за коефіцієнтом світлоповертання за умов зволоження та умов дощу. Встановлені класи за коефіцієнтами світлоповертання та яскравості за розсіяного денного та штучного освітлення були узгоджені з європейськими вимогами.

У нових стандартах також встановлені вимоги до матеріалів, які використовуються для улаштування тимчасової дорожньої розмітки та демаркування.

Висновки

Ураховуючи багаторічний досвід і результати лабораторних випробувань і досліджень матеріалів для дорожньої розмітки, а також враховуючи досвід і результати аналізу нормативних і технічних документів зарубіжних країн були розроблені нові національні стандарти щодо технічних вимог і методів випробування матеріалів на заміну діючим галузевим стандартам. Розроблені нормативні документи стануть підґрунтям для подальшої інтеграції України в європейський простір щодо встановлення вимог до якості дорожньої розмітки, а українські виробники та лабораторії, зокрема органів оцінки відповідності, нормативну базу для проведення якісного оцінювання та сертифікації відповідних матеріалів.

Список літератури

1. Craig W. N., Sitzabee W. E., Rasdorf W. J., Hummer J. E. Statistical validation of the effect of lateral line location on pavement marking retroreflectivity degradation. Public Works Management and Policy. *United States*, 2007. No. 12 (2), P. 431–450. DOI: https://doi.org/10.1177/1087724X07308773 .

2. Migletz J., Graham J., Harwood D., Bauer K. Service life of durable pavement markings. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board.* United States, 2001. No. 1749 (1), P. 13-21. DOI: https://doi.org/10.3141/1749-03 .

3. Babić D., Ščukanec A., Fiolić M. Model for Predicting Road Markings Service Life. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. *Lithuania*, 2019. No. 14 (3), P. 341–359. DOI: https://doi.org/10.7250/bjrbe.2019-14.447 .

4. Babić D., Burghardt T. Application and characteristics of waterborne road marking paint. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*. Serbia, 2015. No. 5. P. 150–169. DOI: https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5(2).06.

5. Гостєв Ю. Г., Румянцев Л. Ю., Фощ І. В., Крутрульова Т. Є. Функціональна довговічність дорожньої розмітки та якість розмічального матеріалу. *Дорожня галузь України*. Київ, 2011. № 3. С. 72–74.

6. Гостєв Ю. Г., Румянцев Л. Ю., Фощ І. В., Крутрульова Т. Є. Сучасні вимоги щодо застосування пластиків, полімерних стрічок, мікрокульок скляних світлоповертальних для горизонтальної розмітки автомобільних доріг. Автошляховик України. Київ, 2012. № 5. С. 42–48.

7. ДСТУ-Н Б В.2.3-37:2016 Настанова з влаштування горизонтальної дорожньої розмітки. Київ. 2016. 23 с. (Інформація та документація).

8. СОУ 42.1-37641918-116:2014 Фарба для горизонтальної розмітки автомобільних доріг. Технічні вимоги та методи випробовування. Київ. 2014. 30 с. (Інформація та документація).

9. СОУ 42.1-37641918-090:2012 Пластики, спрей-пластики холодного та гарячого нанесення для горизонтальної розмітки автомобільних доріг. Технічні вимоги та методи випробування. Київ. 2012. 30 с. (Інформація та документація).

10. СОУ 42.1-37641918-089:2012 Мікрокульки скляні світлоповертальні для горизонтальної розмітки автомобільних доріг. Технічні вимоги та методи випробовування. Київ, 2012. 36 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. ДСТУ EN 1436:2020 (EN 1436:2018, IDT) Матеріали дорожньої розмітки. Експлуатаційні властивості матеріалів для розмітки та методи випробувань. Київ, 2021. 24 с. (Інформація та документація).

13. ДСТУ EN 1871:2021 (EN 1871:2000, IDT) Матеріали дорожньої розмітки. Фізичні властивості. Київ, 2021. 32 с. (Інформація та документація).

14. ДСТУ EN 12802:2021 (EN 12802:2011, IDT) Матеріали дорожньої розмітки. Лабораторні методи ідентифікації. Київ, 2021. 27 с. (Інформація та документація).

15. ДСТУ EN 13197:2021 (EN 13197:2011 + A1:2014, IDT) Матеріали дорожньої розмітки. Поворотний стенд для випробування на зношення. Київ. 2021. 23 с. (Інформація та документація).

16. ДСТУ EN 1423:2019 (EN 1423:2012; AC:2013, IDT) Матеріали дорожньої розмітки. Мікрокульки скляні, наповнювачі протиковзні та суміші з них для нанесення на поверхню. Київ, 2021. 55 с. (Інформація та документація).

17. ДСТУ EN 1424:2021 (EN 1424:1997; A1:2003, IDT) Матеріали дорожньої розмітки. Мікрокульки скляні для попереднього змішування з матеріалом для дорожньої розмітки. Київ, 2021. 8 с. (Інформація та документація).

18. AASHTO M 248-91 (2012) Standard specification for ready-mixed white and yellow traffic paints. United States. 2012. 6 p.

19. ASTM D6628-23 Standard specification for color of pavement marking materials. United States. 2023. 6 p. URL: https://www.astm.org/d6628-23.html (дата звернення 13.08.2023).

20. AASHTO M 247:2013 Specification for glass beads used in pavement markings. United States. 2013. 4 p.

21. AS 4049.1-2005 Paints and related materials. Pavement marking materials. Part 1: Solvente-borne paint. For use with surface applied glass beads. Sydney. 2005. 46 p.

22. AS 4049.2-2005 Paints and related materials. Pavement marking materials. Part 2: Thermoplastic pavement marking materials. For use with surface applied glass beads. Sydney. 2005. 58 p.

23. AS 4049.3-2005 Paints and related materials. Pavement marking materials. Part 3: Waterborne paint. For use with surface applied glass beads. Sydney. 2005. 50 p.

24. AS 4049.4-2006 Paints and related materials. Pavement marking materials. Part 4: High performance pavement marking systems. Sydney. 2005. 50 p.

25. ДСТУ 2587:2021 Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні умови. Київ. 2021. 102 с. (Інформація та документація).

26. ДСТУ EN ISO 1522:2024 (EN ISO 1522:2022, IDT; ISO 1522:2022, IDT) Фарби та лаки. Визначення твердості за маятниковим приладом. Київ. 2024. 12 с. (Інформація та документація).

References

1. Craig W. N., Sitzabee W. E., Rasdorf W. J., Hummer J. E. Statistical validation of the effect of lateral line location on pavement marking retroreflectivity degradation. *Public Works Management and Policy*. United States, 2007. No. 12 (2), P. 431–450. DOI: https://doi.org/10.1177/1087724X07308773 [in English].

2. Migletz J., Graham J., Harwood D., Bauer K. Service life of durable pavement markings. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*. United States, 2001. No 1749 (1), P. 13-21. DOI: https://doi.org/10.3141/1749-03 [in English].

3. Babić D., Ščukanec A., Fiolić M. Model for Predicting Road Markings Service Life. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. Lithuania, 2019. No. 14 (3), P. 341–359. DOI: https://doi.org/10.7250/bjrbe.2019-14.447 [in English].

4. Babić D., Burghardt T. Application and characteristics of waterborne road marking paint. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*. Serbia, 2015. No. 5. P. 150–169. DOI: https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5(2).06 [in English].

5. 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. No. 3. P. 72–74 [in Ukrainian].

6. 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 dorig. Avtoshlyahovik Ukrayini. Kyiv, 2012. No. 5. P. 42–48 [in Ukrainian].

7. State Standart of Ukraine DSTU N B V.2.3-37:2016 Nastanova z vlashtuvannia horyzontalnoi dorozhnoi rozmitky (Guide arrangement horizontal road marking). Kyiv, 2016. 23 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

8. SOU 42.1-37641918-116:2014 Farba dlya gorizontalnoyi rozmitki avtomobilnih dorig. Tehnichni vimogi ta metodi viprobovuvannya [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 42.1-37641918-090:2012 Plastyky, sprei-plastyky kholodnoho ta hariachoho nanesennia dlia horyzontalnoi rozmitky avtomobilnykh dorih. Tekhnichni vymohy ta metody vyprobuvannia [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].

10. SOU 42.1-37641918-089:2012 Mikrokulky skliani svitlopovertalni dlia horyzontalnoi rozmitky avtomobilnykh dorih. Tekhnichni vymohy ta metody vyprobovuvannia [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].

11. SOU 42.1-37641918-088:2012 Strichky polimerni dlia horyzontalnoi rozmitky avtomobilnykh dorih. Tekhnichni vymohy ta metody vyprobuvannia [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. State Standart of Ukraine DSTU EN 1436:2020 (EN 1436:2018, IDT) Materialy dorozhnoi rozmitky. Ekspluatatsiini vlastyvosti materialiv dlia rozmitky ta metody vyprobuvan (Road marking materials. Road marking performance for road users and test methods). Kyiv, 2021. 24 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

13. State Standart of Ukraine DSTU EN 1871:2021 (EN 1871:2000, IDT) Materialy dorozhnoi rozmitky. Fizychni vlastyvosti (Road marking materials. Physical properties). Kyiv. 2021. 32 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

14. State Standart of Ukraine DSTU EN 12802:2021 (EN 12802:2011, IDT) Materialy dorozhnoi rozmitky. Fizychni vlastyvosti (Road marking materials. Laboratory methods for identification). Kyiv, 2021. 32 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
15. State Standart of Ukraine DSTU EN 13197:2021 (EN 13197:2011 + A1:2014, IDT) Materialy dorozhnoi rozmitky. Povorotnyi stend dlia vyprobuvannia na znoshennia (Road marking materials. Wear simulator turntable). Kyiv, 2021. 23 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
16. State Standart of Ukraine DSTU EN 1423:2019 (EN 1423:2012; AC:2013, IDT) Materialy dorozhnoi rozmitky. Mikrokulky skliani, napovniuvachi protykovzni ta sumishi z nykh dlia nanesennia na poverkhniu (Road marking materials. Drop on materials. Glass beads, antiskid aggregates and mixtures of the two). Kyiv, 2021. 55 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
17. State Standart of Ukraine DSTU EN 1424:2021 (EN 1424:1997; A1:2003, IDT) Materialy dorozhnoi rozmitky. Mikrokulky skliani dlia poperednoho zmishuvannia z materialom dlia dorozhnoi rozmitky (Road marking materials. Premix glass beads). Kyiv, 2021. 8 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
18. AASHTO M 248-91 (2012) Standard specification for ready-mixed white and yellow traffic paints. United States. 2012. 6 p. [in English].
19. ASTM D6628-23 Standard specification for color of pavement marking materials. United States. 2023. 6 p. URL: https://www.astm.org/d6628-23.html (Last accessed 13.08.2024) [in English].
20. AASHTO M 247:2013 Specification for glass beads used in pavement markings. United States. 2013. 4 p. [in English].
21. AS 4049.1-2005 Paints and related materials. Pavement marking materials. Part 1: Solvente-borne paint. For use with surface applied glass beads. Sydney. 2005. 46 p. [in English].
22. AS 4049.2-2005 Paints and related materials. Pavement marking materials. Part 2: Thermoplastic pavement marking materials. For use with surface applied glass beads. Sydney. 2005. 58 p. [in English].
23. AS 4049.3-2005 Paints and related materials. Pavement marking materials. Part 3: Waterborne paint. For use with surface applied glass beads. Sydney. 2005. 50 p. [in English].
24. AS 4049.4-2006 Paints and related materials. Pavement marking materials. Part 4: High performance pavement marking systems. Sydney. 2005. 50 p. [in English].
25. State Standart of Ukraine DSTU 2587:2021 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Rozmitka dorozhnia. Zahalni tekhnichni umovy (Road safety. Road markings. General Specifjcations). Kyiv. 2021. 102 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
26. State Standart of Ukraine DSTU EN ISO 1522:2024 (EN ISO 1522:2022, IDT; ISO 1522:2022, IDT) Farby ta laky. Vyznachennia tverdosti za maiatnykovym pryladom (Paints and varnishes - Pendulum damping test). Kyiv. 2024. 12 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Liudmyla Nahrebelna, *Ph.D. in Transport Technology, https://orcid.org/0000-0002-5615-9075*
Tetyana Kostrulyova, *https://orcid.org/0000-0002-9554-1285*
Denis Shpin, *https://orcid.org/0000-0003-0779-5558*
Alina Korchevskaya, *https://orcid.org/0000-0001-8245-9891*

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

USE OF REGULATORY DOCUMENTS REGARDING MATERIALS FOR HORIZONTAL ROAD MARKINGS

Abstract

Introduction. Horizontal road markings are a crucial element of road safety, traffic organization and flow management. They also enhance the road's capacity by more than 20 % and reduce the number of road traffic accidents.

The modern development of the road sector is characterized by increasing demands on road markings. Today, the choice of materials for road markings is vast and includes: paints, cold and hot-applied plastics, polymer tapes, pre-formed products, retroreflective glass microbeads, and more. Each material has a unique set of properties related to durability, retroreflectivity, application cost, and life cycle.

Problem Statement. The expanded range of materials complicates the selection process for road markings. The choice must account for various factors, including the type of marking, road conditions (curves in plan, intersections, roads with high traffic volume, etc.), road surface material, and its roughness.

To select the proper materials for road markings, road traffic load level and expected service life must be considered.

To make an optimal choice, it is essential to test the quality characteristics of materials through evaluations of their physical-mechanical, technological, and functional properties.

Objective. Based on the analysis of regulatory documents regarding the technical requirements and testing methods for road marking materials, the study aims to identify problematic issues and ways to resolve them.

Materials and Methods. The study involves an analysis of regulatory documents concerning the technical requirements and testing methods for road marking materials.

Results. The technical requirements and testing methods for road marking materials specified in current regulatory documents were reviewed. The study outlines key changes regarding individual indicators and testing methods in the drafts of new regulatory documents.

Conclusions. The developed standards serve as a transitional phase from outdated sectoral standards to European ones. These standards can be used by Ukrainian manufacturers and research laboratories equipped to conduct quality assessments and certification of road marking materials.

Keywords: road marking, road marking material, retroreflective glass microbeads, hot-applied plastic, cold-applied plastic, paint.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.380

УДК 656.1

Осипов В. О., *канд. техн. наук, доц., https://orcid.org/0000-0001-9284-7919*

Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА), м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗОРОВИХ ОРІЄНТОВНО-ПОШУКОВИХ РУХІВ ВОДІЯ НА ПРИКЛАДІ СВІТЛОПОВЕРТАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДОРОЖНЬОЇ ОГОРОЖІ ПЕРШОЇ ГРУПИ В НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ

Анотація

Вступ. Вивчення закономірностей взаємодії підсистем системи Водій-Автомобіль-Дорога-Середовище дають змогу дослідникам знаходити нові критерії, які мають вплив на роботу системи. Одним із значущих чинників є взаємодія підсистеми Водій із підсистемою Дорога.

Проблематика. Як відомо, візуальний пошук [1] — це процес зорового або технічного спостереження (обстеження) простору, якій має на меті виявити об'єкт — предмет пошуку. Залежно від дорожньої ситуації пошук передбачає, що об'єкт небезпеки з'явиться в очікуваному просторі або часі. Та часто візуальне спостереження проводиться з метою переконатися у відсутності потенційних небезпек. Таким чином, функція водія під час руху — постійний візуальний моніторинг дорожніх умов [2], параметри яких і буде досліджено.

Мета. Пошук способів оцінювання можливостей водіїв своєчасно знаходити небезпеки та адекватно оцінювати їхній рівень для прийняття відповідних управлінських рішень в умовах перенавантаження інформацією на дорогах населених пунктів.

Матеріали і методи. У рамках вивчення проблематики зроблено аналіз публікацій закордонних і вітчизняних дослідників [3 – 7], які присвячені проблемі зорового пошуку небезпек водіями транспортних засобів, пілотами літальних апаратів та авторські напрацювання із цієї проблематики [8 – 10].

Результати. Розглянуто проблему візуального пошуку водієм потенційних небезпек у процесі руху вулицями та дорогами населених пунктів. Досліджено психологічний темп водія, а саме швидкості зорових орієнтовно-пошукових рухів на прикладі світлоповертального елемента дорожньої огорожі першої групи. У рамках роботи реалізовано алгоритм знаходження респондентами об'єктів потенційної небезпеки на анкетах-фотознімках.

Висновки. Спираючись на отримані результати можна говорити про певну залежність впливу швидкості зорового пошуку небезпек водіями транспортних засобів на зниження коефіцієнта аварійності. Впроваджені вже на сьогодні інженерні заходи у м. Києві дають змогу проводити повноцінні дослідження їхнього впливу на стримування швидкості руху.

Ключові слова: водій, дорожні умови, небезпека, предмет пошуку.

Вступ

Вивчення закономірностей взаємодії підсистем системи Водій-Автомобіль-Дорога-Середовище дають змогу дослідникам знаходити нові критерії, які мають вплив на роботу системи. Одним із значущих чинників є взаємодія підсистеми Водій із підсистемою Дорога. Як відомо, візуальний пошук [1] — це процес зорового або технічного спостереження обстеження простору, якій має на меті виявити об'єкт — предмет пошуку. Залежно від дорожньої ситуації пошук передбачає, що об'єкт небезпеки з'явиться в очікуваному просторі або часі. Та часто візуальне спостереження проводиться з метою переконання у відсутності потенційних небезпек. Таким чином, функція водія під час руху — постійний візуальний моніторинг дорожніх умов [2], параметри яких і буде досліджено.

Основна частина

Зір водія є основоположним при моніторингу дорожніх умов в процесі руху, всі інші неоптичні органи є другорядними.

До безсумнівних переваг зору водія ми можемо віднести:

— надвисока щільність зору (біля 1′ неозброєного ока);

— робота зору в широкому охваті насиченості (L = 10-6-104 кд/м^2, здатність очей до оперативної переадаптації);

— можливість зору виконувати роботу в достатньому спектрі сприйняття кольоровості 380-760 нм;

— світлова чутливість очей (абсолютний поріг 10-9 лк);

— ідентифікація об’єктів, які здійснюють рух;

— потенціал водія до розвитку навичок;

— аналітичний потенціал та вміння концентруватися тощо.

Окрему нішу займають негативні здібності організму людини:

— знемога;

— психофізіологічний стан;

— низька реакція.

Відомі два види зорового пошуку — повільний, при якому водій сам обирає, як, скільки та як часто він буде робити зоровий моніторинг дорожньої обстановки, та організований, коли водій виконує моніторинг у чіткій послідовності, яка обумовлена наявністю на дорозі технічних засобів регулювання дорожнім рухом, на які водій реагує типовими діями [11].

Який із цих двох способів буде використовувати водій — не має принципового значення, головний результат — своєчасне виявлення небезпеки; як найпростіша задача та більш складна — визначення рівня небезпеки та прийняття відштовхуючись від цього адекватного за складністю рішення. На цей вид виявлення небезпеки має суттєвий вплив кліматичний і часовий фактор, цей аспект потребує окремого дослідження.

Подекуди дослідники використовують термін «примусовий пошук» коли рівень та якість виявлення небезпек напряму залежить від швидкості подачі та зорового опрацювання інформаційного потоку водієм.

Вірогідність виявлення небезпечних об’єктів визначають за формулою [12]:

$$P_n = 1 - \exp\left(\frac{c \cdot \varepsilon^2 \cdot \gamma^3 \cdot L_{\Phi}^{0,3} \cdot t}{(2 \cdot \beta)^2}\right), \quad (1)$$

де P_n — вірогідність виявлення небезпечного об’єкта;

c — коефіцієнт, який показує рівень навичок водія:

ε — рівень контрасту дорожньої обстановки по відношенню до місцевості;

γ — кутові розміри небезпечного об’єкта у хвилинах, що знаходяться:

$$\gamma = 3440 \cdot \frac{l}{R}, \quad (2)$$

де l — габарити об’єкта небезпеки;

R — об’єктивна відстань до об’єкта небезпеки;

2β — кутовий розмір поля пошуку, град;

t — час пошуку.

Вірогідність виявлення окремих об’єктів небезпеки:

$$P_T = 1 - \exp . \left(\frac{a \cdot E^2 \cdot t}{(2 \cdot \beta)^2 \cdot L^{2 \cdot n}} \right), \quad (3)$$

де P_T — вірогідність виявлення об’єкта небезпеки водієм;
a — коефіцієнт, який характеризує зоровий рівень водія:
a_A (бінокулярний) = $2{,}6 \cdot 10^{14}$;
a_j (монокулярний) = $1{,}8 \cdot 10^{14}$;
E — блиск точкового джерела (освітленість на зіниці ока водія);
n — визнача.ть за формулою Гершуна [2]:

$$n = 0{,}6 + 0{,}1 \cdot lgL_{ф.} . \quad (4)$$

У психології про вибіркову увагу говорять, коли мають на увазі діяльність, пов’язану з виконанням будь-яких змістовних об’єктів із фону. Для дослідження психічного темпу водія, а саме швидкості зорових орієнтовно-пошукових рухів на прикладі світлоповертального елемента дослідники-психологи окрім інших пропонують застосовувати таблиці Шульге [13], (**рис. 1**) або їхні аналоги, де в довільному порядку розташовані числа від 1 до 25.

21	12	7	1	20
6	15	17	3	18
19	4	8	25	13
24	2	22	10	5
9	14	11	23	16

а

9	5	11	23	20
14	25	17	19	13
3	21	7	16	1
18	12	6	24	4
8	15	10	2	22

б

22	25	7	21	11
6	2	10	3	23
17	12	15	5	18
1	16	20	9	24
19	13	4	14	8

в

14	18	7	24	21
22	1	10	9	6
16	5	8	20	11
23	2	25	3	15
19	13	17	12	4

г

5	14	12	23	2
18	25	7	24	13
11	3	20	4	16
6	10	19	22	1
21	15	9	17	8

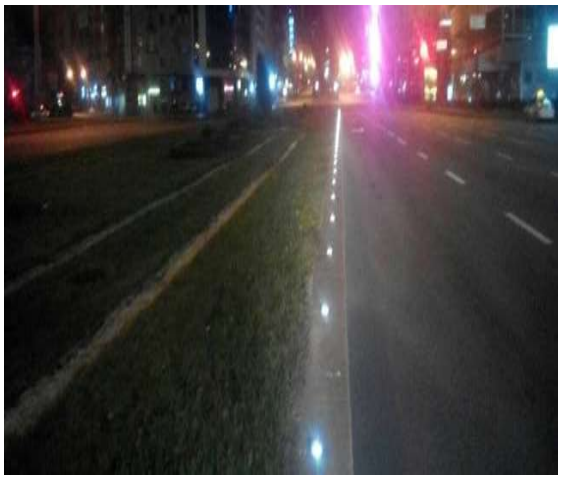
д

Рисунок 1 — Таблиці Шульге

Для оцінювання адекватності роботи вибраних класифікаторів у рамках роботи запропоновано та реалізовано алгоритм знаходження респондентами об’єктів потенційної небезпеки, а саме світлоповертальних елементів дорожньої огорожі першої групи за допомогою спеціально підготовлених анкет-фотознімків (**рис. 2**) [14]. Алгоритм знаходження небезпек показано на **рис. 3**.



а)



б)



в)



г)



д)



е)

Рисунок 2 — Зразок картки

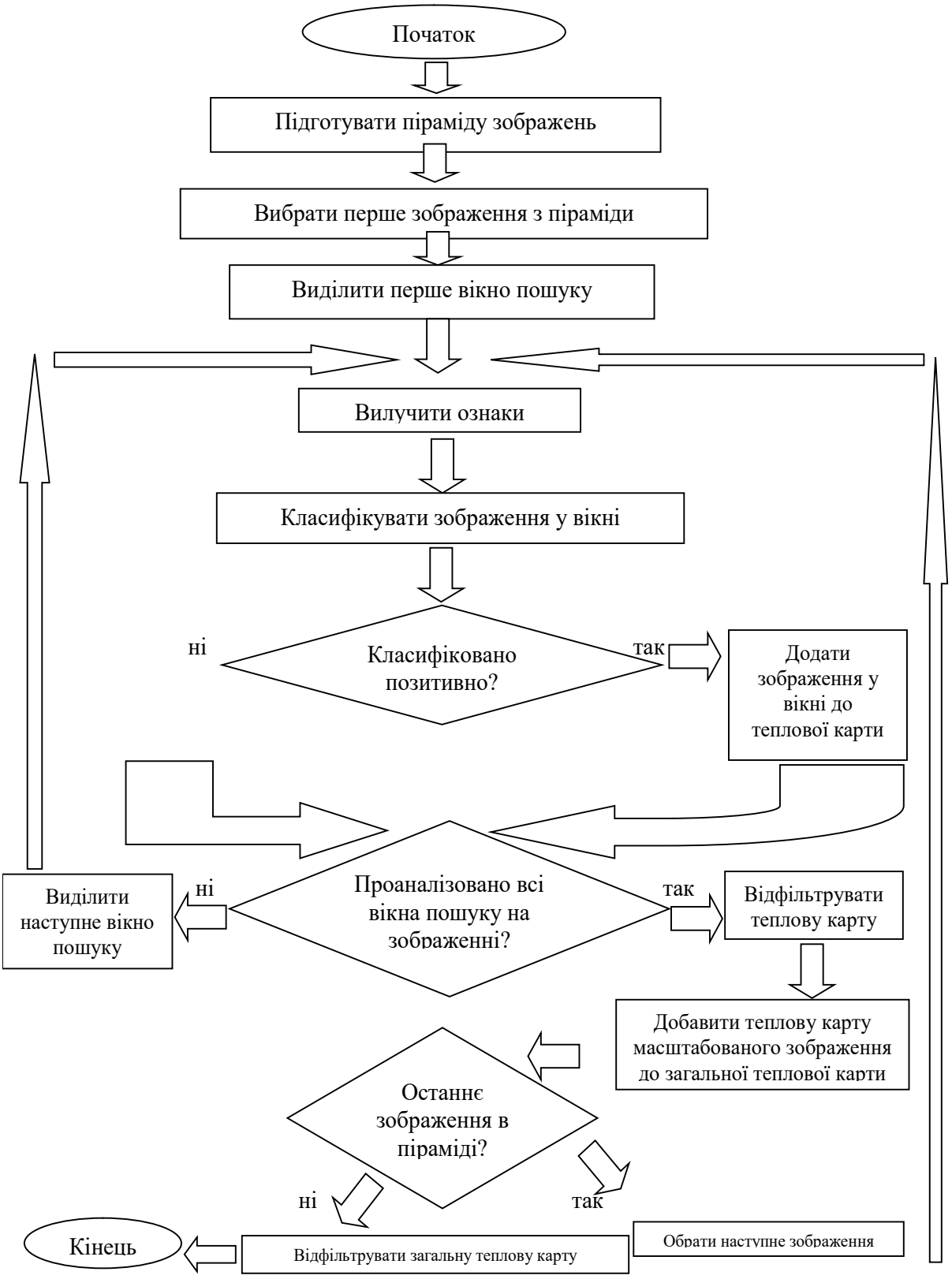


Рисунок 3 — Алгоритм знаходження об'єктів потенційної небезпеки

За задумом автора необхідно у кожній таблиці від *а* до *д* відшукати по порядку всі числа; час який витрачено на пошук, контролюють за секундоміром. Людина (водій) з високим рівнем уваги витрачає на пошук чисел в одній таблиці від 25 до 30 секунд.

За аналогією таблиць було підготовлено експертні картки для водіїв з імітацією різних типів реальних дорожніх ситуацій, еталонним заміром визначено результат, який показав на картках з шістьма різноманітними дорожніми ситуаціями у кожній професійний водій 1 класу зі стажем роботи 20 років, віком 42 роки о 08.00 ранку (понеділок). Результат склав 5 секунд.

Всього в експерименті було залучено 31 респондент віком від 22 до 45 років (студенти вишів, водії-любителі тощо). Опитування проводили протягом тижня (понеділок – п'ятниця), середина дня. Після початку відліку часу об'єкт дослідження вишукує на першій картці заданий елемент (у даному випадку — світлоповертач), без перерви переходить до пошуку об'єкта на другу картку і так послідовно до останньої картки. Задача полягає в тому, щоб як найшвидше знайти заданий елемент на картці — створюється штучна імітація пошуку водієм-респондентом небезпек на дорозі в умовах руху. Задача контролера — слідкувати за правильністю пошуку елементів, відслідковувати час, який затрачено на пошук по кожній картці. Після тестування респондент заносить отримані результати до таблиці (**табл. 1**).

Таблиця 1

Данні тестування, респондент 1 (зразок)

Таблиця 1	Час
Рис. а	1,5
Рис. б	1,0
Рис. в	1,0
Рис. г	2,0
Рис. д	2,0
Рис. е	1,0

Загальна 8,5

На основі отриманих результатів будується гістограма часу зорових орієнтовно-пошукових рухів по кожному тесту (**рис. 4**) та складаються усереднені результати тестування, **рис. 5**.

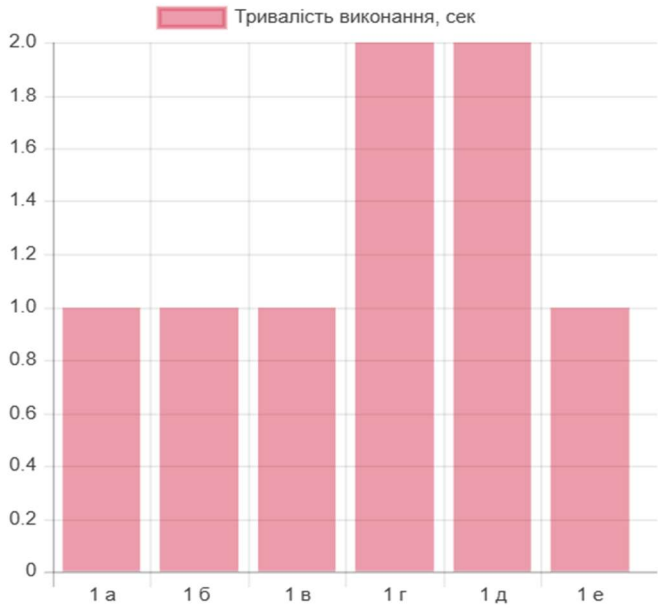


Рисунок 4 — Гістограма тривалості зорових орієнтовно-пошукових рухів

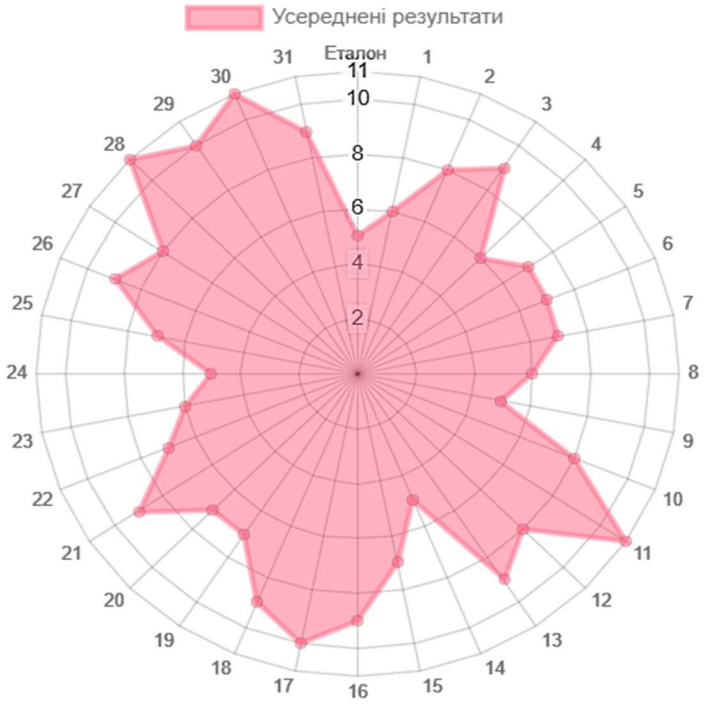


Рисунок 5 — Узагальнені (середні) результати тестування

Висновки

Складності у пошуку окремих об'єктів, як правило, говорять про нерівномірність темпу психічної діяльності водія. Збільшення часу на пошук елементів небезпеки згідно таблиці говорять про початок втомленості, астенію нервової системи. Отримані результати є доволі різними, відрив від еталона складає у максимумі 2,2 рази. Це може говорити про те, що рівень фізичних можливостей, підготовки водіїв значно різниться, це потрібно враховувати у подальшій роботі, як один із чинників роботи підсистеми Водій у системі Водій-Автомобіль-Дорога-Середовище. Спираючись на отримані результати можна говорити про певну залежність впливу швидкості зорового пошуку небезпек водіями транспортних засобів на зниження коефіцієнта аварійності. Впроваджені вже на сьогодні інженерні заходи у м. Києві дають змогу проводити повноцінні дослідження щодо їхнього впливу на стримування швидкості руху.

Список літератури

1. Shapiro, Linda; George Stockman (2001). Computer Vision. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. ISBN 0-13-030796-3.

2. Системи та комплекси електросвітлотехнічного забезпечення польотів : навч. посіб. / уклад. : Ю. М. Квач, А. П. Колотюк. Київ, 2012. 160 с.

3. Осипов В. О. Питання підвищення безпеки руху за рахунок використання нових світлоповертальних елементів. *Вісник Національного транспортного університету.* Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. Випуск 1 (46), 2020. С. 253–263. DOI: https://doi.org/10.33744/2308-6645-2020-1-46-253-263.

4. Петров В. В. Світлоповертання: проблеми та досягнення. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2008. Т. 10, № 1. С. 3–15.

5. Ю. М. Квач, А. П. Колотюк. Системи та комплекси електросвітлотехнічного забезпечення польотів : навч. посіб. Київ, 2012. 160 с.

6. Кужель В. П. Вплив контрасту об'єкта розрізнення з фоном на видимість дорожньої обстановки в світлі автомобільних фар. *Вісник СНУ імені Володимира Даля*. 2009. № 11 (141). С. 118–122.

7. Жук М. М., Бойків М. В., Пострaнський Т. М. Період настання сутінок, як чинник впливу на функціональний стан водія. *Наукові нотатки*. 2014. № 46. С. 182–185.

8. Осипов В. О., Мельниченко О. І. Удосконалення методу оцінки безпеки дорожнього руху на окремих ділянках автомобільних доріг: монографія. НТУ, 2019. 172 с.

9. Осипов В. О. Безпека дорожнього руху: технічні засоби та інженерне облаштування: навчальний посібник. Луганськ, 2014. 192 с.

10. Пат. На промисловий зразок № 39167 Україна МКПЗ 10-06. Світлоповертальний елемент на транспортне огородження / заявник та патентовласник Комунальна корпорація «Київавтодор". s201801608 заявл. 06.06.2018; публікація 10.05.2019. Бюл. № 9.

11. Melnichenko O. Scoring method of evaluating road safety as part of management. *Periodyk Naukowy Akademii Polonijnej*, Częstochowa (PNAP), 2023, Vol. 61, No. 6. P. 195–202. DOI: https://doi.org/10.23856/6124.

12. Gusteliev O. Implement technicalsolutions for road safety. The IV International Scientific and Practical Conference "Science, practice and theory", February 1 – 4, 2022, Tokyo, Japan. P. 533–535.

13. Козляковський П. А. Загальна психологія: навч. посібник: В 2 т. 2-ге вид. Т. ІІ. Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. П. Могили, 2004. 240 с.

14. Ткаченко І. О. Ризики у транспортних процесах : навч. Харків : ХНУМГ ім. О. Бекетова, 2017. 114 с.

References

1. Shapiro, Linda; George Stockman (2001). Computer Vision. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. ISBN 0-13-030796-3 [in English].

2. Systemy ta kompleksy elektrosvitlotekhnichnoho zabezpechennia polotiv (Systems and complexes of electro-light technical support of flights: training. manual): navch. posib. / uklad. : Yu. M. Kvach, A. P. Kolotiuk. Kyiv, 2012. 160 p. [in English].

3. Osypov V. O. Pytannia pidvyshchennia bezpeky rukhu za rakhunok vykorystannia novykh svitlopovertalnykh elementiv (The question of increasing traffic safety due to the use of new light-reflecting elements). *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu.* Seriia «Tekhnichni nauky». Naukovo - tekhnichnyi zbirnyk. Vypusk 1 (46), 2020. P. 253–263. DOI: https://doi.org/10.33744/2308-6645-2020-1-46-253-263 [in English].

4. Petrov V. V. Svitlopovertannia: problemy ta dosiahnennia (Light reflection: problems and achievements). *Reiestratsiia, zberihannia i obrobka danykh*. 2008. Vol. 10, No. 1. P. 3–15. [in Ukrainian].

5. Yu. M. Kvach, A. P. Kolotiuk. Systemy ta kompleksy elektrosvitlotekhnichnoho zabezpechennia polotiv : navch. posib (Systems and complexes of electro-light technical support of flights: training. manual). Kyiv, 2012. 160 p. [in Ukrainian].

6. Kuzhel V. P. Vplyv kontrastu obiekta rozriznennia z fonom na vydymist dorozhnoi obstanovky v svitli avtomobilnykh far (The effect of the contrast of the object of distinction with the background on the visibility of the road environment in the light of automobile headlights). *Visnyk SNU imeni Volodymyra Dalia*. 2009. No. 11 (141). P. 118–122 [in Ukrainian].

7. Zhuk M. M., Boikiv M. V., Postranskyi T. M. Period nastannia sutinok, yak chynnyk vplyvu na funktsionalnyi stan vodiia (Dusk period as a factor influencing the functional state of the driver). *Naukovi notatky*. 2014. No. 46. P. 182–185 [in Ukrainian].

8. Osypov V. O., Melnychenko O. I. Udoskonalennia metodu otsinky bezpeky dorozhnoho rukhu na okremykh diliankakh avtomobilnykh dorih: monohrafiia (Improvement of the road safety assessment method on certain sections of highways: monograph). NTU, 2019. 172 p. [in Ukrainian].

9. Osypov V. O. Bezpeka dorozhnoho rukhu: tekhnichni zasoby ta inzhenerne oblashtuvannia: navchalnyi posibnyk (Road traffic safety: technical means and engineering arrangement: study guide). Luhansk, 2014. 192 p. [in Ukrainian].

10. Pat. Na promyslovyi zrazok No. 39167 Ukraina MKPZ 10-06. Svitlopovertalnyi element na transportne ohorodzhennia (On industrial sample No. 39167 Ukraine MKPZ 10-06. Light-reflecting element for transport fencing)/ zaiavnyk ta patentovlasnyk Komunalna korporatsiia "Kyivavtodor". s201801608 zaiavl. 06.06.2018; publikatsiia 10.05.2019, Biul. No. 9 [in Ukrainian].

11. Melnichenko O. Scoring method of evaluating road safety as part of management system. *Periodyk Naukowy Akademii Polonijnej, Częstochowa* (PNAP). 2023, Vol 61, No. 6, P. 195–202. DOI: https://doi.org/10.23856/6124 [in English].

12. Gusteliev O. Implement technicalsolutions for road safety. The IV International Scientific and Practical Conference «Science, practice and theory», February 1 - 4, 2022, Tokyo, Japan. P. 533–535 [in English].

13. Kozliakovskyi P. A. Zahalna psykholohiia: Navch. Posibnyk (General psychology: Education. manual:): V 2 t. 2-he vyd. T. II. Mykolaiv: Vyd-vo MDHU im. P. Mohyly, 2004. 240 p. [in Ukrainian].

14. Tkachenko I. O. Ryzyky u transportnykh protsesakh : navch. Posibnyk (Risks in transport processes: academic. manual). Kharkiv : KhNUMH im. O. Beketova, 2017. 114 p. [in Ukrainian].

Valentyn Osypov, *Ph.D., Associate Prof., https://orcid.org/0000-0001-9284-7919*

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

RESEARCH OF THE SPEED OF VISUAL ORIENTATION AND SEARCH MOVEMENTS OF THE DRIVER USING THE EXAMPLE OF LIGHT REFLECTING ELEMENTS OF THE ROAD RESTRAINT SYSTEM OF THE FIRST GROUP IN POPULAR POINTS

Abstract

Introduction. The problem of the driver's visual search for potential dangers while driving through the streets and roads of populated areas is considered. The psychological pace of the driver, namely the speed of visual orienting and search movements, studied using the example of the reflector element of the traffic fence of the first group. As part of the work, an algorithm for finding objects of potential danger on photo questionnaires implemented.

Problem statement. As you know, visual search is a process of visual or technical observation of the survey of space, the purpose of which is to identify the object - the subject of the search. Depending on the road situation, the search assumes that the object of danger will appear in the expected space or time. But visual observation is often carried out in order to make sure that there are no potential dangers. Thus, the driver's function while driving is constant visual monitoring of road conditions, the parameters of which investigated.

Conclusions. As part of the study of the problem, an analysis of the publications of foreign and domestic researchers, which devoted to the problem of visual search for dangers by drivers of vehicles and aircraft pilots, and author's work on this problem, made. The purpose of the publication is to find ways to assess the ability of drivers to find hazards in a timely manner and adequately assess their level for making appropriate management decisions in conditions of information overload on the roads of populated areas. Based on the obtained results, we can talk about the stable dependence of the influence of the speed of visual search for dangers by drivers of vehicles on the reduction of the accident rate. The measures already implemented in Kyiv today make it possible to carry out full-fledged studies on their impact on curbing the speed of traffic.

Materials and methods. As part of the study of the problem, an analysis of the publications of foreign and domestic researchers [3 – 7], which are devoted to the problem of visual search for dangers by vehicle drivers, aircraft pilots, and author's work on this problem [8 – 10] was made.

The results. The problem of the driver's visual search for potential dangers while driving through the streets and roads of populated areas is considered. The psychological pace of the driver, namely the speed of visual orienting and search movements, was studied using the example of the reflector element of the traffic fence of the first group. As part of the work, an algorithm was implemented for respondents to find objects of potential danger on photo questionnaires.

Conclusions. Based on the obtained results, we can talk about a certain dependence of the influence of the speed of visual search for dangers by drivers of vehicles on the reduction of the accident rate. Already implemented engineering measures in the city of Kyiv today make it possible to carry out full-fledged studies of their impact on curbing the speed of traffic.

***Keywords*:** driver, object of search, danger, road conditions.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.389

УДК 711.1

Тарасюк В. П.[1], *канд. техн. наук, http://orcid.org/0000-0003-4762-5668*
Беспалов Д. О.[1], *https://orcid.org/0000-0002-0778-5627*
Терещук В. П.[2], *https://orcid.org/0009-0005-8073-1683*
Король М. С.[3], *https://orcid.org/0009-0002-2831-7969*

[1]*Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА), м. Київ, Україна*
[2]*Товариство з обмеженою відповідальністю «Про мобільність» (ТОВ «Про мобільність»), м. Київ, Україна*
[3]*Товариство з обмеженою відповідальністю «Беспалов Лаб» (ТОВ «Беспалов Лаб»), м. Київ, Україна*

ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВЛАШТУВАННЯ САМОРЕГУЛЬОВАНИХ КІЛЬЦЕВИХ РОЗВ'ЯЗОК НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА

Анотація

Вступ. У сучасному світі транспортна інфраструктура міст стикається зі значними викликами, пов'язаними із зростанням інтенсивності автомобільного руху, заторами та необхідністю забезпечення безпеки дорожнього руху. Серед широкого спектру інженерних рішень і технологій, що спрямовані на вирішення цих проблем, варто виділити питання обґрунтування вибору планувальних рішень у місцях найбільшої концентрації транспортних потоків — транспортних вузлах. Світовий досвід показує, що влаштування саморегульованих кільцевих перетинів є одним із засобів оптимізації руху, зменшення заторів та підвищення безпеки на дорогах. Тому важливо розглянути даний тип планувальних рішень транспортних вузлів з точки зору доцільності їх використання на вулично-дорожній мережі міста.

Проблематика. Одними з основних принципів організації дорожнього руху на перехрестях з високою інтенсивністю є влаштування світлофорного регулювання або саморегульованих кільцевих розв'язок. В умовах щільної міської забудови питання обґрунтування вибору планувальних рішень перехресть набуває особливої актуальності, адже через значну вартість одиниці площі міської території її відчуження під елемент транспортної інфраструктури є дуже складним питанням, рішення якого потребує комплексної оцінки усіх варіантів з допомогою різних методів оцінки вибору планувальних рішень перетинів на вулично-дорожній мережі міст. Одним із таких методів є детальне транспортне моделювання, з допомогою якого можна розраховувати показники рівня обслуговування LOS (Level of Servise), транспортно-експлуатаційні, екологічні та енергетичні характеристики в межах окремих елементів вулично-дорожньої мережі. Попри приділення значної уваги у вітчизняній нормативній документації та наукових дослідженнях питанням проєктування саморегульованих і регульованих розв'язок, чіткої аргументації щодо обґрунтування вибору їх планувальних рішень, на сьогоднішній день, немає. У зв'язку із цим актуальним є питання здійснення оцінки ефективності роботи обох типів планувальних рішень залежно від зміни інтенсивності руху транспорту в їх межах з метою отримання основних показників роботи обох типів планувальних рішень транспортних вузлів при обґрунтуванні їх вибору.

Мета. Аналіз ефективності, визначення переваг і недоліків планувальних рішень транспортних вузлів за типом саморегульованої кільцевої розв'язки та перехрестя зі світлофорним регулюванням.

Матеріали та методи. Основним методом аналізу ефективності планувальних рішень є використання детального транспортного моделювання за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення PTV Vissim.

Результати. З використанням програмного забезпечення PTV Vissim проведено аналіз та збір показників ефективності роботи транспорту в межах саморегульованої кільцевої розв'язки та перехрестя зі світлофорним регулюванням.

Висновки. Обґрунтування доцільності влаштування саморегульованих кільцевих розв’язок може здійснюватися на основі розрахункових показників, отриманих з використанням інструменту детального транспортного моделювання, серед яких кількість транспортних засобів, які проїхали через перехрестя, часові затримки і швидкість руху транспорту. У результаті експерименту встановлено, що при інтенсивності вхідних транспортних потоків у межах 1500…3000 авт./год кількість транспортних засобів, які проїжджають як через регульоване перехрестя, так і через саморегульовану кільцеву розв'язку майже не змінюється (різниця коливається в межах 3 – 6 %). При цьому розбіжність абсолютних показників кількості транспортних засобів, які проїхали саморегульовану кільцеву розв'язку, на 26 – 33 % (залежно від інтенсивності вхідного транспортного потоку) перевищує показники перехрестя зі світлофорним регулюванням.

Ключові слова: PTV Vissim, перехрестя, пропускна здатність, саморегульована кільцева розв'язка, світлофорне регулювання, транспортне моделювання.

Вступ

Місцями найбільшої концентрації транспортних потоків на вулично-дорожній мережі (ВДМ) міст є перехрещення міських магістралей [1], при цьому 15,94 % з них (для міста Києва) становлять саморегульовані кільцеві розв'язки (СКР) [2]. У зв’язку із цим при оцінюванні ефективності роботи вулично-дорожньої мережі (ВДМ) міста особливу увагу необхідно привернути даному типу розв’язок.

СКР називають вузол, на якому перехрещення транспортних потоків перетворюються на злиття та відгалуження, а рух транспорту здійснюється навколо центрального острівця в одному напрямку, проти годинникової стрілки [3]. СКР є однією із форм каналізованих перехресть [1]. Згідно з ГБН В.2.3-37641918-555:2016 [4] їх доцільно влаштовувати за порівняно однакової інтенсивності руху на вулицях і дорогах, які перехрещуються або примикають.

Постановка проблеми.

В умовах щільної міської забудови питання обґрунтування доцільності влаштування СКР набуває особливої актуальності, адже через значну вартість одиниці площі міської території її відчуження під елемент транспортної інфраструктури є дуже складним питанням, рішення якого потребує комплексної оцінки усіх варіантів з допомогою різних методів оцінки вибору планувальних рішень перехресть на ВДМ міст [5]. Одним із таких методів оцінки є транспортне моделювання.

Аналіз останніх досліджень

Питанню вибору планувальних рішень перехресть на ВДМ міст давно приділяється значна увага серед науковців України та світу. Значний вклад вирішення даного питання внесли: Гук В. І., Дрю Д. [6, 7] та інші. Останнім часом питання вибору планувальних рішень транспортних вузлів все активніше розглядається фахівцями з області комп’ютерного моделювання, серед яких: Mark J. Magalotti, Xinyi Yang [8], Форнальчик Є. Ю., Могила І. А, Трушевський В. Е., Гілевич В. В., Литвин В. В., Таран І. О., Кононенко К. С. [9, 10] та інші.

Основна частина

Перехрещення в одному рівні за організацією та інтенсивністю учасників руху класифікують згідно з **табл. 1** [11].

При аналізі даних **табл. 1** встановлено, що категорійність вулиць, які регламентують влаштування перехресть з рухом по кільцю та регульованих перехресть, частково дублюються, що унеможливлює чіткий та безальтернативний вибір того чи іншого варіанту. У зв’язку з цим необхідно враховувати додаткові критерії оцінки, зокрема часові затрати, швидкість та пропускну здатність.

Таблиця 1

Класифікація перехресть в одному рівні

Перехрестя	Рух		Категорії вулиць, що перехрещуються
	Транспорту	Пішоходів та велосипедистів	
Нерегульовані	Нерегульований, можливо каналізований	Нерегульований	— міські вулиці місцевого значення; — вулиці сільських населених пунктів.
З рухом по кільцю	Саморегульований, як правило каналізований; можливо регульований	Нерегульований, можливо регульований	— міські вулиці місцевого значення; — магістральні вулиці районного значення; — магістральні вулиці загальноміського значення (у малих та середніх містах); — головні вулиці і дороги сільських населених пунктів; — вулиці сільських населених пунктів.
Регульовані	Регульований, можливо каналізований	Регульований, можливо безперервний	— магістральні вулиці загальноміського та районного значення; — головні вулиці і дороги сільських населених пунктів.

В раніше чинних будівельних нормах ДБН В.2.3-5-2001 [12], які регламентували проєктні параметри СКР, було визначено пропускну здатність вузла залежно від його геометричних параметрів (**табл. 2**).

Таблиця 2

Геометричні параметри СКП

Розрахункова швидкість руху, км/год.	Радіус центрального острівця, м	Ширина проїзної частини кільця, м	Довжина ділянки перестроювання, м	Найбільша пропускна здатність ділянок перестроювання, од/год, при швидкості руху, км/год				
				20	30	40	50	60
25	25	8,5	25	600	-	-	-	-
30	30	10,0	35	800	-	-	-	-
40	40	11,5	45	1 000	1 200	-	-	-
50	45	13,0	60	1 200	1 400	1 600	-	-
60	50	14,5	70	1 400	1 600	1 800	-	-
70	55	15,5	80	1 200	1 400	1 600	1 400	1 200
80	60	16,0	90	1 000	1 200	1 400	1 200	1 000

У новій редакції ДБН В.2.3-5:2018 [11], відсутні вимоги щодо геометричних параметрів окремих елементів СКР та його пропускної здатності. Натомість вказано, що проєктування кільцевих розв'язок необхідно здійснювати згідно з ГБН В.2.3-37641918-555:2016 [4], де пропускна здатність вузла визначається діаметром центрального острівця (**табл. 3**) [3].

Таблиця 3

Класифікація саморегульованих кільцевих розв'язок в одному рівні

Ч.ч.	Класифікація за діаметром центрального острівця (*R*)	*R*, м	Інтенсивність, авт./добу
1	Великі	R > 60	> 5000
2	Середні	18 < R ≤ 60	< 5000; (в обмежених умовах > 5000)
3	Малі	4 < R ≤ 18	< 2000
4	Міні-кільцеві	2,5 < R ≤ 4	Не регламентується

Влаштування регульованих перетинів також регламентується вимогами з інтенсивності руху транспорту в їх межах, що, у свою чергу, впливає на обраний тип транспортних світлофорів [13]. Однак дані ГБН В.2.3-37641918-555:2016 [4] та ДСТУ 4092-2002 [13] не дають повної та достовірної інформації щодо пропускної здатності СКР та регульованих перетинів залежно від складу транспортного потоку (ТП), радіусів правоповоротних з'їздів, розмірів напрямних острівців тощо. У свою чергу, вплив даних факторів на пропускну здатність дозволяє враховувати PTV Vissim як один із програмних продуктів для детального транспортного моделювання. Основний принцип його роботи — створення достовірної детальної транспортної моделі, яка розраховує кількісні транспортно-експлуатаційні показники роботи усіх учасників дорожнього руху. У цьому спеціалізованому програмному забезпеченні використовується психофізіологічна модель сприйняття Відемана, особливість роботи якої полягає в тому, що водій транспортного засобу (ТЗ), який рухається в загальному потоці, спочатку розганяється, а потім починає пригальмовувати, досягнувши індивідуального порогу сприйняття безпечної дистанції. Оскільки він не може точно оцінити швидкість переднього ТЗ, то пригальмовування триватиме до тих пір, поки його швидкість не впаде нижче за швидкість ТЗ, який рухається попереду. Після цього водій почне прискорюватися до чергового досягнення індивідуального порогу сприйняття безпечної дистанції. Це призводить до постійного коливання швидкості кожного ТЗ [14]. Швидкості і дистанції між одиницями транспорту в PTV Vissim задаються за допомогою функцій розподілу, що імітують різну поведінку водіїв. При цьому у PTV Vissim, кожен водій зі своїми індивідуальними параметрами поведінки співвідноситься з певним транспортним засобом, а манера їзди збігається з технічними можливостями даного автомобіля. На багатосмугових проїзних частинах водій в моделі враховує не лише ТЗ, що йдуть попереду, але і ті, що рухаються на сусідніх смугах. Численні емпіричні дослідження, проведені технічним університетом міста Карлсруе, визначили таку модель слідування — еталонною [14]. Більш актуальні виміри свідчать, що манера керування та технічні можливості ТЗ, що змінилися за останні роки, коректно відображаються у актуальній версії програмного забезпечення, яке використовувалось у даній роботі.

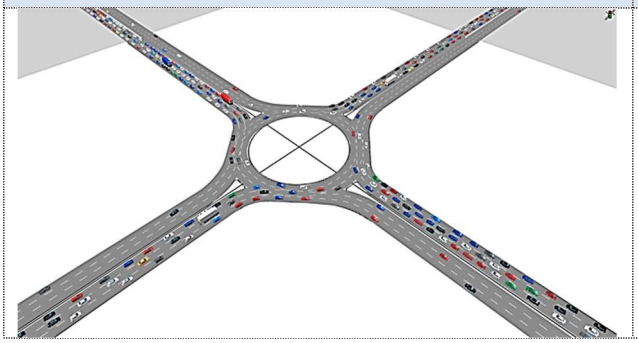
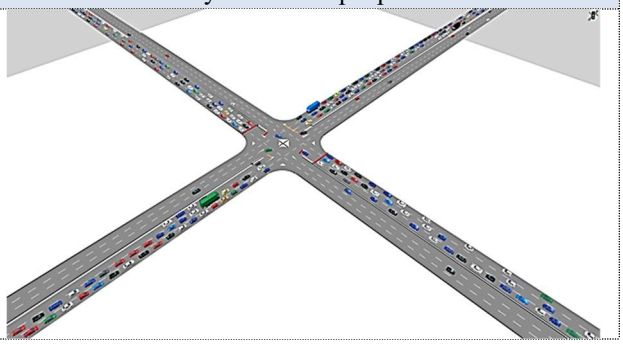
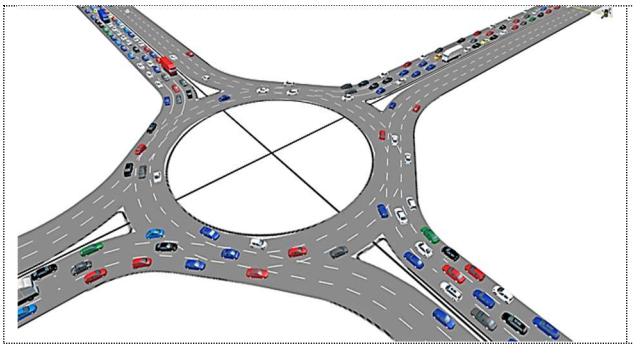
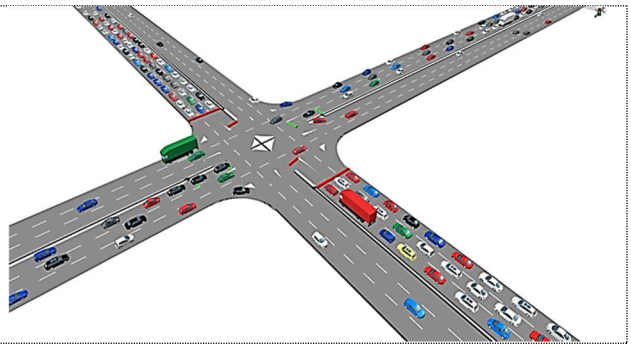
У рамках експерименту, з допомогою спеціалізованого програмного забезпечення PTV Vissim, змодельовано СКР та регульований перетин і визначено залежність часових затрат, швидкості та кількості транспортних засобів, які проїхали через перетин, від інтенсивності руху для обох типів планувальних рішень вузлів. При цьому враховано наступні вихідні дані:

- перетин 2-х магістралей по 3 смуги руху в одному напрямку;
- бажана швидкість руху транспорту на магістралях 70 км/год;
- інтенсивність вхідного ТП від 500 до 3000 авт./год (з кратністю 500 авт./год), рух пішоходів — не враховувався;
- розподіл ТП – прямий / правоповоротний / лівоповоротний / розворотний співвідноситься як 50/30/15/5;
- розрахункова швидкість на саморегульованому кільцевому перетині 30 км/год;
- цикл світлофорного регулювання оптимізований в спеціалізованому програмному забезпеченні LISA+.

Візуалізація розрахункових моделей СКР та регульованого перетину у PTV Vissim, які використовували в рамках даного експерименту, наведена в **табл. 4**.

Таблиця 4

Візуалізація розрахункових моделей

СКР	Регульоване перехрестя
	
	

Результати моделювання усіх розрахункових сценаріїв наведено на **рис. 1 – 3**.

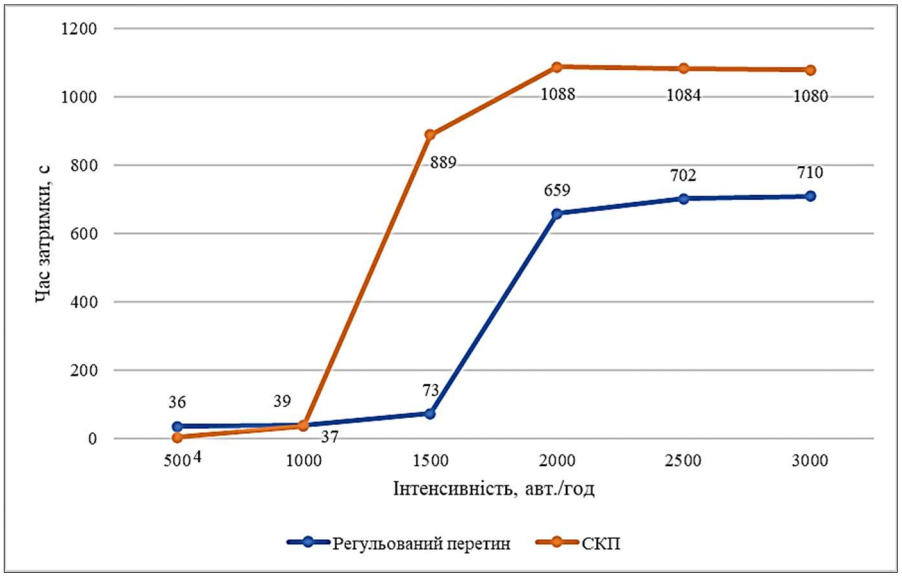


Рисунок 1 — Залежність середньої затримки від інтенсивності транспортних засобів

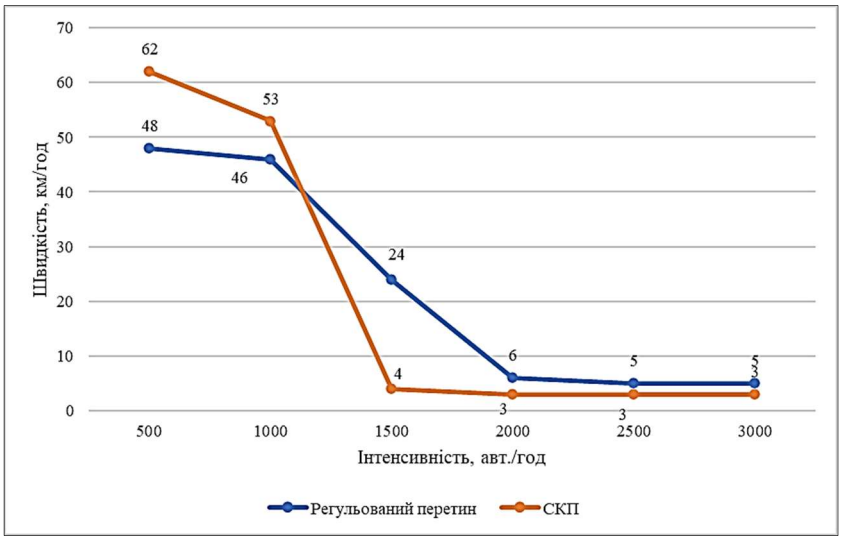


Рисунок 2 — Залежність швидкості руху від інтенсивності руху транспортних засобів

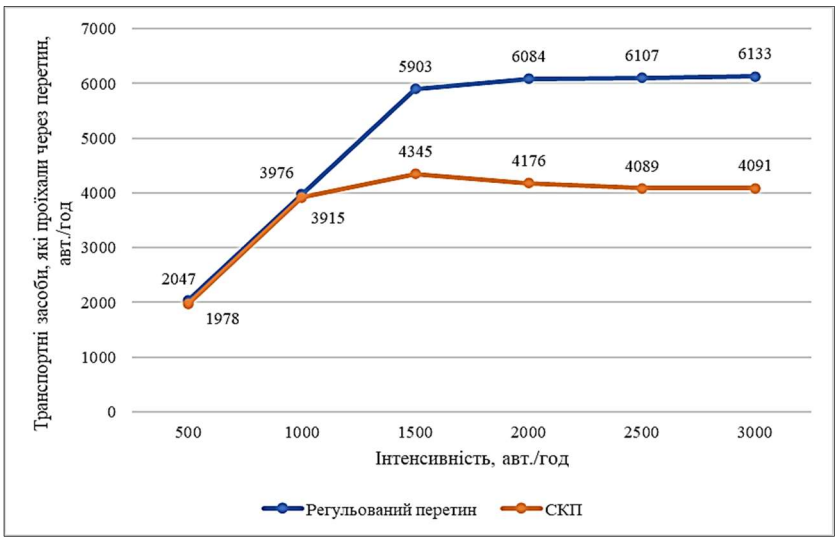


Рисунок 3 — Залежність кількості транспортних засобів, які проїхали через перетин від інтенсивності руху транспортних засобів

Встановлено, що при інтенсивності вхідних транспортних потоків до 1000 авт./год. кількість транспортних засобів, які проїхали через регульоване та саморегульоване перехрестя, практично не відрізняється (різниця коливається в межах 1…3 %). При подальшому зростанні інтенсивності до 3000 авт./год. на кожному із входів кількість транспортних засобів, які проїжджають СКР та регульоване перехрестя практично не змінюються (для регульованого перехрестя показники змінюються в межах 5 903…6 133 авт./год, а для СКР 4 345…4 091 авт./год). При інтенсивності вхідних потоків до 1000 авт./год час затримки та швидкість ТП також характеризуються незначними змінами. При зростанні інтенсивності від 1500 авт./год до 3 000 авт./год час затримки в межах СКР є порівняно більшим (від 889 с до 1080 с), за показники регульованого перехрестя (від 73 с до 710 с). Починаючи з інтенсивності вхідних ТП у 1 000 авт./год швидкість руху в межах обох типів вузлів зменшується: для СКР від 46 км/год при інтенсивності 1 000 авт./год до 5 км./год при 3 000 авт./год, а для регульованого перетину — від 53 км/год до 3 км/год відповідно. При цьому в межах СКР показники швидкості руху є меншими, в порівнянні з регульованим перехрестям. При цьому варто врахувати, що регульовані перехрестя здатні працювати у комплексі, пропускаючи домінуючий

напрямок за так названою «зеленою хвилею» або координаційним маршрутом, що дозволяє забезпечити можливість регулювання та узгодження умов руху на декількох перехрестях одночасно.

Висновки

Обґрунтування доцільності влаштування СКР може здійснюватися на основі результатів детального транспортного моделювання. У результаті проведеного експерименту встановлено, що при інтенсивності вхідного ТП в межах 1 500…3 000 авт./год кількість транспортних засобів, які проїжджають як через регульоване перехрестя, так і через СКР майже не змінюється (максимальна розбіжність становить 6 % і 3 % відповідно). При цьому різниця кількості транспортних засобів в абсолютному вираженні, які проїжджають різні типи перехресть, коливається від 26% до 33 % з перевагою перетину зі світлофорним регулюванням. Показники часових затримок ТЗ при інтенсивності вхідних ТП до 1 000 авт./год для СКР є меншими, відносно показників для регульованого перетину. Однак при подальшому зростанні інтенсивності на входах до 3 000 авт./год часові затримки для СКР вже є більшими, порівняно з регульованими перехрестями (різниця коливається в межах 34…92 %). За інтенсивності вхідних потоків до 1 000 авт./год швидкість руху ТЗ у межах регульованого перехрестя є нижчою, відносно середньої швидкості в межах СКР. За подальшого зростання інтенсивності, швидкісні показники руху ТЗ є більшими вже для регульованого перехрестя. Дана неоднорідність показників забезпечується, в тому числі, особливостями геометричних параметрів СКР (радіус центрального острівця, довжина лінії переплетення і тощо), які, у свою чергу, безпосередньо впливають на умови руху в його межах. Як наслідок, СКР доцільно влаштовувати там, де, перш за все, потрібно знизити швидкість руху ТП (місця інтенсивного руху пішоходів, біля шкіл, дитячих садків і тощо) з метою підвищення безпеки транспортного та пішохідного руху, а також у випадках з чотирма та більше підходами до перетину та для резерву площі під міську дорожньо-транспортну споруду, тобто як перехідний етап будівництва перетину в різних рівнях. Разом з тим, перед влаштуванням СКР необхідно ретельно оцінити умови та можливості будівництва, а також провести необхідні дослідження та детальне транспортне моделювання для підтвердження його доцільності.

Список літератури

1. Осєтрін М. М. Міські дорожньо-транспортні споруди. Навчальний посібник для студентів ВНЗ. Київ, 1997. 196 с.
2. Луценко О.В. Фактори, які визначають вибір інженерно-планувальних рішень перетинів міських магістралей з кільцевим рухом. *Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник*. Вип. 58. Київ. С. 354–34.
3. Саморегульоване кільцеве перехрестя: Методичні вказівки до виконання курсового і дипломного проектування. Київ, 2004. 52 с.
4. ГБН В.2.3-37641918-555:2016 Автомобільні дороги. Транспортні розв’язки в одному рівні. Проектування. Київ, 2011. 58 с. (Інформація та документація).
5. Бондар О. В. Критерії оцінювання інженерно-планувальних рішень перетинів міських магістральних вулиць з кільцевим рухом транспорту. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Вип. 65. Одеса, 2016. С. 3–9.
6. Гук В. І. Елементи теорії транспортних потоків і проєктування вулиць та доріг. Навчальний посібник. Київ. 1991. 255 с.
7. Дрю Д. Теорія транспортних потоків та управління ними. 1972. 424 с.
8. Xinyi Yang A Service Life Analysis of Roundabouts Retrofits for Signalized Intersections. Procedia Engineering. *Procedia Engineering* 145 (2016). P. 452–459.
9. Форнальчик Є. Ю. Управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах: монографія. Львів, 2018. 236 с.
10. Литвин В. В. Обґрунтування ефективності застосування кільцевого руху на вулично-дорожній мережі м. Дніпро у програмному середовищі PTV VISSIM. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Дніпро, 2019. С. 95–107.

11. ДБН В.2.3-5-2018 Вулиці та дороги населених пунктів. Київ, 2018. 61 с. (Інформація та документація).
12. ДБН В.2.3-5-2001 Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів. Київ, 2001. 51 с. (Інформація та документація).
13. ДСТУ 4092-2002 Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосовування та вимоги безпеки. Київ, 2003. 27 с. (Інформація та документація)
14. VISSIM14 Fundamentals, VISSIM 14 Manual, 2014 PTV AG, Karlsruhe. URL: https://www.scribd.com/document/705998759/Vissim-2024-Manual (дата звернення 03.09.2024).

References

1. Osietrin M. M. Miski dorozhno-transportni sporudy. Navchalnyi posibnyk dlia studentiv VNZ (City road and transport facilities. Study guide for university students). Kyiv, 1997. 196 p. [in Ukrainian].
2. Lutsenko O. V. Faktory, yaki vyznachaiut vybir inzhenerno-planuvalnykh rishen peretyniv miskykh mahistralei z kiltsevym rukhom. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia: nauk.-tekhn (Factors that determine the choice of engineering and planning solutions for intersections of city highways with circular traffic). zbirnyk. Vyp. 58. Kyiv. P. 354–34 [in Ukrainian].
3. Samorehulovane kiltseve perekhrestia: Metodychni vkazivky do vykonannia kursovoho i dyplomnoho proektuvannia (Self-regulating roundabout: Methodical instructions for course and diploma design). Kyiv, 2004. 52 p. [in Ukrainian].
4. HBN V.2.3-37641918-555:2016 Avtomobilni dorohy. Transportni rozviazky v odnomu rivni. Proektuvannia. K.: Ministerstvo infrastruktury Ukrainy (Автомобільні дороги. Транспортні розв'язки в одному рівні. Проектування), 2011. 58 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
5. Bondar O. V. Kryterii otsiniuvannia inzhenerno-planuvalnykh rishen peretyniv miskykh mahistralnykh vulyts z kiltsevym rukhom transportu. Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury (Criteria for evaluating engineering and planning solutions for intersections of city main streets with circular traffic). Vyp. 65. Odesa, 2016. P. 3–9 [in Ukrainian].
6. Huk V. Y. Elementi teoryy transportnыkh potokov y proektyrovanyia ulyts y doroh (Elements of the theory of traffic flows and street and road design). Navchalnyi posibnyk. Kyiv. 1991. 255 p. [in Ukrainian].
7. Driu D. Teriia transportnykh potokiv ta upravlinnia nymy (Theory of traffic flows and their management). 1972. 424 p. [in Ukrainian].
8. Xinyi Yang A Service Life Analysis of Roundabouts Retrofits for Signalized Intersections. Procedia Engineering. Procedia Engineering 145 (2016). P. 452–459 p. [in Ukrainian].
9. Fornalchyk Ye. Yu. Upravlinnia dorozhnim rukhom na rehulovanykh perekhrestiakh u mistakh: monohrafiia (Traffic management at controlled intersections in cities: monograph), Lviv, 2018. 236 p. [in Ukrainian].
10. Lytvyn V. V. Obgruntuvannia efektyvnosti zastosuvannia kiltsevoho rukhu na vulychno-dorozhnii merezhi m. Dnipro u prohramnomu seredovyshchi PTV VISSIM (Justification of the effectiveness of the use of circular traffic on the street and road network of the city of Dnipro in the PTV VISSIM software environment). *Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti*. Dnipro, 2019. P. 95–107 [in Ukrainian].
11. DBN V.2.3-5-2018 Vulytsi ta dorohy naselenykh punktiv. (Streets and roads of populated areas) Kyiv, 2018. 61 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
12. DBN V.2.3-5-2001 Sporudy transportu. Vulytsi ta dorohy naselenykh punktiv (Transport structures. Streets and roads of settlements). Kyiv, 2001. 51 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
13. DSTU 4092-2002 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Svitlofory dorozhni. Zahalni tekhnichni vymohy, pravyla zastosovuvannia ta vymohy bezpeky (Road traffic safety. Traffic lights. General technical requirements, application rules and safety requirements). Kyiv, 2003. 27 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

14. VISSIM 14 Fundamentals, VISSIM 14 Manual, 2014 PTV AG, Karlsruhe. URL: https://www.scribd.com/document/705998759/Vissim-2024-Manual (data zvernennia 03.09.2024) [in English].

Volodymyr Tarasiuk[1], *Ph.D., Assistant Prof.*, *http://orcid.org/0000-0003-4762-5668*
Dmytro Bespalov[1], *Senior Lecturer*, *https://orcid.org/0000-0002-0778-5627*
Vitalii Tereshchuk[2], *https://orcid.org/0009-0005-8073-1683*
Mykhailo Korol[3], *https://orcid.org/0009-0002-2831-7969*

[1]*Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kyiv, Ukraine*
[2]*Limited Liability Company "Pro Mobility" (Pro Mobility, LLC), Kyiv, Ukraine*
[3]*Bespalov Lab Limited Liability Company (Bespalov Lab), Kyiv, Ukraine*

JUSTIFICATION OF IMPLEMENTING SELF-REGULATING ROUNDABOUTS ON THE URBAN ROAD NETWORK OF THE CITY

Abstract

Introduction. In the modern world, the transport infrastructure of cities faces significant challenges related to the growth of traffic intensity, congestion and the need to ensure road safety. Among the wide range of engineering solutions and technologies aimed at solving these problems, it is worth highlighting the issue of justifying the choice of planning solutions in places of the highest concentration of traffic flows - transport hubs. International experience shows that the construction of roundabouts is one of the ways to optimize traffic, reduce congestion and improve road safety. Therefore, it is important to consider this type of planning solutions for transport hubs in terms of the feasibility of their use on the city's street and road network.

Problem Statement. One of the main principles of traffic management at high-intensity intersections is the arrangement of signalized or roundabouts. In the conditions of dense urban development, the issue of justifying the choice of intersection design solutions is of particular relevance, because due to the significant cost per unit area of urban territory, its alienation for a transport infrastructure element is a very complex issue, the solution of which requires a comprehensive assessment of all options using various methods for evaluating the choice of intersection design solutions on the city road network. One of these methods is microsimulation, which can be used to calculate LOS (Level of Service), transport and operational, environmental and energy characteristics, etc. within individual elements of the road network. Despite the considerable attention paid to the design of roundabouts and regulated intersections in domestic regulatory documents and scientific research, there is currently no clear argumentation to justify the choice of their planning solutions. In this regard, it is important to assess the effectiveness of both types of planning solutions depending on changes in traffic intensity within them in order to obtain the main indicators of their performance for further consideration when justifying the choice of planning solutions for transport hubs.

Purpose. Analysis of efficiency, determination of advantages and disadvantages of planning solutions of transport hubs by the type of roundabout and signalized intersection.

Materials and methods. The main way to analyze the effectiveness of planning decisions is to use microsimulation using specialized software PTV Vissim.

Results. Using the PTV Vissim software, analysis and collection of transport performance indicators within a roundabout and a signalized intersection were carried out.

Conclusions. The feasibility of arranging roundabouts can be substantiated on the basis of calculated indicators obtained using a microsimulation tool, including the number of vehicles that passed through the intersection, time delays, and traffic speed. As a result of the experiment, it was found that with the intensity of incoming traffic flows in the range of 1 500...3 000 vehicles per hour, the number of vehicles passing through both the signalized intersection and the roundabout almost does not change (the difference varies within 3 – 6 %). At the same time, the difference in the absolute number of vehicles passing through the roundabout is 26 – 33 % higher (depending on the intensity of the incoming traffic flow) than the number of vehicles passing through the signalized intersection.

Keywords: PTV Vissim, microsimulation, capacity, roundabout, signalized intersection.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.398

УДК 625.7/.8

Терещенко Т. А., *канд. хім. наук, ст. наук. співр., https://orcid.org/0000-0001-5206-9921*

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

СИСТЕМИ ПЕРЕРОЗПОДІЛЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ. ТРАНСПОРТНІ РОЗВ'ЯЗКИ. ЗАСТОСОВУВАНІ ТЕРМІНИ

Анотація

Вступ. У статті окреслено загальні питання забезпечення термінологічної узгодженості положень національних нормативних документів, у разі їхньої гармонізації, з положеннями регіональних або міжнародних стандартів та визначено важливі джерела відповідної регіональної інформації у сфері транспортної інфраструктури.

Проблематика. Проблематика статті охоплює питання термінів у сфері визначення систем перерозподілення транспортних потоків на автомобільних дорогах, зокрема у складі міжнародних транспортних артерій, і елементів таких систем.

Мета. Метою статті є аналіз наукових джерел, а також положень регуляторних актів ЄС з метою постановки питань і розроблення пропозицій щодо відправних точок розширення структури термінів у частині систем перерозподілення транспортних потоків на автомобільних дорогах у складі міжнародних транспортних артерій.

Результати. Виконано загальний аналіз функціональних вимог і класифікації міжнародних автомобільних доріг, де основною складовою є автомагістралі, а також термінів стосовно систем і елементів систем перерозподілення транспортних потоків у рамках Європейської угоди щодо основних міжнародних транспортних артерій. Запропоновано стратифікацію елементів таких систем і розглянуто загальні вимоги до проєктування транспортних розв'язок на автомагістралях у складі міжнародних транспортних артерій.

Також, з урахуванням досвіду дорожнього будівництва за межами європейського континенту, стисло проаналізовано безпекові проєктні рішення елементів транспортних розв'язок, не внесені до положень зазначеної Європейської угоди.

Висновки. За результатами виконаного аналізу пропонується визнати доцільним розширення структури термінів для визначення систем перерозподілення транспортних потоків на автомобільних дорогах у складі міжнародних транспортних артерій і елементів таких систем, зокрема для транспортних розв'язок як важливої складової побудови безпекових проєктних рішень.

Відправною точкою відповідної термінологічної роботи запропоновано прийняти стратифікацію елементів системи перерозподілення транспортних потоків на автомобільних дорогах у складі міжнародних транспортних артерій.

Ключові слова: автомагістраль, міжнародна автомобільна дорога, з'їзд, міжнародна транспортна артерія, транспортний потік, транспортна розв'язка.

Вступ

Процес розбудови Європейського Союзу та перспективи входження України до співдружності європейських держав нерозривно пов'язані з впровадженням на території нових держав-членів законодавчих актів і нормативних документів європейського регіону, з приведенням законодавчих актів і нормативних документів України у відповідність до регіональних вимог. Поряд з вирішенням на високому рівні установчих задач за кожним з напрямків діяльності та відповідних нормативно-правових (нормативних) актів і стандартів можуть виникати окремі питання узгодженості, зокрема питання термінологічного характеру.

У процесі гармонізації національних стандартів з європейськими нормативними документами, з виконанням ідентичного перекладу, виникнення таких питань певною мірою може бути обумовлено, наприклад, відсутністю відповідних термінологічних стандартів у різних системах стандартизації. У таких випадках виконання робіт з гармонізації нормативних документів може потребувати, відповідно до вимог комплексу стандартів системи «Національна стандартизація», викладання роз'яснювальної інформації для користувачів національних стандартів.

Важливим джерелом інформації регіонального рівня у процесі розроблення національних нормативних документів ідентичного ступеню відповідності у сфері транспортної інфраструктури є такі регуляторні акти: Європейська угода щодо основних міжнародних транспортних артерій [1], Регламент (ЄС) [2] та Директива (ЄС) [3] з урахуванням Рішення Комісії [4].

У цій статті запропоновано підходи до вирішення окремих питань застосування термінів стосовно систем перерозподілення транспортних потоків, охоплюючи елементи таких систем — транспортні розв'язки — на міжнародних автомобільних дорогах з урахуванням положень Європейського регуляторного акта [1]. Викладений матеріал є розширенням одного з питань проєктування автомагістралей, розглянутого у [5].

Основні функціональні вимоги і класифікація міжнародних автомобільних доріг

Згідно з [1] система міжнародних автомобільних доріг охоплює переважно автомагістралі і швидкісні дороги, які характеризуються наступними загальними функціональними ознаками:

1) автомагістраль (*motorway*) — дорога, яку запроєктовано і побудовано спеціально для забезпечення руху автомобільного транспорту, без обслуговування прилеглих територій, та яка:

— має, за винятком окремо виділених місць або в тимчасовому стані, роздільні проїзні частини для двох напрямків руху, відділені одна від одної розділювальною смугою, не призначеною для руху транспорту, або, як виняток, іншим способом;

— не перетинається на одному рівні з будь-якою дорогою, залізничною чи трамвайною колією або пішохідною доріжкою;

— має спеціальну познаку автомагістралі;

2) швидкісна дороги (*expressway*) — дорога, виділена спеціально для руху автомобільного транспорту в транспортних потоках, які обслуговуються транспортними розв'язками та контрольованими примиканнями / перехрещеннями автомобільних доріг та яка:

— є дорогою, на якій заборонено зупинення та паркування транспортних засобів на проїзній частині, по якій відбувається рух;

— не перетинається на одному рівні із залізничною чи трамвайною колією або пішохідною доріжкою.

Також до системи міжнародних автомобільних доріг за потреби можуть бути включені рядові автомобільні дороги (*ordinary way*), які призначені для всіх категорій користувачів і колісних транспортних засобів; така дорога може мати одну або роздільні проїзні частини, проте міжнародні автомобільні дороги переважно мають бути автомагістралями або швидкісними дорогами.

Загальні терміни стосовно систем перерозподілення транспортних потоків з урахуванням Європейської угоди щодо міжнародних транспортних артерій

Система перерозподілення транспортних потоків (*interchange system*)[1] на всій протяжності повинна бути оптимальною, виходячи з вибору місця розташування точок перерозподілення транспортних потоків (*interchange points*) — пропонується приймати їх як точки перерозподілення з

[1] Зазначений англомовний термін має перекладатися як «система перерозподілення», проте в контексті потенційного об'єкта нормування доцільно вживати переклад «система перерозподілення транспортних потоків»; у англомовному тексті анотації зазначений термін залишено без змін. Аналогічний підхід застосовано для перекладання терміна «*interchange point*».

взаємодією транспортних потоків, — відстані між цими точками, а також вибору технічних споруд, потрібних для роботи такої системи з забезпеченням безпеки користувачів.

Зону зустрічі двох або більше транспортних потоків у такій системі, з урахуванням положень [1], може бути традиційно визначено як вузол автомобільних доріг — відповідник англомовного терміна «*intersection*» (згідно зі спеціалізованими словниками це може бути точка, але може бути й лінія; елемент «*intersection*» у складі зазначених систем розглядаємо як багатофункціональний, що відповідає технічному змісту положень [1]).

На автомобільних дорогах з роздільними проїзними частинами вузол автомобільних доріг може бути реалізований з примиканнями / перехрещеннями автомобільних доріг з розділенням транспортних потоків за рівнями («*grade-separated junction*»), або на одному рівні («*level junction*») — україномовний відповідник «примикання / перехрещення автомобільних доріг» запропоновано для англомовного терміна «*junction*»[2].

У зоні взаємодії двох або більше транспортних потоків виділена міжнародна автомобільна дорога переважно має пріоритет, виняток — дві міжнародні дороги, перехідні зони, а також примикання / перехрещення автомобільних доріг на одному рівні з організацією руху по колу (*roundabouts*).

Примикання / перехрещення автомобільних доріг із частковим розділенням транспортних потоків за рівнями реалізують для важливих точок перерозподілення транспортних потоків — як і повне, без взаємодії, розділення транспортних потоків за рівнями. Повне розділення за рівнями без взаємодії транспортних потоків (*grade separation without interchange*) може бути доцільним, наприклад, для виділення (ізолювання) шляхів транспортування продукції агропромислового комплексу або інше.

Згідно з [1] вузли автомобільних доріг для доріг із роздільними проїзними частинами проєктують переважно з організацією руху транспортних потоків на різних рівнях, проте за потреби рух з перерозподілянням транспортних потоків може бути організований на одному рівні в разі можливості дотримання критеріїв безпеки.

На автомагістралях згідно з [1] вузли автомобільних доріг з реалізацією примикань / перехрещень із розділенням транспортних потоків за рівнями є обов'язковими.

У разі проєктування примикань / перехрещень автомобільних доріг на одному рівні потрібно дотримуватися низки критеріїв, водночас уникаючи складних геометричних рішень, і за можливості поєднувати транспортні потоки за значної їх кількості. У разі кількості відгалужень понад чотири може бути застосовано принципи проєктування примикань / перехрещень автомобільних доріг з організацією руху по колу.

Ураховуючи англомовні терміни, які застосовано в [1], стратифікацію елементів системи перерозподілення транспортних потоків з транспортними розв'язками може бути зображено умовною схемою на **рис. 1**.

Запропоновану схему (**рис. 1**) може бути застосовано як відправну точку розбудови структури термінів щодо систем розподілення транспортних потоків на автомобільних дорогах, зокрема у складі міжнародних транспортних артерій.

[2] Зазначений варіант перекладу є результатом опрацювання окремих термінів під час гармонізації з європейським стандартом [6] і є погодженим відповідальним технічним комітетом стандартизації. Проте, на думку автора, більш зручним у використанні та також дозволеним словниками варіантом перекладу терміна «*junction*» може бути стикування [автомобільних доріг] з окремо установленою та визначуваною, за потреби, деталізацією стосовно примикання, перехрещення автомобільних доріг або стикування кільцевого типу.

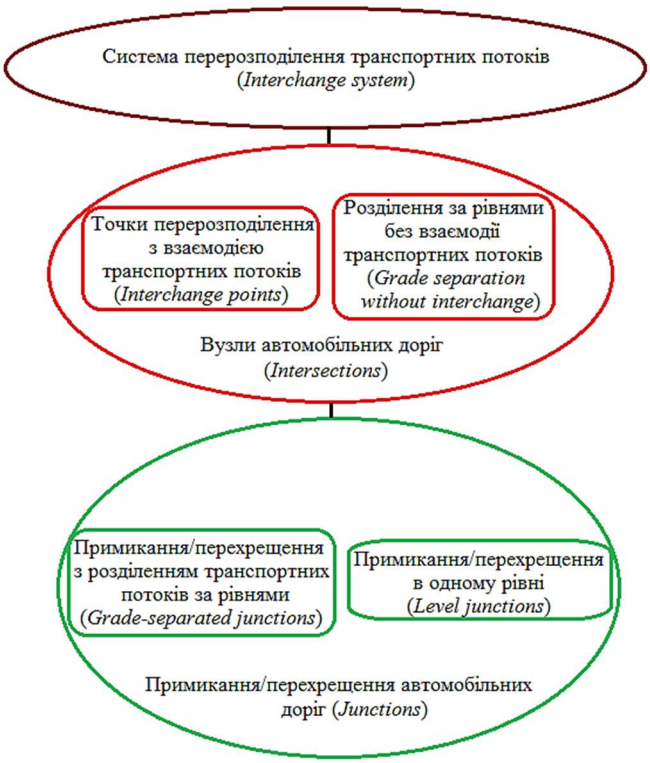


Рисунок 1 — Запропонована стратифікація елементів системи перерозподілення транспортних потоків з урахуванням [1]

Застосовувані терміни і загальні вимоги до проєктування транспортних розв'язок на автомобільних дорогах у складі міжнародних транспортних артерій

Згідно з [1] транспортні розв'язки — «*interchanges*» *(grade-separated junctions with slip roads*) — проєктуються як примикання / перехрещення з розділенням транспортних потоків за рівнями, зі з'їздами, що забезпечують рух транспортних потоків між різними дорогами[3].

Зони взаємодії автомобільних доріг на одному рівні терміном «*interchanges*» згідно з [1] не охоплено, що вказує на можливість існування розбіжності положень [7] з положеннями Європейських регуляторних актів.

Тип транспортної розв'язки залежить від топографії, категорійності доріг у зоні взаємодії, а також важливості / призначеності транспортних потоків.

Англомовними відповідниками терміна «з'їзд» (елемент транспортної розв'язки) у різних системах стандартизації є «*slip road*» [1] та «*ramp*» [9].

Згідно з [1] для з'їздів установлено наступну мінімальну ширину, разом з узбіччями:

— 6 м для проїзної частини з рухом за одним напрямком;
— 9 м для проїзної частини з рухом за двома напрямками.

Для геометричних параметрів з'їздів установлено наступні граничні значення (які у виняткових випадках можуть бути зменшені):

— мінімальний внутрішній радіус, визначеній «у площині» – 50 м;
— максимальний висхідний градієнт – 7 %;

[3] Переклад виконано згідно зі спеціалізованими словниками. Доцільно додати, що, наприклад, розробники [8] (регіон Північної Америки) визначають транспортні розв'язки як точки доступу до та/або зміни напрямків транспортних потоків на автомагістралях.

— максимальний низхідний градієнт – 8 %;
— мінімальний радіус вигнутої (опуклої) вертикальної кривої – 800 м;
— мінімальний радіус ввігнутої вертикальної кривої – 400 м.

Протяжність зон спряження транспортних потоків (*weaving area*) на транспортних розв'язках повинна бути достатньою для забезпечення безпечного руху.

Також в [1] установлено загальні вимоги до організації транспортних потоків з розділянням (або з розходженням — «*divergence*») однієї проїзної частини на дві чи зі сполучанням (або зі сходженням — «*convergence*») двох проїзних частин в одну; доцільно виділити наступні загальні вимоги.

У разі розділення проїзної частини на дві проїзні частини менш важливий транспортний потік повинен виводитися на проїзну частину праворуч[4]. У місцях сходження транспортних потоків — зі сполучанням проїзних частин — не повинно відбуватися суттєвого зменшення швидкості руху основного транспортного потоку.

Смуги розгону та гальмування повинні забезпечувати доступ до та виїзд з основної проїзної частини транспортної розв'язки; ширина таких смуг повинна бути постійною зі скісною в плані ділянкою у відповідному місці. Довжину смуг розгону та гальмування проєктують з урахуванням розрахункової швидкості руху транспортного потоку.

Вибір типу (форми) транспортних розв'язок має ґрунтуватися на засадах забезпечення простоти та уніформності проєктних рішень; уніформмність потрібно забезпечувати з «операторної» точки зору — виходячи з того факту, що користувачі дороги очікують виконання однотипних маневрів на транспортних розв'язках [1].

Аналіз рішень з забезпечення відстані видимості під час проєктування окремих елементів транспортних розв'язок

Під час проєктування транспортних розв'язок критичне значення має поєднання потрібної відстані видимості у вертикальній та в горизонтальній проєкціях. Важливим є забезпечення відстаней видимості, які дозволяють водієві аналізувати перспективу автомагістралі[5] під час виїзду на основну проїзну частину, перспективу з'їздів (геометрії з'їздів), сполучних зон з'їздів (див. нижче), перехідних зон, щоб уникнути зайвих або небезпечних маневрів під час переходу з транспортного потоку автомагістралі з більшою швидкістю руху до другорядної дороги з меншою швидкістю руху або навпаки [8]. Належні відстані видимості в різних точках транспортної розвязки забезпечуються на етапі проєктування її елементів. Тому попри те, що в положеннях Європейської угоди [1] вимоги щодо елементів транспортних розв'язок не деталізовано, доцільно розглянути загальні положення щодо проєктування таких важливих елементів транспортних розв'язок, як з'їзди.

З'їзд може бути представлений як трикомпонентний елемент транспортної розв'язки, що складається зі сполучної дороги або власне з'їзду (як це зазначено в [10]) та двох сполучних зон з'їздів (*ramp terminals*), які проєктують на прикінцевих ділянках з'їздів. Сполучні зони з'їздів можуть бути виконані за концепцією примикання з'їзд / основна проїзна частина (автомагістралі) — коли з'їзд слугує для швидкісного сполучання доріг високого рівня значення і проєктується з акомодацією перехідно-швидкісних смуг, або, наприклад. сполучні зони з'їздів можуть проєктуватися за концепцією «*at-grade intersection*» — примикань / перехрещень на одному рівні [10][6]. У першоджерелах [8, 10] відправною точкою аналізування проєктних рішень з'їздів і сполучних зон з'їздів є рішення для ромбічної транспортної розв'язки.

На **рис. 2** наведено загальні схеми проєктних рішень транспортної розв'язки згідно з [8], які відрізняються рівнями розташування автомагістралі і з'їздів сполучення з другорядною дорогою.

[4] Розглянуті положення прийняті для правостороннього руху.

[5] Англомовним відповідником першоджерела є «*freeway*» — швидкісна автомагістраль.

[6] Виходячи з технічного змісту, це є термін (американська англійська мова), синонімічний до прийнятого в Європі «*level junction*».

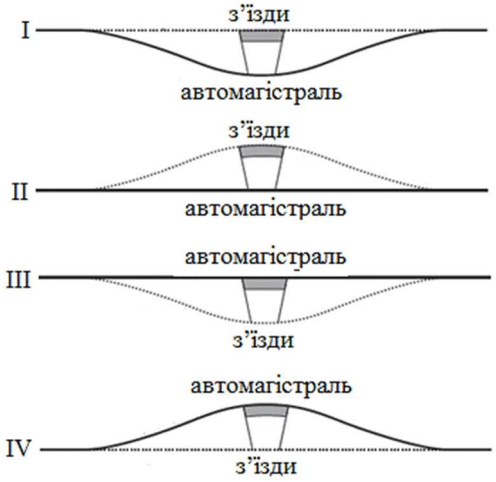


Рисунок 2 — Загальні схеми проєктних рішень розташування автомагістралі і з'їздів згідно з [8][7]

Із точки зору забезпечення належної відстані видимості загалом більш сприятливими є схеми I та II як такі, що дозволяють зменшити кількість візуальних перешкод (підпірні стінки, проміжні опори) порівняно зі схемами III та IV (**рис. 2**). Найбільш сприятливою для забезпечення відстаней видимості є схема I, коли другорядна дорога розташована на рівні транспортної розв'язки. Для схеми II забезпеченість відстаней видимості на сполучних зонах з'їздів залежить від проєктної — у поздовжньому профілі — лінії другорядної дороги. Наприклад, комбінація похилу з опуклою вертикальною кривою у верхній точці може мати наслідком суттєве обмеження видимості на примиканні / перехрещенні у сполучних зонах з'їздів для водіїв, що виконують поворот на виїзді зі з'їзду. Також потрібно приділяти увагу проєктуванню огороджувальних систем з точки зору забезпечення потрібної відстані видимості, особливо за наявності нерегульованих примикань / перехрещень на сполучних зонах з'їздів. Загальні схеми на **рис. 2** забезпечують доволі широкий спектр пошуку оптимальних рішень — наприклад, зміна похилу поздовжнього профілю за напрямком руху на з'їзді (додатний чи від'ємний, за напрямком руху, градієнт) може сприяти чи навпаки утруднювати маневри з прискорення або гальмування, створюючи певні ефекти на прикінцевих ділянках з'їздів, що потрібно ураховувати під час проєктування — в окремих випадках довжину з'їзду може бути зменшено.

Розробники [8] зазначають, що менш жорсткі вимоги щодо відстаней видимості можуть бути забезпечені в разі влаштування на сполучних зонах з'їздів примикань / перехрещень з організацією руху по колу — незалежно від схеми взаєморозташування з'їздів та автомагістралі.

Доцільно додати, що виконання аналізу проєктних рішень для елементів транспортних розв'язок ускладнюється дотриманням у світовій практиці дорожнього будівництва принципу уніформності проєктних рішень для транспортних розв'язок і в першоджерелах за відповідною тематикою переважно розглядаються проєктні рішення, усталені для визначених авторами регіонів.

Висновки

Ураховуючи результати загального аналізу виділених положень Європейської угоди [1], може бути визнано доцільним розширення структури термінів для визначення систем перерозподілення транспортних потоків на автомобільних дорогах у складі міжнародних транспортних артерій, а також

[7] Ці положення викладено виходячи з дотримання ромбічної конфігурації в кожному квадранті транспортної розв'язки.

елементів таких систем; додатково потрібно визначити види (за статусом) документів для акомодації розширеної структури термінів.

Відправною точкою розширення структури термінів може бути стратифікація елементів системи перерозподілення транспортних потоків, де важливий елемент — транспортні розв'язки — потрібно розглядати як рішення для зони взаємодії автомобільних доріг з розділенням транспортних потоків за рівнями.

Також, із більш широким охопленням світового досвіду дорожнього будівництва, може бути визнано доцільним розширити структуру термінів щодо елементів власне транспортних розв'язок, які є важливою складовою вибору безпекових проєктних рішень.

Список літератури

1. EUROPEAN AGREEMENT ON MAIN INTERNATIONAL TRAFFIC ARTERIES (AGR) Consolidated version ECE/TRANS/SC.1/2016/3/Rev.1 1 November 2016. 43 p. URL: https://unece.org/DAM/trans/doc/2016/sc1/ECE-TRANS-SC1-2016-03-Rev1e.pdf (дата звернення 23.05.2024).

2. REGULATION (EU) No 1315/2013 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2013 on Union guidelines for the development of the trans-European transport network and repealing Decision No. 661/2010/EU. 128 p. URL: http://publications.europa.eu/resource/cellar/f277232a-699e-11e3-8e4e-01aa75ed71a1.0006.01/DOC_1 (дата звернення 17.07.2023).

3. DIRECTIVE (EU) 2021/1187 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 7 July 2021 on streamlining measures for advancing the realization of the trans-European transport network (TEN-T). 13 p. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021L1187 (дата звернення 18.07.2023).

4. COMMISSION DECISION of 12.5.2022 on the signing of a High-Level Understanding between the European Union and Ukraine on indicative maps of the Trans-European transport network in Ukraine, being a high level agreement within the meaning of Article 49(6) of Regulation (EU) No. 1315/2013 (TEN-T regulation). 8 p. URL: https://transport.ec.europa.eu/system/files/2022-05/C_2022_3204.pdf (дата звернення 20.07.2023).

5. Терещенко Т. А. Проєктування автомагістралей континентального, субконтиненттального та трансрегіонального сполучення в розрізі положень законодавчих актів ЄС. *Дороги і мости*. 2023. Вип. 28. С. 242–253 DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.242.

6. EN 13863-1:2003 Concrete pavements — Part 1: Test method for the determination of the thickness of a concrete pavement by survey method. CEN-CENELEC Rue de la Science. 23, B-1040, Brussels. Belgium. 2003. 4 p.

7. ГБН В.2.3-37641918-555:2016 Автомобільні дороги. Транспортні розв'язки в одному рівні. Проектування. Зі зміною № 1. Київ, Міністерство інфраструктури України, 2022. 64 с. (Інформація та документація).

8. Alberta Transportation Highway Geometric Design Guide. Chapter E: Freeways and Interchanges. 2022. 29 p. Посилання для доступу trans-highway-geometric-design-guide-chapter-e-2022-02.pdf (дата звернення 02.07.2024).

9. Himes, S., Vikash Gayah, Gooch, J., O'Connor, G., and Thanh Le. Safety Comparisons Between Interchange Types. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Report No. FHWA-HRT-23-049. 2022. 108 p. URL: https://highways.dot.gov/sites/fhwa.dot.gov/ files/FHWA-HRT-23-049.pdf (дата звернення 02.07.2024)

10. Plummer, C. W., Pietrucha, M. T., and Mason, J. M. Design of Interchange At-Grade Ramp Terminals. *Transportation Research Board,Transportation Research Record*, Vol. 1385-020, P. 155–161. URL: https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1993/1385/1385-020.pdf (дата звернення 02.07.2024).

References

1. EUROPEAN AGREEMENT ON MAIN INTERNATIONAL TRAFFIC ARTERIES (AGR) Consolidated version ECE/TRANS/SC.1/2016/3/Rev.1 1 November 2016. 43 p. URL: https://unece.org/DAM/trans/doc/2016/sc1/ECE-TRANS-SC1-2016-03-Rev1e.pdf (Last accessed 23.05.2024) [in English].

2. REGULATION (EU) No 1315/2013 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2013 on Union guidelines for the development of the trans-European transport network and repealing Decision No 661/2010/EU. 128 p. URL: http://publications.europa.eu/resource/cellar/f277232a-699e-11e3-8e4e-01aa75ed71a1.0006.01/DOC_1 (Last accessed 17.07.2023) [in English].

3. DIRECTIVE (EU) 2021/1187 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 7 July 2021 on streamlining measures for advancing the realization of the trans-European transport network (TEN-T). 13 p. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021L1187 (Last accessed 18.07.2023) [in English].

4. COMMISSION DECISION of 12.5.2022 on the signing of a High-Level Understanding between the European Union and Ukraine on indicative maps of the Trans-European transport network in Ukraine, being a high level agreement within the meaning of Article 49(6) of Regulation (EU) No. 1315/2013 (TEN-T regulation). 8 p. URL: https://transport.ec.europa.eu/system/files/2022-05/C_2022_3204.pdf (Last accessed 20.07.2023) [in English].

5. Tereshchenko T. A. Proiektuvannia avtomahistralei kontynentalnoho, subkontynentalnoho ta transrehionalnoho spoluchennia v rozrizi polozhen zakonodavchykh aktiv EU. (Design of continental, subcontinental and transregional highways in the context of provisions of legislative acts of EU). *Dorogi i mosti*. Kyiv, 2023. Issue 28. P. 242–253 DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.242 [in Ukrainian].

6. EN 13863-1:2003 Concrete pavements — Part 1: Test method for the determination of the thickness of a concrete pavement by survey method. CEN-CENELEC Rue de la Science. 23, B-1040, Brussels. Belgium. 2003, 4 p. [in English].

7. HBN V.2.3-37641918-555:2016 Avtomobilni dorohy. Transportni rozviazky v odnomu rivni. Proektuvannia. Zi zminoiu No. 1. (Industry building norms. Motor roads. At-grade interchanges). Kyiv, 2022. 64 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

8. Alberta Transportation Highway Geometric Design Guide. Chapter E: Freeways and Interchanges. 2022. 29 p. Access link: trans-highway-geometric-design-guide-chapter-e-2022-02.pdf (Last accessed 02.07.2024) [in English].

9. Himes, S., Vikash Gayah, Gooch, J., O'Connor, G., and Thanh Le. Safety Comparisons Between Interchange Types. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Report No. FHWA-HRT-23-049. 2022. 108 p. URL: https://highways.dot.gov/sites/fhwa.dot.gov/files/FHWA-HRT-23-049.pdf (Last accessed 02.07.2024) [in English].

10. Plummer, C. W., Pietrucha, M. T., and Mason, J. M. Design of Interchange At-Grade Ramp Terminals. *Transportation Research Board,Transportation Research Record*, Vol. 1385-020. P. 155–161. URL: https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1993/1385/1385-020.pdf (Last accessed 02.07.2024) [in English].

Tatyana Tereshchenko, *Ph.D., Sen. Research, https://orcid.org/0000-0001-5206-9921*

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

INTERCHANGE SYSTEMS. INTERCHANGES. USED TERMINOLOGY

Abstact

Introduction. In the introduction to the paper, the common questions concerning the assurance of the terminological congruence of national standards' provisions, when being harmonized, with provisions of regional or international standards were outlined and also important sources of appropriate regional information in the sector of the transport infrastructure were identified.

Problem statement. The issue of the paper concerns terminological matter in the domain of definitions for the interchange systems on motor roads peculiarly those constituting international traffic arteries and for elements of such systems.

Purpose. The paper is aimed on the analysis of scientific sources and provisions of the EU regulatory acts to state the problems and develop the propositions concerning initial points for the enlargement of the structure of terminology relating the interchange systems on motor roads constituting international traffic arteries.

Results. The analysis of functional requirements and the international motor roads classification with motorways as the main component as well as the terminology relating interchange systems and their elements was performed within the frame of the European Agreement on main international traffic arteries. The stratification for those systems' elements was proposed and general requirements for the design of interchanges on the motorways constituting international traffic arteries were reviewed.

Also, considering the road building industry experience beyond the European continent, the safety-concerning design decisions for the interchanges' elements not covered by the above mentioned European Agreement were briefly analyzed.

Conclusions. Regarding the results of the performed analysis it is proposed to state the task to enlarge the structure of terminology for definition of an interchange system on motor roads constituting international traffic arteries and elements of those systems as well, particularly for interchanges as the main component of the safety-concerning design.

As the initial point for the adequate elaboration of terminology, the proposed stratification of elements of the interchange system on motor roads constituting the international traffic arteries may be used.

Keywords: interchange systems, interchanges, international motor road, international traffic arteries, motorway, slip road, traffic flow.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.407

УДК 504.05:625.7

Кірпіч О. В., *https://orcid.org/0009-0001-4240-7218*

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

ЗИМОВЕ УТРИМАННЯ, БОРОТЬБА ІЗ СНІГОПРИНОСАМИ, ЗИМОВОЮ СЛИЗЬКІСТЮ, ВИКОРИСТАННЯ ПРОТИОЖЕЛЕДНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇХНІЙ ВПЛИВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Анотація

Вступ. Одні із найважливіших дорожніх робіт є роботи з експлуатаційного утримання автомобільних доріг, які включають технічний нагляд за автомобільною дорогою, дорожніми спорудами та смугою відводу для своєчасного виявлення та усунення дефектів, забезпечення роботи елементів автомобільної дороги, у тому числі штучних споруд, у різні періоди року, зокрема у зимовий період, утримання їх в належному експлуатаційному стані та інші.

Проблематика. Виконання робіт із зимового утримання, а саме використання методів боротьби із снігоприносами, ліквідації зимової слизькості має як і позитивний, так і негативний вплив на навколишнє середовище, що зумовлено використанням технічної солі, як один із методів попередження та ліквідації ожеледиці. Такий плавильний протиожеледний матеріал прискорює руйнування дорожнього покриву, знижує врожайність, забруднює ґрунт та водойми.

Мета. Розгляд основних дорожніх робіт, які виконують дорожні підприємства при зимовому утриманні автомобільних доріг та їхні наслідки для стану дорожнього покриву, смуги відведення, ґрунту та водойм. Аналіз досвіду інших країн щодо екологічних підходів, спрямованих на зимове утримання автомобільних доріг з урахуванням наслідків для екосистеми.

Матеріали та методи. Під час написання статті здійснено спостереження та порівняння робіт із зимового утримання автомобільних доріг дорожніх організацій, зокрема методи та заходи щодо снігоборотьби, ліквідації зимової слизькості та їхній вплив на навколишнє середовище.

Результати. У роботі охарактеризовано виконання основних видів робіт з експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування у зимовий період, досліджено їхню дію на стан дорожнього покриву, штучних споруд та оточуючого довкілля в цілому.

Висновки. Розгляд та опрацювання застосування методів ліквідації зимової слизькості, ліквідації ожеледиці без використання плавильних протиожеледних матеріалів, а саме технічної солі, що негативно впливає на навколишнє середовище.

Ключові слова: автомобільна дорога, зимова слизькість, протиожеледні матеріали, снігозахист, тимчасові снігозатримуючі засоби.

Вступ

Для забезпечення безпечного та безперебійного руху транспортних засобів автомобільними дорогами, дорожні організації виконують роботи із експлуатаційного утримання, особливо важливим є належне виконання таких робіт у зимовий період року. Але виконання дорожніх робіт із зимового утримання мають як і позитивні, так і негативні наслідки для оточуючого навколишнього середовища.

Своєчасне та якісне виконання робіт із очищення проїзної частини та узбіч від снігу, встановлення на необхідних ділянках снігозатримуючих засобів зменшує зволоженість земляного полотна, пришвидшує відтік води при таненні снігу, що продовжує строк служби дорожнього одягу, а також затримує вологість у смузі відводу та на сількогосподарських угіддях, що у свою чергу позитивно впливає на ґрунт.

Крім того, під час настання зимового періоду та під час несприятливих погодних умов, на дорожньому покриві виникають сніжно-льодові утворення. Вказане веде до необхідності виконання робіт із усунення зимової слизькості за допомогою спеціальних протиожеледних сумішей. Зокрема, найбільш популярний метод для попередження утворення ожеледиці на дорожньому покриву доріг та ліквідації зимової слизькості, є розподілення такого протиожеледного матеріалу як технічна сіль. Технічна сіль, розсоли чи протиожеледні матеріали із вмістом технічної солі негативно впливають на дорожній покрив та на навколишнє середовище в цілому. Дія технічної солі знижує придатність ґрунтів для вирощування рослин, стає причиною їхнього уповільненого росту та в'янення. Крім того, суміші із вмістом солі або використання її в чистому вигляді негативно впливають і на фауну. Слід вказати про руйнування металевих частин транспортних засобів і корозію дорожньої техніки, призначеної для розподілення протиожеледних матеріалів.

Основна частина

У зимовий період року при утриманні автомобільних доріг виконують наступні дорожні роботи:

— оброблення автомобільних доріг протиожеледними матеріалами для боротьби із зимовою слизькістю та ожеледицею, зокрема і з метою профілактики;

— снігоочищення доріг, видалення снігових валів і розчищення снігових заметів, зокрема на об'єктах дорожнього сервісу;

— заготівля протиожеледних матеріалів і приготування протиожеледних сумішей і розчинів;

— аварійні роботи з ліквідації пошкоджень, руйнувань і деформацій дорожнього покриву (вибоїни, просадки, здимання тощо);

— інші роботи (виготовлення, встановлення або переустановлення, відновлення та демонтаж тимчасових снігозатримуючих засобів, систематичне патрулювання доріг та чергування інженерно-технічних працівників, робітників, машиністів і дорожньої техніки, виготовлення, встановлення та зняття сигнальних віх, встановлення та демонтаж тимчасових знаків тощо).

Слід зазначити, що розрізняють пасивний снігозахист автомобільних доріг та боротьбу із зимовою слизькістю.

Пасивний снігозахист полягає у влаштуванні снігових валів, снігозахисних насаджень і тимчасових снігозатримуючих засобів. Можуть також застосовувати вказані способи комплексно. Для оперативності виконання робіт щодо запобігання снігоприносу на ту чи іншу ділянку автомобільної дороги, поширеним є влаштування тимчасових снігозатримуючих засобів, зокрема хмизових, решітчастих щитів чи полімерних сіток. До початку зимового періоду дорожнім підприємствам потрібно у необхідній кількості заготовити нові та відремонтувати вже існуючі снігозатримуючі засоби. А вже безпосередньо перед ускладненням погодних умов, на виконання завдань замовників робіт, такі засоби мають бути встановленні на конкретні ділянки автомобільних доріг. При цьому потрібно пам'ятати, що відкладення снігу утворюється за снігозатримуючими засобами, а не перед ними, тому відстань від дороги до ближнього ряду щитів слід брати не менше 15 висот щита. Число рядів і порядок перестановки щитів встановлюють залежно від об'єму снігоприносу. Щити піднімають шляхом перевішування на опорах при їх заповнені снігом. Щити потрібно переставляти або підіймати, коли висота снігових відкладень біля них становитиме від 2/3 до 3/4 висоти щита або щит закритий снігом на 0,5 м. Більшу снігоємкість, довговічність та ефективність мають тимчасові снігозатримуючі засоби з полімерних матеріалів. Внаслідок відмінних аеродинамічних характеристик, такі засоби практично не заносяться снігом та забезпечують захист доріг при об'ємі снігоприносу до 100 м^3/м. Однорядна лінія тимчасових просторових засобів без додаткового переставляння та підняття на стійках забезпечує снігозахист доріг при об'ємі снігоприносу до 50 м^3/м. При об'ємі снігоприносу більше 50 м^3/м доцільно застосовувати дворядні лінії тимчасових просторових засобів. У цьому випадку відстань між рядами та від дороги становить 30 висот тимчасових просторових засобів. На теперішній час у дорожніх організаціях набирає популярність влаштування снігозахисних пристроїв з полімерних сіток, які є швидкі у встановлені та

простими в утриманні. Встановлюють їх у Київській, Рівненській, Полтавській та інших областях. Такі сітки влаштовують на заздалегідь укріплених опорах на висоті 25 – 30 см над рівнем землі на відстані 55 – 60 м від брівки земляного полотна (**рис. 1**). Снігозатримувальні пристрої з полімерних сіток зберігають на території дорожньої організації. Згорнуті в рулони сітки складають в штабелі, які не займають багато місця.



Рисунок 1 — Встановлення полімерних сіток

Належне виконання робіт із влаштування пасивного снігозахисту запобігає відкладанню снігу на автомобільних дорогах, який затримується відповідно на полях, поза дорогою. Внаслідок чого, зокрема затримки вологи, підвищується врожайність на сількогосподарських угіддях. Тобто, влаштування засобів пасивного снігозахисту має позитивний вплив як на автомобільні дороги, так і на досягнення кращих результатів збору урожаю.

На відміну від пасивного снігозахисту автомобільних доріг, боротьба із зимовою слизькістю полягає у видаленні снігових відкладень механізованим способом або вручну та оброблення покриву протиожеледними матеріалами. Очищення від снігу повинно забезпечувати такий стан дороги, при якому максимально задовольняються вимоги безперервного, зручного та безпечного руху транспортних засобів із розрахунковою швидкістю. Повне очищення від снігу автомобільних доріг загального користування здійснюють після закінчення снігопаду або завірюхи, якщо вони не віднесені до небезпечних метеорологічних явищ чи ситуацій, у термін, регламентований згідно з ДСТУ 3587:2022. Очищення найчастіше виконують одно-відвальними автомобільними снігоочисниками, які, розпочинаючи з середини дороги, розчищають сніг з переміщенням його від осі дороги до узбіч, а потім і самих узбіч, які також обов’язково потрібно розчищати від снігу. При виконанні робіт з очищення від снігу слід враховувати наявність поперечного сильного вітру, напрямок якого протилежний напрямку перенесення снігових відкладень. Вказане значно знижує ефективність виконання робіт з очищення автомобільних доріг від снігу. Тому при сильному боковому вітрові снігоочищення слід вести так, щоб напрямок переміщення снігу збігався з напрямком вітру.

За товщини сніговідкладень до 0,6 м, снігоочищення виконують плужними автомобільними снігоочисниками або автогрейдерами. Для розчищення снігових заметів застосовують весь комплекс снігоочисної техніки (**рис. 2**). Якщо розчищення ведуть під час хуртовини плужні снігоочисники працюють в комплексі з роторними.

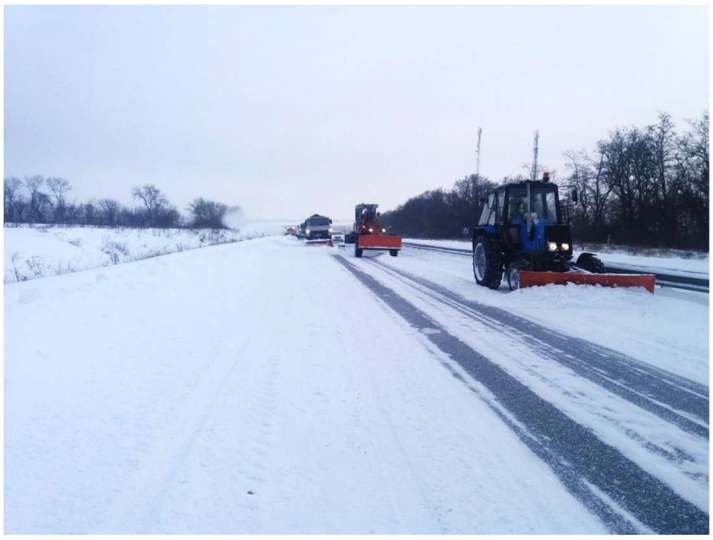


Рисунок 2 — Приклад роботи комплексу дорожньої техніки при розчищенні снігових заметів

За товщини снігових відкладень від 0,6 м до 1,0 м, перший прохід снігоочищення відбувається плуговим тракторним снігоочисником.

За товщини снігових відкладень більше 1,0 м, їх розчищають бульдозерами або роторними снігоочисниками.

Для очищення від снігу доріг, які проходять через населені пункти, слід застосовувати роторні снігоочисники тільки легкого та середнього типу. Важкі роторні снігоочисники застосовують для очищення від снігу доріг, що проходять поза населеними пунктами (**рис. 3**). Шнекороторні снігоочисники здатні виконувати роботи на снігу середньої щільності та твердості, а фрезеро-роторні снігоочисники призначені для розроблення твердого та залежаного снігу великої щільності і замерзлого.



Рисунок 3 — Приклад роботи шнекороторного снігоочисника після завершення екстремальних погодних умов у зимовий період

Останні роки в Україні спостерігаються відносно не холодні зими, з температурою повітря, яка часто «переходить» через 0 °С, що спричиняє руйнування проїзної частини автомобільної дороги.

При плюсовій температурі волога потрапляє у пори і тріщини (навіть мікро-тріщини) дорожнього одягу і при знижені температури вона замерзає, збільшується в об'ємі, зв'язки в конструктивних шарах послаблюються і, як наслідок, руйнується дорожній покрив. При незадовільній роботі дорожніх підприємств з видалення снігових відкладень, даний процес швидко прискорюється.

Негативно на стан дорожнього покриву впливають також плавильні засоби, такі як технічна сіль, яку використовують для боротьби із зимовою слизькістю дорожні підприємства як в чистому вигляді, так і у вигляді розсолів або у складі піщано-соляної суміші. Слід також зазначити, що для боротьби із зимовою слизькістю застосовують механічний, фрикційний, фізико-хімічний, хімічний та хімічно-фрикційні способи.

Механічний спосіб полягає в сколюванні льоду з поверхні та видалені його за межі узбіччя. Такий спосіб практично не використовується на дорожньому покриві автомобільних доріг.

Фрикційний спосіб полягає в розсипанні фрикційних матеріалів, які підвищують коефіцієнт зчеплення, але не ліквідують зимову слизькість. Вказаний спосіб можуть використовувати при температурах нижче мінус 20 °С.

Фізико-хімічний спосіб, який не популярний в дорожніх організаціях, полягає в попередньому обробленні покриву хімічними реагентами, які поліпшують його гідрофобні властивості. Для гідрофобізації використовують кремнійорганічні рідини. Оскільки після оброблення такими речовинами покриву знижується коефіцієнт зчеплення, потрібно обмежувати швидкість руху до 35 км/год.

Найбільш частіше використовують для боротьби із зимовою слизькістю хімічний та хіміко-фрикційний способи.

Хімічний спосіб полягає у розподілені плавильних протиожеледних матеріалів у чистому вигляді, наприклад технічної солі (технічний хлористий натрій) — найбільш поширений плавильний протиожеледний матеріал. Слід вказати, що за температури повітря від мінус 10 °С і менше, технічна сіль починає втрачати свої плавильні якості, а за температури менше мінус 15 °С застосовувати такий плавильний матеріал взагалі не доцільно.

Хіміко-фрикційний спосіб передбачає змішування кристалічних протиожеледних матеріалів з інертними (пісок, відсів) в кількості, що забезпечує розподілення протиожеледних матеріалів, як і при хімічному способі. Така суміш краще закріплюється на поверхні, а зерна фрикційного матеріалу забезпечують підвищення шорсткості поверхні.

При приготуванні сумішей для хіміко-фрикційного способу вміст технічної солі визначається з урахуванням мінімальних норм розподілення, яку може забезпечити наявна техніка, виду сніжно-льодяних утворень, забезпечення технологічності суміші, вимог охорони навколишнього середовище і може коливатися від 5 % до 50 %.

З метою попередження утворення сніжного накату технологія робіт передбачає розподіл хімічних протиожеледних матеріалів під час снігопаду поки сніг щойно випав, але не ущільнився. Згодом приступають до розподілу піщано-соляної суміші. Після припинення снігопаду видаляються залишки снігу з дорожнього покриву за допомогою снігоприбиральної техніки.

При слабкому снігопаді з інтенсивністю до 3 см/год розподілення протиожеледних матеріалів розпочинається після 30 – 40 хв після його початку. При снігопаді інтенсивністю 3 – 5 см/год розподілення протиожеледних матеріалів розпочинають через 20 – 30 хв. При снігопаді 5 – 8 см/год — через 10 – 20 хв. При снігопаді з інтенсивністю більше 8 см/год розподілення протиожеледних матеріалів виконують одночасно з проведенням снігоочистки.

При снігопаді з інтенсивністю більше 5 см/год і температурою атмосферного повітря до мінус 5 ºС профілактичну обробку покриву виконують технічною сіллю у чистому вигляді або піщано-соляною сумішшю (норма розподілення технічної солі 10 – 15 г/м^2), а за температури від мінус 5 ºС до мінус 10 ºС — за норми розподілення технічної солі від 20 г/м^2 до 40 г/м^2.

Для запобігання утворення сніжно-льодового накату за прогнозованого різкого зниження температури, снігоочищення розпочинають негайно після отримання повідомлення метеослужби. Роботи не припиняють до повного прибирання снігу. Якщо ущільнений сніг не був видалений вчасно

і при різкому пониженні температури та при утворенні накату, покриття обробляють чистою сіллю (температура до мінус 10 ºС) за нормою розподілення 15 – 30 г/м^2, піщано-соляною сумішшю (температура від мінус 11 ºС до мінус 15 ºС) за нормою розподілення технічної солі 50 г/м^2. При температурі менше за мінус 15 ºС покриття обробляють піщано-соляною сумішшю з мінімальним вмістом солі (5 %) при нормі розподілення 150 – 400 г/м^2 або навіть можливо обробляти тільки фрикційними матеріалами.

Технічна сіль має негативну дію на навколишнє природне середовище, тому потрібно дотримуватися наступних вимог:

— транспортувати технічну сіль необхідно у закритих вагонах за температури атмосферного повітря вище 0 ºС. При перевезені автотранспортом у дощову погоду необхідно також накривати технічну сіль брезентом або поліетиленовою плівкою;

— перемішування технічної солі з інертними матеріалами, складування та збереження твердих хлоридів необхідно здійснювати на майданчиках з асфальтобетонним покривом або іншим твердим покривом, забезпечених водовідводом з улаштуванням колодязів для збирання розмолу, що виключають просочування розчинів у ґрунт. Майданчики для зберігання протиожеледних матеріалів розташовують за межами водоохоронних зон водойм та першого, другого і третього поясів зон санітарної охорони джерел господарчо-питного водопостачання. При розподілі хлоридів, дорожні підприємства мають дотримуватись норм розпису, виходячи із виду зимової слизькості, температури повітря та товщини сніжно-льодяних утворень на проїзній частині доріг і виду протиожеледного матеріалу.

На практиці технічну сіль у чистому вигляді зберігають у закритих приміщеннях, ангарах, що унеможливлює попадання атмосферних опадів і затвердіння такого плавильного матеріалу.

Піщано-соляну суміш готують і зберігають здебільшого на відкритих майданчиках, які не завжди мають твердий покрив та не забезпечено належним чином водовідвід (**рис. 4**). Звичайно ж, з часом, технічна сіль потрапляє в ґрунт та відповідно у стічні води.



Рисунок 4 — Процес змішування технічної солі з фрикційними матеріалами на місці безпосередньо зберігання протиожеледної суміші

Також, щороку дорожніми підприємствами тільки для попередження або ліквідації зимової слизькості на автомобільних дорогах загального користування використовується понад 200 тис. т технічної солі, яка потрапляє в ґрунтові води.

Такий плавильний матеріал не тільки має шкідливий вплив на родючість ґрунту, знищуючи рослинність, але й значно прискорює корозію металевих конструкцій транспортних засобів, самих

дорожніх машин і механізмів, псує взуття, одяг та й у цілому негативно діє на навколишнє середовище. Крім того, що важливо, технічна сіль прискорює руйнування штучних споруд (мостів, шляхопроводів тощо), руйнуючи бетон, є причиною корозії арматури, а також руйнування дорожнього покриву, особливо при «переході» температури навколишнього середовище через позначку 0 ºС. За наявності технічної солі, такий процес руйнування дорожнього покриву відбувається в рази швидше і навесні ми бачимо пошкоджену проїзну частину у вибоїнах, просіданнях, тріщинах та в інших деформаціях. Слід зауважити, що для дорожнього покриву з цементобетонним покриттям (жорсткий дорожній одяг) застосовувати технічну сіль для обробки взагалі заборонено.

У такому разі, можна задуматися про інші методи боротьби із зимовою слизькістю. Слід зауважити, що не всі країни світу використовують такі методи для попередження та ліквідації ожеледиці, як в Україні.

Так, у разі сильних снігопадів скандинавські країни та країни Балтії застосовують сіль, але значно знижуючи її концентрацію і, відповідно, шкідливий ефект. Сіль попередньо зволожується всередині снігоприбиральної машини, після чого розпорошується на кригу за допомогою спеціального дозатора. Таким чином мінімізується вплив солі на ґрунт і дороги.

У Швейцарії дрібний пісок у пропорції 7 : 3 змішують із гарячою водою і розбризкують на вулицях (у 2004 році запропонував вчений Торгейр Ваа). Гарячий пісок буквально вплавляється в кригу, роблячи її поверхню абразивною. Метод, хоч і потребує відповідної техніки, є доволі економічним. Однак такого оброблення вистачає до нового снігопаду. Без опадів ефект діє впродовж 3 – 7 днів.

Стратегія боротьби з ожеледицею в США напряму залежить від клімату, географії та навіть традицій штату. Наприклад, у Вірджинії та Меріленді, застосовують хлорид магнію, який видобувають у Великих солоних озерах штату Юта. Реагент доволі ефективно витоплює кригу, проте, як і будь-яка сіль, не є абсолютно безпечним. У відомому горілчаною промисловістю штаті Теннессі знайшли застосування залишкам виробництва — картопляному соку. Змішаний із сіллю, він зменшує її концентрацію. Подібну технологію, але з додаванням соку цукрових буряків, використовують в Онтаріо та Квебеку в Канаді. Цей метод має низку переваг. По-перше, буряковий сік робить розчин щільнішим, сіль краще «прилипає» до криги та розтоплює її. По-друге, такий розчин дуже морозостійкий і не втрачає властивостей навіть за мінус 20 ºС. По-третє, натуральний буряковий сік сам по собі є реагентом і на третину зменшує обсяг солі.

Також поширеним у країнах Європи є метод фракції. Для обробки покриву використовують дуже дрібний гравій і кам'яну крихту, що є безпечними і для кузовів автомобілів, і для асфальтобетонного покриву. Цей метод не усуває ожеледицю повністю, проте значно збільшує зчеплення з поверхнею, крім того, є екологічним та придатним для повторного застосування. Згодом спеціальні машини збирають сніг разом із кам’яним матеріалом для повторного використання. Такий самий підхід взяли на озброєння і практичні фіни.

Крім зазначених методів ліквідації зимової слизькості варто розглянути й інші методи, деякі із них наведені у [5].

На теперішній час існує досить багато різних методів боротьби із зимовою слизькістю відмінних від тих, які використовують в Україні і мають менш шкідливий вплив на навколишнє середовище. Вважаємо, що дорожнім організаціям, які займаються зимовим утриманням автомобільних доріг слід розглянути можливість їхнього застосування у своїй практиці.

Висновки

В основному в Україні для боротьби із зимовою слизькістю та з метою її попередження використовують протиожеледні суміші, які містять технічну сіль або використовують її в чистому вигляді, або у вигляді розсолів. Технічна сіль має шкідливий вплив на родючість ґрунту, знищуючи рослинність, прискорює руйнування штучних споруд (мостів, шляхопроводів тощо) і також дорожнього покриву, прискорює корозію металевих конструкцій транспортних засобів, самих дорожніх машин і механізмів та й, у цілому, негативно діє на оточуюче довкілля.

Тому, для зменшення впливу на навколишнє природнє середовище шкідливих хімічних елементів, слід розглянути та застосовувати на практиці інші методи боротьби із зимовою слизькістю, відмінні від тих, що застосовуються на теперішній час в Україні та практика використання яких прижилася в нас ще із радянських часів. Наприклад, застосовувати метод фракції, використовуючи при цьому дуже дрібний гравій і кам'яну крихту, що є безпечними і для кузовів авто, і для дорожнього покриву. Такий метод є екологічним та придатним для повторного застосування фракційних матеріалів. Звичайно ж, відразу переходити один із вищевказаних методів ліквідації зимової слизькості, на теперішній час може бути складно, але, для початку, можна застосовувати їх під час виконання робіт із зимового утримання на окремих територіальних або регіональних автомобільних дорогах загального користування державного значення і на окремих автомобільних дорогах місцевого значення або на їхніх ділянках.

Список літератури

1. ДСТУ 9185:2022 Настанова щодо зимового утримування автомобільних доріг. Київ 2023. 78 с. (Інформація та документація).
2. ДСТУ 3587:2022 Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги. Вимоги до експлуатаційного стану. Київ 2022. 23 с. (Інформація та документація).
3. ПГ.1-218-118:2005 Єдині правила зимового утримання автомобільних доріг. Київ, Харків 2005. 105 с. (Інформація та документація).
4. Харитонова Н. М., Ярощук Л. С. Заходи з покращення екологічного стану довкілля у зоні впливу автомобільних доріг. *Дороги і мости*. Київ, 2023. Вип. 28. С. 275–283. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.275.
5. Каськів В. І., Півторацький Д. С., Бідненко Н. А., Дубова О. А. Узагальнення міжнародного досвіду в боротьбі із зимовою слизькістю. *Дороги і мости*. 2021. Вип. 23. С. 225–236. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.23.225.
6. На Рівненщині шляховики вздовж дороги встановлюють снігозахисні щити. Рівне Медіа. URL: https://rivne.media/news/na-rivnenshchini-shlyakhoviki-vzdovzh-dorohi-vstanovlyuyut-snihozakhisni-shchiti-52515 (дата звернення 15.08.2024).
7. Чому сіль шкідлива для доріг, і як у Європі борються з ожеледицею? Укрінформ. URL: https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2831554-comu-sil-skidliva-dla-dorig-i-ak-u-evropi-borutsa-z-ozelediceu.html (дата звернення 15.08.2024).

References

1. DSTU 9185:2022 Nastanova shchodo zymovoho utrymuvannia avtomobilnykh dorih (Guidelines for winter road maintenance). Kyiv 2023. 78 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
2. DSTU 3587:2022 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Avtomobilni dorohy. Vymohy do ekspluatatsiinoho stanu (Road traffic safety. Automobile roads. Requirements for operational condition). Kyiv 2022. 23 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
3. PH.1-218-118:2005 Yedyni pravyla zymovoho utrymannia avtomobilnykh dorih (Uniform rules for winter road maintenance). Kyiv, Kharkiv 2005. 105 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
4. Kharytonova N. M., Yaroshchuk L. S. Zakhody z pokrashchennia ekolohichnoho stanu dovkillia u zoni vplyvu avtomobilnykh dorih (Measures to improve the ecological state of the environment in the area affected by highways). Dorohy i mosty. Kyiv, 2023. Issue 28. P. 275–283. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.275 [in Ukrainian].
5. Kaskiv V. I., Pivtoratskyi D. S., Bidnenko N. A., Dubova O. A. Uzahalnennia mizhnarodnoho dosvidu v borotbi iz zymovoiu slyzkistiu (Generalization of international experience in the fight against winter slippery conditions). Dorohy i mosty. 2021. Issue 23. P. 225–236. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.23.225 [in Ukrainian].
6. Na Rivnenshchyni shliakhovyky vzdovzh dorohy vstanovliuiut snihozakhysni shchyty (In the Rivne region, highwaymen install snow shields along the road). Rivne Media. URL: https://rivne.media/

news/na-rivnenshchini-shlyakhoviki-vzdovzh-dorohi-vstanovlyuyut-snihozakhisni-shchiti-52515 (data zvernennia 15.08.2024). [in Ukrainian].

7. Chomu sil shkidlyva dlia dorih, i yak u Yevropi boriutsia z ozheledytseiu? (Why is salt harmful to roads, and how do they fight ice in Europe) Ukrinform. URL: https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2831554-comu-sil-skidliva-dla-dorig-i-ak-u-evropi-borutsa-z-ozelediceu.html (data zvernennia 15.08.2024) [in Ukrainian].

Oleksandr Kirpich, *https://orcid.org/0009-0001-4240-7218*

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

WINTER MAINTENANCE, SNOW REMOVAL, WINTER SLIPPERINESS, USE OF DE-ICING MATERIALS AND THEIR ENVIRONMENTAL IMPACT

Abstact

Introduction. One of the most important road works is road maintenance work, which includes technical supervision of the road, road structures and right-of-way for timely detection and elimination of defects, ensuring the operation of road elements, including artificial structures, in different periods of the year, in particular, in the winter period, keeping them in proper operating condition, and others.

Problem statement. The performance of works on winter maintenance, namely the use of methods of combating snow drifts, elimination of winter slipperiness, has both a positive and a negative impact on the environment, which is due to the use of technical salt as one of the methods of ice prevention and elimination. Such melting anti-icing material accelerates the destruction of the road surface, reduces productivity, pollutes the soil and water bodies.

Purpose. Review of the main road works performed by road enterprises during the winter maintenance of highways and their consequences for the condition of the road surface, right-of-way, soil and water bodies. Analysis of the experience of other countries regarding ecological approaches aimed at the winter maintenance of highways, taking into account the consequences for the ecosystem.

Materials and Methods. During the writing of the article, observations and comparisons of works on winter maintenance of highways by road organizations were carried out, in particular, methods and measures for snow removal, elimination of winter slippage and their impact on the environment.

Results. The paper describes the performance of the main types of work on the operational maintenance of public highways in the winter period, their effect on the state of the road surface, artificial structures and the surrounding environment as a whole is investigated.

Conclusions. Consideration and elaboration of the application of methods of eliminating winter slippage, eliminating ice without the use of melting anti-icing materials, namely technical salt, which has a negative impact on the environment.

Keywords: highway, winter slipperiness, anti-icing materials, snow removal, temporary snow retention agents.

https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.416

УДК 625.768.6

Харитонова Н. М., *https://orcid.org/0000-0001-5732-3407*
Ярощук О. С., *https://orcid.org/0000-0003-1550-0131*

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

АЛЬТЕРНАТИВНІ ПРОТИОЖЕЛЕДНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ БОРОТЬБИ З УТВОРЕННЯМ ТА ЛІКВІДАЦІЇ ЗИМОВОЇ СЛИЗЬКОСТІ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

Анотація

Вступ. Зимовий період року є найскладнішим для експлуатації доріг та організації руху. До основних чинників, що впливають на умови руху автомобілів у зимовий період року відносять наявність ожеледиці та сніжно-льодового накату, які призводять до різкого зниження зчіпних якостей дорожнього покриву, погіршення його рівності збільшення опору коченню, тощо.

Проблематика. Проблемі щодо попередження утворення ожеледиці на автомобільних дорогах і боротьби з нею на сьогоднішній день, приділяється пріоритетна увага в усіх країнах, території яких щорічно зазнають впливу негативних температур. З метою боротьби із зимовою слизькістю на автомобільних дорогах в нашій країні довгий час використовували сіль заводу «Артемсіль». На початку війни завод було зруйновано. Тому виникла потреба у пошуку альтернативних протиожеледних матеріалів для автомобільних доріг і вулиць.

Мета. Виконати дослідження щодо можливості застосування альтернативних протиожеледних матеріалів (відходів промисловості, місцевих матеріалів тощо) для боротьби із зимовою слизькістю на автомобільних дорогах в умовах воєнного стану..

Матеріали і методи. Інформаційно-аналітичні, лабораторні випробування за діючими методиками щодо дослідження протиожеледних матеріалів.

Результати. Були виконані лабораторні дослідження 14 альтернативних протиожеледних матеріалів, які потенційно можна використовувати при запобіганні утворенню і ліквідації зимової слизькості під час зимового утримання на автомобільних дорогах і вулицях. Під часлабораторних досліджень лише 3 зразки відповідали вимогам національних стандартів.

Висновки. Лабораторні дослідження є лише першим етапом для пошуку та визначення властивостей альтернативних протиожеледних матеріалів. На наступних етапах передбачається визначення економічної ефективності застосування тих чи інших протиожеледних матеріалів з урахуванням регіонального та техніко-економічного критеріїв.

Ключові слова: автомобільна дорога, зимове утримання, протиожеледні матеріали, технічна сіль.

Вступ

Зимове утримання автомобільних доріг включає не тільки очищення проїзної частини від снігу, це комплекс робіт, які проводять дорожньо-експлуатаційні організації для забезпечення безперебійного та безпечного руху на автомобільних дорогах у зимовий період, і включають очищення доріг від снігу, їхній захист від снігових заносів і боротьбу із зимовою слизькістю, а також цілодобове чергування фахових працівників і техніки [1].

У теперішній час, у зв'язку з військовими діями на території України, дорожня галузь бореться із цілим рядом проблем, таких як доступність матеріалів та зростаюча їх вартість, управління каналами постачання тощо (**рис. 1**). Питання зимового утримання доріг також постало дуже гостро у зв'язку з дефіцитом технічної солі, яку зачасту використовували як матеріал протиожеледний плавильний (МПП), що стимулює пошук замінників існуючих протиожеледних матеріалів (ПОМ).

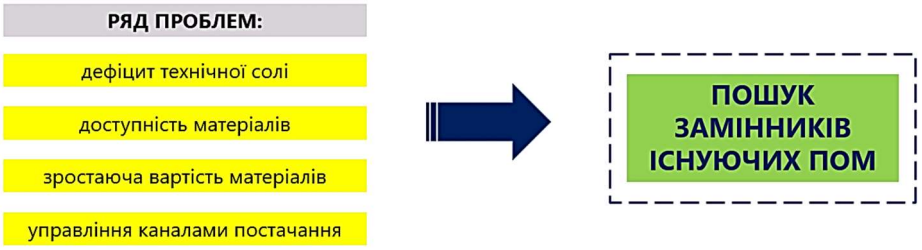


Рисунок 1 — Перелік проблемних питань щодо зимового утримання

З метою обґрунтування можливості застосування альтернативних протиожеледних матеріалів (відходів промисловості, місцевих матеріалів) для боротьби із зимовою слизькістю на автомобільних дорогах в умовах воєнного стану в лабораторії ДП «НІРІ» було випробувано низку матеріалів, результати яких і будуть представлені в даній статті.

Основна частина

Зима — найскладніший період для експлуатації доріг у багатьох країнах світу. Поряд із такими характерними для цього періоду явищами як хуртовини та снігопади, серйозною проблемою для сфери транспорту та зв'язку є утворення льодових відкладень.

Це створює труднощі у русі транспортних засобів і забезпеченні безпеки учасників дорожнього уху, а експлуатуючі організації не завжди можуть вирішити цю проблему.

З метою забезпечення безпеки дорожнього руху у зимовий період необхідно проводити відповідні заходи з утримання доріг. Ці операції в основному базуються на очищенні доріг від снігу і розподілі хімічних реагентів чи інертних матеріалів на дорогах спеціалізованим транспортом.

Зимова слизькість включає всі види сніжно-льодяних утворень на поверхні дорожнього покриву, що призводять до зниження коефіцієнта зчеплення колеса автомобіля з покривом [2].

Ожеледиця утворюється, як правило, за температури повітря від плюс 3 °С до мінус 5 °С і відносної вологості повітря понад 90 % та за відсутності реагентів на покритті. Ожеледиця з’являється на покритті у вигляді гладкої склоподібної плівки або у вигляді матової білої шорсткої кірки. Пухкий сніг на покритті утворюється під час випадання снігу та хуртовин. Найбільш інтенсивно сніг ущільнюється за температури повітря близько 0 °С. При несвоєчасному розсипанні протиожеледних матеріалів і прибиранні пухкого снігу, під дією автотранспорту сніг перетворюється у сніговий або сніжно-льодяний накат. Боротьба із зимовою слизькістю включає заходи щодо запобігання і ліквідації ожеледиці та сніжно-льодяного накату, профілактичного обробляння покриву для запобігання ожеледиці та ослаблення зчеплення льоду з поверхнею проїзної частини, розсипання фрикційного матеріалу із хімічними речовинами для плавлення снігу та льоду з наступним видаленням їх за межі проїзної частини.

Існує декілька традиційних технологічних прийомів боротьби із зимовою слизькістю на автомобільних дорогах. Серед них найбільш часто застосовуються:

— оброблення дорожнього покриву хлоридами, кристалічного або рідкого стану;
— посипання покриву фрикційним матеріалом, зокрема підігрітим;
— оброблення покриву піщано-соляною сумішшю;
— механічне прибирання снігового настилу.

Для ліквідації ожеледиці та сніжно-льодяного накату використовують такі протиожеледні матеріали:

— тверді – хлористий натрій (технічна сіль), піщано-соляна суміш, хлористий кальцій лусковидний, суміш хлористого натрію та кальцію, каїніт природний Стебниківського калійного заводу тощо;

— рідкі – розчини хлористого кальцію, хлористого натрію, бішофіт (хлористий магній), рідкі відходи хімічних виробництв, що містять у собі солі. Із хімічних засобів, які на теперішній час

найбільш розповсюджені для боротьби із зимовою слизькістю, вигідними з економічної точки зору є хлористі солі металів: хлористий натрій (NaCl — поварена сіль), хлористий кальцій ($CaCl_2$) і хлористий магній ($MgCl_2$).

На території України зосереджена велика кількість нерудних корисних копалин. Серед них родовища кам'яної солі, що зосереджені на Донбасі, у Дніпровсько-Донецькій западині, на Прикарпатті, Закарпатті та в озерах і лиманах Чорного й Азовського морів. Видобуток солі в Україні зосереджений в чотирьох соленосних басейнах (**рис. 2**).

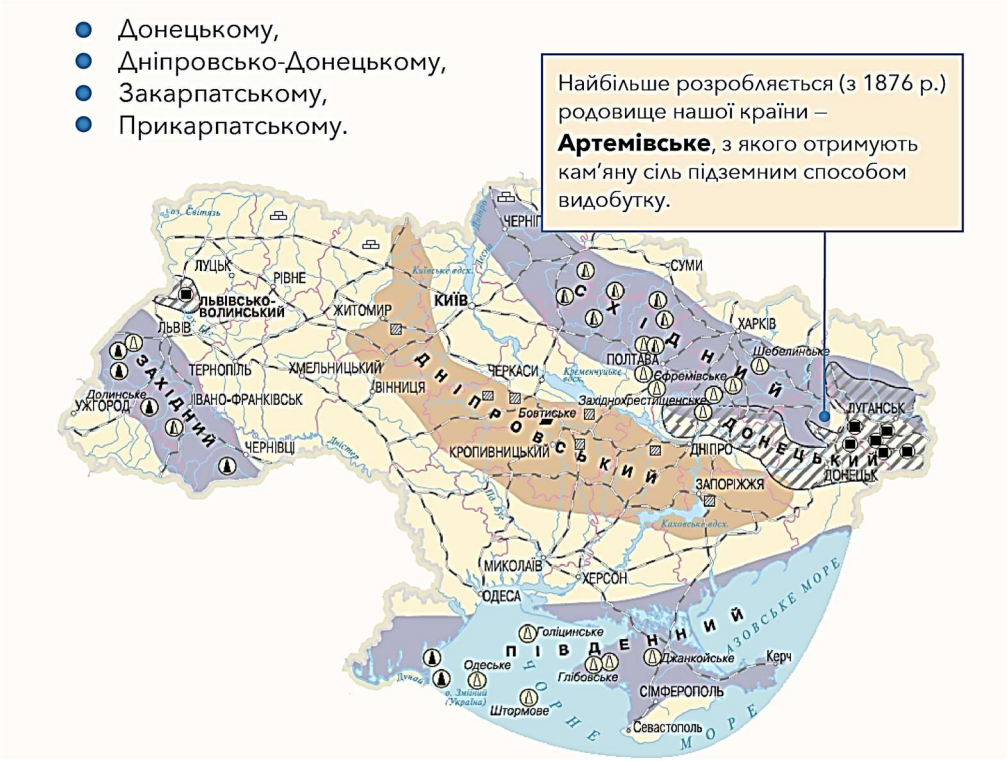


Рисунок 2 — Соленосні басейни в Україні

Найбільший соленосне родовище з видобутку солі в Україні — Артемівське, яке зосереджене у східному регіоні. Через військову агресію російської федерації була зупинена діяльність Державного підприємства «Артемсіль», найбільшого виробника солі в Європі, тому стало неможливим здійснювати закупівлю протиожеледного матеріалу у підприємства та здійснювати його заготівлю. Дефіцит солі наразі відчувається по всіх регіонах України.

Для пошуку альтернативних протиожеледних матеріалів для запобігання утворення та ліквідації зимової слизькості були направлені листи-запити до профільних організацій і місцевих органів самоврядування та надано оголошення в популярних соціальних мережах. На дослідження були надані відходи промисловості, супутні води видобування нафти і газу, розчини з природних родовищ тощо.

Виконано лабораторні дослідження 14 зразків матеріалів, які потенційно розглядаються як альтернатива традиційним протиожеледним матеріалам. Із них 11 зразків випробували як матеріали протиожеледні плавильні, 3 — матеріали протиожеледні фрикційні.

Серед характеристик і властивостей матеріалів протиожеледних плавильних основним показником є їхня плавильна здатність. Із матеріалів, що були досліджені за цим показником, задовольняють вимогам ДСТУ 8853 [3] три зразки:

— зразок 3 – розсіл із Солевиварювального Дрогобицького заводу (плавильна здатність становить 3,3 г/г);

— зразок 5 – розчин бішофіту від виробника (плавильна здатність становить — 6,2 г/г);

— зразок 10 – соляні відкладення Стебницького родовища у Львівській області (плавильна здатність становить — 21,8 г/г).

У **табл. 1** наведено інформацію щодо місця знаходження зазначених родовищ матеріалів та їхнього зовнішнього вигляду, результати лабораторних випробувань наведено в **табл. 2**.

Таблиця 1

Матеріали, протиожеледні плавильні

Ч.ч.	Зовнішній вигляд		Інформація щодо місця знаходження
Зразок 3		Розсіл – розчин прозорий, без осаду, без запаху	м. Дрогобич, Львівська область
Зразок 5		Розчин, світло-жовтого кольору, без осаду, без запаху	м. Полтава, Полтавська область
Зразок 10		Соляні відкладення – зволожені гранули, світло-сірого кольору, без запаху	Львівська область, Дрогобичцька ОТГ, Стебницьке родовище

Солевиварювальний Дрогобицький завод

Дрогобицька солеварня щонайменше від XIV ст. безперервно діяла на одному і тому ж місці, біля джерел «сировиці» — соляної ропи. Тому Дрогобицький солеварний завод, що працює й сьогодні, можна вважати найстарішим постійно діючим промисловим підприємством в Україні. Протягом століть розквіту Дрогобичу сприяла солеварня, яка постачала сіль не лише до Галичини і Закарпаття, але і для Волині, Холмської землі, Київщини.

На теперішній час, сировинною базою підприємства служить шурф № 1 (szyb Krolewski № 1), який введений в експлуатацію ще у 1473 році. Поперечий розріз цього шурфа (3,5 × 2,5) м, глибина 48,0 м, а насос для викачування розсолу встановлений на глибину 47,7 м. Дебіт шурфа складає 55 м^3/добу, середня мінералізація розсолу 300 г/л. Сьогодні на підприємстві випускається продукція двох видів: «Сіль кухонна виварна йодована» і «Сіль кухонна виварна без добавок», які мають Сертифікат відповідності Державної системи сертифікації «УКРСЕПРО», зареєстрований в Реєстрі за № 11А 1.021.Х003763-07. Сіль відповідає вимогам ДСТУ 3583:2015 [4].

Бішофіт

Бішофіт — це водний хлорид магнію $MgCl_2 \cdot 6H_2O$. Він є хемогенною речовиною — осадовим утворенням, отриманим у результаті кристалізації солей замкнутих водних басейнів. Цей мінерал був виявлений у цехштейнових відкладеннях Німеччини, вивченням його займався німецький хімік і геолог Карл Густав Бішоф, у честь якого згодом цей мінерал і названий. Мінерал відноситься до класу галогенідів. У природі знаходиться в складі відкладень морської солі пермського періоду. За складом — це хлормагнієвий комплекс із вмістом солей і мікроелементів: калію, кальцію, натрію, міді, заліза, кремнію, титану, молібдену, літію, бору, брому, йоду тощо.

У викопному стані бішофіт зустрічається у вигляді соляної зернисто-кристалічної породи. У чистому вигляді кристали бішофіту прозорі, але можуть мати забарвлення від білого до бурого кольору залежно від домішок.

Видобувають бішофіт методом підземного розчинення через свердловину. При видобутку методом підземного розчинення отримують не кристалічний бішофіт, а його водний розчин. Одержуваний водний розчин має ті ж властивості, що і кристалічний бішофіт. Це напівнасичений розчин щільністю (1,25 – 1,32) г/см^3, прозорий або жовтуватий, маслянистий на дотик, без запаху, не горючий, не вибухонебезпечний, гігроскопічний, не токсичний. Абсолютна в'язкість розчину становить 0,62 СПз при 50 °С.

Розчин природного бішофіту характеризується низькою корозійної активністю, яка не перевищує активність водопровідної води. Температура замерзання розчину природного бішофіту залежить від його щільності, орієнтовно мінус 35 °С.

Стебницьке родовище

Руди Стебницього родовища мають складний мінералогічний склад і представлені в основному сполученнями калію і магнію у хлористо-сульфатній формі. До 1966 року діючий калійний комбінат виробляв сиромолотий каїніт, який без збагачення поставляли сільському господарству. Від 1966 року на збагачувальній фабриці комбінату (нині ДГХП «Полімінерал») флотаційним методом почали випускати новий вид сульфатних добрив — калійно-магнієвий концентрат (калімаг) з вмістом до 19 % K_2O і 8 % – 9 % MgO. У 1961 році було введено в експлуатацію комплекс шахти «Нова» потужністю 1 млн т калійних солей на рік. У 1971 році потужність рудника Стебницького калійного комбінату дорівнювала 3,0 млн т руди на рік. З 1988 року розпочата реконструкція заводу з метою переводу його з флотаційної на галургійну схему перероблення руди і організації виробництва добрива калімагу (40 %) потужністю 145 тис. т на рік. У 1991 році побудована перша черга цеху з виробництва калійно-магнієвого добрива з вмістом 28 % K_2O і 5 % MgO на базі сиромолотого каїніту і привезеного хлористого калію. З 1992 року випуск цього добрива склав всього 4,7 тис. т. Запроваджений у 1966 році флотаційний метод збагачення руди у Стебнику виявився неефективним через багатокомпонентність складу руди, високий вміст глинистих домішок, значну різницю між проєктним і фактичним якісним складом руди. У результаті ступінь видобування калію із флотоконцентрату був дуже низьким, і цінні компоненти (калій- і магнійсульфати) спрямовували у відходи, які становили (0,7 – 0,8) т на 1 т руди. Кількість позабалансових розсолів складала 3 тис. м^3/добу. Як наслідок — нагромаджені мільйонні маси відходів розсолів у відстійниках, що призводить до екологічної катастрофи. Із цих причин у 2004 році припинено виробництво калійних руд на ДГХП «Полімінерал».

Таблиця 2

Результати випробувань матеріалів протиожеледних плавильних (МПП)

Найменування показників	Вимоги ДСТУ 8853		Результати випробувань		
	МПП тверді	МПП рідкі	МПП тверді	МПП рідкі	
			Зразок 10	Зразок 3	Зразок 5
Зовнішній вигляд	Гранули, кристали, луска або їхня суміш	Водний розчин без механічних включень і осаду	Гранули	Водний розчин без механічних включень і осаду	Водний розчин без осаду
Колір	Від білого до світло-сірого (допускається світлокоричневий, світлорожевий)	Світлий, прозорий (допускається із слабким забарвленням жовтого кольору)	Світло-сірий	Прозорий	Світло помаранчевого кольору

Кінець таблиці 2

Найменування показників	Вимоги ДСТУ 8853		Результати випробувань		
	МПП тверді	МПП рідкі	МПП тверді	МПП рідкі	
			Зразок 10	Зразок 3	Зразок 5
Запах	Відсутній			Відсутній	Відсутній
Зерновий склад, %, за масою, зерен розміром: – понад 10 мм – 1 мм і менше	Не допускається 15, не більше	–	15 %	–	–
Температура кристалізації, ^{0}C	–	Мінус 10	–	Мінус 18	Не кристалізується
Вміст нерозчинних у воді речовин, %, за масою*	2,5 не більше	–	19,8	–	–
Водневий показник, (pH)	5-9		–	7	5
Насипна густина, г/см^3	0,80-1,15	–	0,98	–	–
Густина розчину, г/см^3	–	1,1 – 1,3	–	1,19	1,21
Плавильна здатність, г/г	5, не менше	2,5, не менше	21,8	3,3	6,2
Масова концентрація хлориду натрію (калію), г/дм^3	–		–	–	–

* Цей показник хоч і передбачений **табл. 2** ДСТУ 8853 для твердих МПП, але на ефективність хімічного чи хіміко-фрикційного методу боротьби із зимовою слизькістю не впливає. Тому перевищення встановленої норми (навіть у значній мірі) вважаємо за можливе.

Встановлено, що вищенаведені природні розсоли, розчини магнію хлористого (бішофіт) та соляні відкладення можна використовувати для боротьби із зимовою слизькістю, зокрема попередження її утворення, під час зимового утримання мережі автомобільних доріг загального користування і вулиць.

Висновки

Фахівці ДП «НІРІ» провели дослідження альтернативних протиожеледних матеріалів для визначення можливості їхнього використання під час зимового утримання автомобільних доріг і вулиць населених пунктів.

Були виконані лабораторні дослідження 14 зразків матеріалів, які потенційно розглядались як альтернатива традиційним протиожеледним матеріалам. Із них 11 зразків випробували як матеріали протиожеледні плавильні, 3 — матеріали протиожеледні фрикційні.

Під час лабораторних робіт було випробувано розсоли натрієвих, калієвих і магнієвих солей, відходи від буріння нафтових свердловин. Серед характеристик і властивостей матеріалів протиожеледних плавильних основним показником є їхня плавильна здатність. Із матеріалів, що були досліджені за цим показником, задовольняли вимогам три зразки: зразок 3 — розсіл із

ДП «Солевиварювальний Дрогобицький Завод» (плавильна здатність становить 3,3 г/г); зразок 5 — розчин бішофіту (6,2 г/г) та зразок 10 — соляні відкладення Стебницького родовища у Львівській області (21,8 г/г).

У результаті виконах, досліджень були знайдені альтернативні протиожеледні матеріали, які можна використовувати для боротьби із зимовою слизькістю, зокрема попередження утворення та ліквідації її, при зимовому утриманні мережі доріг загального користування і вулиць населених пунктів.

Слід зазначити, що на даному етапі були виконані лише лабораторні дослідження вищезазначених матеріалів на відповідність їх вимогам ДСТУ 8853 [3], але є необхідність продовжити дослідження в напрямку економічної ефективності застосування тих чи інших протиожеледних матеріалів з урахуванням регіонального та техніко-економічного критеріїв.

Список літератури

1. Каськів В. І., Півторацький Д. С., Бідненко Н. А., Дубова О. А., Узагальнення міжнародного досвіду в боротьбі із зимовою слизькістю. *Дороги і мости*. Київ, 2021. Вип. 24. С. 225–236. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.23.225.

2. ДСТУ 9185:2022 Настанова щодо зимового утримування автомобільних доріг. Київ, 2022. 82 с. (Інформація та документація).

3. ДСТУ 8853:2019 Матеріали протиожеледні для автомобільних доріг. Технічні умови. Київ, 2019. 13 с. (Інформація та документація).

4. ДСТУ 3583:2015 Сіль кухонна. Загальні технічні умови. З поправкою. Київ, 2022. 16 с. (Інформація та документація).

5. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015. 104 с. (Інформація та документація).

6. П Г.1-218-118:2005 Єдині правила зимового утримання автомобільних доріг. Київ, 2005. 105 с. (Інформація та документація).

7. П Г.1-218-113:2009 Технічні правила ремонтів та утримання автомобільних доріг загального користування України. Київ, 2009. 253 с. (Інформація та документація).

References

1. Kaskiv V. I., Pivtoratskyi D. S., Bidnenko N. A., Dubova O. A., Uzahalnennia mizhnarodnoho dosvidu v borotbi iz zymovoiu slyzkistiu (Generalization of international experience in the fight against winter melt.). *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2021. Issue 24. P. 225–236. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.23.225 [in Ukrainian].

2. DSTU 9185:2022 Nastanova shchodo zymovoho utrymuvannia avtomobilnykh dorih (Guidelines for winter road maintenance). Kyiv, 2022. 82 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

3. DSTU 8853:2019 Materialy protyozheledni dlia avtomobilnykh dorih. Tekhnichni umovy (Anti-icing materials for highways. Technical conditions). Kyiv, 2019. 13 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

4. DSTU 3583:2015 Sil kukhonna. Zahalni tekhnichni umovy. Z popravkoiu (Table salt. General technical conditions. Z popravkoiu). Kyiv, 2022. 16 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

5. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo (Motor roads. Part I. Design. Part II. Construction). Kyiv, 2015. 104 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

6. P H.1-218-118:2005 Yedyni pravyla zymovoho utrymannia avtomobilnykh dorih. Kyiv, 2005. 105 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

7. P H.1-218-113:2009 Tekhnichni pravyla remontiv ta utrymannia avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia Ukrainy (Technical rules for repairs and maintenance of highways of general use in Ukraine). Kyiv, 2009. 253 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

Nataliia Kharytonova, *https://orcid.org/0000-0001-5732-3407*
Olesia Yaroshchuk, *https://orcid.org/0000-0003-1550-0131*

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

ALTERNATIVE DE-ICING MATERIALS FOR PREVENTION AND ELIMINATION OF WINTER SLIPPERINESS CONDITIONS ON ROADS

Abstract

Introduction. The winter season is the most challenging for road maintenance and traffic management. Key factors affecting vehicle movement during winter include the presence of ice and snow-ice buildup, leading to a sharp decline int tyre grip, increased rolling resistance, and deteriorating surface evenness.

Problem Statement. Addressing the prevention and elimination of ice on roads is a priority in all countries that experience negative temperatures annually. In our country, the salt from the "Artemsil" plant was traditionally used to combat winter slipperiness. However, the plant was destroyed at the beginning of the war, necessitating the search for alternative de-icing materials for roads and streets.

Objective. To study the possibility of using alternative de-icing materials (industrial waste, local materials, etc.) for combating winter slipperiness on roads during the martial law period.

Materials and Methods. Information-analytical methods and laboratory testing according to current standards for de-icing materials.

Results. Laboratory tests were conducted on 14 alternative de-icing materials, which have the potential to prevent and eliminate winter slipperiness on roads and streets. Only 3 samples met national standards during the laboratory testing process.

Conclusions. Laboratory research is only the first step in identifying the properties of alternative de-icing materials. Future steps will involve determining the economic efficiency of using these materials, taking into account regional and techno-economic criteria.

Keywords: road, winter maintenance, de-icing materials, technical salt.

Наукове видання

ДОРОГИ І МОСТИ

Збірник наукових праць

Випуск 30

Головний редактор Безуглий А. О.
Відповідальний редактор Каськів В. І.
Технічний редактор Шевчук О. П.

03113, м. Київ, просп. Берестейський, буд. 57, ДП «НІРІ»

тел. +38 (044) 206-98-90
імейл: roads_bridges@nidi.org.ua

Підписано до друку 15.10.2024
Формат 60х84 $^{1}/_{9}$. Папір офсетний. Друк цифровий.
Умовн.-друк. арк. 29,35. Фіз. друк. арк. 31,56.
Накладна 100 прим.
Поліграфія printto.ua, м. Київ (044) 205-34-34