

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

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



ДОРОГИ І МОСТИ

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

Випуск 21

ROADS AND BRIDGES

**Collection of scientific papers
Established in 2003**

Issue 21

КИЇВ
KYIV
2020

ISSN 2524-0994

УДК 625.7/.8

Дороги і мости : збірник наукових праць. Київ, 2020. Вип. 21. 282 с.

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

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

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

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

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

Відповідальний секретар: Гаєвська Н. М.

Члени редколегії: канд. техн. наук, ст. наук. співр. Бабяк І. П.; д-р техн. наук, доц. Батракова А. Г.; д-р техн. наук, проф. Белятинський А. О.; канд. техн. наук, ст. наук. співр. Вирожемський В. К.; д-р техн. наук, проф. Внукова Н. В.; д-р техн. наук, проф. Гамеляк І. П.; канд. техн. наук Головка С. К.; д-р техн. наук, проф. Дехтяр А. С.; канд. екон. наук, доц. Іванченко В. О.; канд. техн. наук, проф. Коваль П.М.; канд. екон. наук, доц. Концева В. В.; канд. техн. наук Краюшкіна К. В.; д-р техн. наук, доц. Лазаренко С. В.; д-р техн. наук, доц. Меленчук Т. М.; канд. техн. наук, доц. Нагайчук В. М.; д-р екон. наук, ст. наук. співр. Новікова А. М.; д-р техн. наук, доц. Онищенко А. М.; д-р техн. наук, проф. Прокудін Г. С.; д-р техн. наук, доц. Хрутьба В. О.; канд. техн. наук, доц. Шевчук Н. А.; д-р екон. наук Шемаєв В. В. **Зарубіжні члени редколегії:** Ph.D. (Eng.), Sen.Research. Bonin Гвідо (Італія); D.Sc. (Eng.), Prof. Гаспар Ласло (Угорщина); Ph.D. (Chem.), Associate Prof. Оліверо Росі Цезаре (Італія); D.Sc. (Sp. Tech.), Prof. Самберг Андре (Фінляндія); д-р техн. наук, проф. Телтаєв Багдат Бурханбайули (Казахстан); канд. техн. наук Шумчик В. К. (Білорусь).

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

Технічний редактор: Малій Т. С.

Адреса редакційної колегії: 03113, м. Київ, просп. Перемоги, 57, ДП «ДерждорНДІ», www.dorogimosti.org.ua

Збірник наукових праць «Дороги і мости» віднесено до категорії «В» у Реєстрі наукових фахових видань України.

Видається за рішенням Науково-технічної ради ДП «ДерждорНДІ» (протокол від 18.05.2020 № 2).

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

© Державне підприємство «Державний дорожній
науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна», 2020 р.

ISSN 2524-0994

UDC 625.7/.8

Roads and Bridges : collection of scientific papers. Kyiv, 2020. Issue 21. 282 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: Ph.D. (Eng.), Sen.Research. Ihor Babyak; D.Sc. (Eng.), Associate Prof. Anzhelika Batrakova; D.Sc. (Eng.), Prof. Adrii Bieliatynskyi; Ph.D. (Eng.), Sen.Research. Valerii Vyrozhemskyi; D.Sc. (Eng.), Prof. Nataliia Vnukova; D.Sc. (Eng.), Prof. Ihor Gameliak; Ph.D. (Eng.) Serhii Holovko; D.Sc. (Eng.), Prof. Anatolii Dehtyar; Ph.D. (Econ.), Associate Prof. Vitalii Ivanchenko; Ph.D., Prof. Petro Koval; Ph.D. (Econ.), Associate Prof. Valentyna Kontseva; Ph.D. (Eng.) Kateryna Krayushkina; D.Sc. (Eng.), Associate Prof. Serhii Lazarenko; D.Sc. (Eng.), Associate Prof. Tetiana Melenchuk; Ph.D. (Eng.), Associate Prof. Vasyl Nahaichuk; D.Sc. (Econ.), Sen.Research. Alla Novikova; D.Sc. (Eng.), Associate Prof. Artur Onishchenko; D.Sc. (Eng.), Prof. Heorhii Prokudin; D.Sc. (Eng.), Associate Prof. Viktoriia Khrutba; Ph.D. (Eng.), Associate Prof. Nataliia Shevchuk; D.Sc. (Econ.) Volodymyr Shemayev.

Foreign Members of the Editorial Board: Ph.D. (Eng.), Associate Prof. Guido Bonin (Italy); D.Sc. (Eng.), Prof. Gaspar Laszlo (Hungary); Ph.D. (Chem.), Associate Prof. Cesare Oliviero Rossi (Italy); D.Sc. (Sp. Tech.), Prof. Andre Sumberg (Finland); D.Sc. (Eng.), Prof. Bahdat Teltayev (Kazakhstan); Ph.D. (Eng.) Viktor Shumchik (Belarus).

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

Technical Editor: Tetiana Malii.

Address of Editorial board: 03113, Kyiv, Peremohy Ave., 57, DerzhdorNDI SE, www.dorogimosti.org.ua

The Collection of scientific papers «Roads and bridges» is classified in category «B» in the Register of scientific professional publications of Ukraine.

Issued by the decision of the Scientific and Technical Council of DerzhdorNDI SE (Minutes on May 18, 2020 N 2).

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

© M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise –
DerzhdorNDI SE, 2020

ЗМІСТ

ЕКОНОМІКА. МЕНЕДЖМЕНТ

<i>Безуглий А. О., Бібик Ю. М., Гресько І. Л.</i> Визначення строків експлуатації дорожніх машин і механізмів та особливості нарахування амортизаційних відрахувань	7
<i>Безуглий А. О., Концева В. В., Стасюк Б.О.</i> Концептуальні засади визначення та обґрунтування розміру соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод	18
<i>Іванченко В. О.</i> Організаційно-економічні аспекти забезпечення сталого розвитку підприємництва	28
<i>Печончик Т. І.</i> Програмно-цільовий метод планування робіт у дорожньому господарстві	37
<i>Шемаєв В. В.</i> Інвестиційна політика суб'єктів природної монополії транспортно-інфраструктурного сектору	47

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Гостєв Ю. Г., Румянцев Л. Ю., Кострульова Т. Є.</i> Матеріали для влаштування горизонтальної дорожньої розмітки: аналіз і доцільність застосування	59
<i>Неизвестний С. В., Пальчик А. М.</i> Аналіз методів, які використовуються при обґрунтуванні реконструкції автомобільних доріг	70

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

<i>Ярошук О. С., Харитоновна Н. М., Лозова Т. М.</i> Дослідження впливу автомобільної дороги на безпеку дикої природи та шляхи її вирішення	77
<i>Матус С. А., Морозов А. В., Морозова Т. В., Рутковська І. А., Хрутьба В. О.</i> Особливості інтеграції екодуків в дорожню мережу України для збереження біорізноманіття	86
<i>Гавришук В. В., Каськів В. І.</i> Обґрунтування доцільності проектування систем поверхневого водовідведення, як складової комплексу очисних споруд на автомобільних дорогах	95
<i>Соколов О. В., Желтобрюх А. Д., Копинець І. В., Каськів В. І.</i> Використання відходів промисловості в дорожньому будівництві	110

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

<i>Bencze Zs., Gáspár L.</i> Roller compacted cement concrete (RCC) pavement	120
<i>Sakanov D. K.</i> Features of the road construction development in the Republic of Kazakhstan	130
<i>Sakanov D. K.</i> Experience of constructing the roads with cement concrete coatings	138
<i>Бабков О. В., Дехтяр А. С.</i> Несна здатність циліндричних оболонок	146
<i>Гамеляк І. П., Бернацький І. І., Дмитренко Л. А.</i> Визначення властивостей жорстких ґраток для армування шарів основи дорожнього одягу із зернистих матеріалів	154
<i>Желтобрюх А. Д., Копинець І. В., Соколов О. В.</i> Особливості проектування та використання дренажного асфальтобетону	168

<i>Ілляш С. І., Зеленовський В. В., Гончаренко В. В.</i> Перевантаження асфальтобетонних сумішей, як спосіб усунення їх температурної та фракційної сегрегації.....	177
<i>Нагайчук В. М., Радовський Б. С.</i> Світовий досвід та сучасні підходи до використання цементобетонного покриття.....	188
<i>Славінська О. С., Бубела А. В., Бондаренко Л. П., Чечуга О. С.</i> Дослідження роботи дренажів мілкового закладання за інтенсивністю водовідведення з урахуванням впливу вібрації.....	201

ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ

<i>Харченко А. М., Чечуга О. С.</i> Розроблення пропозицій щодо удосконалення грошової оцінки земель при їх відведенні під автомобільні дороги в межах населеного пункту	217
--	-----

ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО. ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Башкевич І. В., Корецький А. С., Онищенко А. М., Островерх Б. М., Потапенко Л. С.</i> Оцінювання впливу хвилі прориву на довговічність транспортної споруди	226
<i>Боднар Л. П., Завгородній С. С., <u>Коваль П. М.</u>, Панібратець Л. Г., Яструбінецький В. Л.</i> Дослідження впливу дефектів конструкцій автодорожніх мостів на їх несну здатність.....	236
<i>Ковальчук В. В., <u>Коваль П. М.</u>, Коваль М. П.</i> Методи обстеження та випробування тунельного шляхопроводу з металевих гофрованих конструкцій на км 28 + 160 автомобільної дороги Київ – Харків – Довжанський	250
<i>Цинка А. О., Боднар Л. П.</i> Дослідження стану мостових переходів на основі аналітичної експертної системи управління мостами.....	270

CONTENTS

ECONOMY. MANAGEMENT

- Artem Bezugliy, Yuliya Bibyk, Ihor Hresko* Determination of service life of road machines and mechanisms and features of depreciation charges calculation..... 7
- Artem Bezugliy, Valentyna Kontseva, Bohdan Stasiuk* The conceptual background of determination and the reasoning of size of socio-economic losses from road accidents..... 18
- Vitaliy Ivanchenko* Organizational and economic aspects of sustainable business development..... 28
- Taras Pechonchuk* Program-target method for works planning in the road economy..... 37
- Volodymyr Shemayev* Investment policy of natural monopoly companies in transport and infrastructure sectors..... 47

TRANSPORT TECHNOLOGIES

- Yuriy Gostev, Lev Rumyantsev, Tetyana Kostrulova* Materials for horizontal road marking arrangement: analysis and expediency of application 59
- Sergii Neizvestnyi, Anatolii Palchuk* Analysis of the methods used for justification of highways reconstruction..... 70

ENVIROMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES

- Olesia Yaroshchuk, Nataliia Kharytonova, Tetiana Lozova* Research of the impact of the road on wildlife safety and ways to solve it 77
- Svitlana Matus, Anatolii Morozov, Tetiana Morozova, Inessa Rutkovska, Victoriia Khrutba* Integration of ecoduques in road network of Ukraine for biodiversity conservation..... 86
- Vladyslav Havryshchuk, Volodymyr Kaskiv* Justification of expediency of designing the surface drainage systems as a component of a complex of treatment facilities on roads 95
- Oleksii Sokolov, Anton Zheltobrukh, Ivan Kopynets, Volodymyr Kaskiv* Use of industrial waste in road construction..... 110

CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING

- Zsolt Bencze, László Gáspár* Roller compacted cement concrete (RCC) pavement..... 120
- Darkhan Sakanov* Features of the road construction development in The Republic of Kazakhstan.... 130
- Darkhan Sakanov* Experience of constructing the roads with cement concrete coatings..... 138
- Oleksandr Babkov, Anatolii Dekhtyar* Load carrying capacity of cylindrical shells..... 146
- Igor Gameliak, Ivan Bernatsky, Lyudmila Dmitrenko* Determination of properties of rigid grids for reinforcement of the foundation layers of pavement from granular materials..... 154
- Anton Zheltobriukh, Ivan Kopynets, Oleksii Sokolov* Features design and use of draining asphalt concrete..... 168

<i>Sergey Illyash, Vladimir Zelenovsky, Valentin Goncharenko</i> Reloading of asphalt mixtures as a way to eliminate their temperature and fractional segregation.....	177
<i>Vasyl Nagaychuk, Borys Radovskiy</i> World experience and modern approaches to the use of cement concrete pavement.....	188
<i>Olena Slavinska, Andrii Bubela, Lyudmila Bondarenko, Oleksandr Chechuha</i> Research of the work of small drainage drainage on the intensity of drainage, taking into account the influence of vibration.....	201

GEODESY AND LAND MANAGEMENT

<i>Anna Kharchenko, Oleksandr Chechuha</i> Development of proposals for improving the monetary value of land at their allocation for roads within the settlement.....	217
---	-----

HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION. WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES

<i>Iryna Bashkevych, Andrii Koretskyi, Artur Onyshchenko, Borys Ostroverh, Liudmila Potapenko</i> Assessment of the impact of a dam break on the durability of the transport structure.....	226
<i>Larysa Bodnar, Serhii Zavorodniy, Petro Koval, Liudmyla Panibratets, Vitalii Yastrubynetskyi</i> Research of the influence of defects of road bridge structures on their bearing capacity	236
<i>Vitalii Kovalchuk, Petro Koval, Maksym Koval</i> Methods of tunnel inspection and testing of metal corrugated structures at km 228 + 160 of Kyiv-Kharkiv-Dovzhansky highway.....	250
<i>Anatolii Tsynka, Larysa Bodnar</i> Investigations of bridge crossings state based on the analytical expert bridge management system.....	270

УДК 338.5:625.08

Безуглий А. О., канд. екон. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0003-3883-7968>**Бібік Ю. М.**, <https://orcid.org/0000-0002-7197-8909>**Гресько І. Л.**, <https://orcid.org/0000-0002-7175-7436>*Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»)*

ВИЗНАЧЕННЯ СТРОКІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДОРОЖНІХ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ ТА ОСОБЛИВОСТІ НАРАХУВАННЯ АМОРТИЗАЦІЙНИХ ВІДРАХУВАНЬ

Анотація

Вступ. Для забезпечення ефективної діяльності дорожніх підприємств необхідною умовою є сучасна матеріально-технічна база, відповідний стан основних засобів і впровадження нових технологій. Правильне розуміння поняття та функцій амортизації дозволить обґрунтовано вирішувати проблеми, які пов'язані з оцінкою основних засобів, встановленням оптимальних строків їх використання, визначенням методів нарахування амортизації, розробленням норм амортизаційних відрахувань, формуванням і використанням амортизаційного фонду, тобто дозволить проводити ефективну амортизаційну політику.

Проблематика. Дослідження методів і принципів за якими здійснюють нарахування амортизаційних відрахувань є важливим з точки зору формування коштів, необхідних для оновлення або ремонту дорожніх машин та механізмів. Амортизаційні відрахування займають провідне місце в структурі джерел фінансування дорожніх підприємств при відтворенні цих основних засобів. Також показник входить до структури вартості експлуатації дорожніх машин і механізмів. Визначення амортизаційних відрахувань дорожніх машин і механізмів є необхідним і відповідальним економічним процесом, оскільки ці відрахування займають вагомий відсоток у вартості однієї машино-години.

Питанням дослідження амортизації, її економічної сутності та удосконалення присвячено багато наукових праць українських вчених-економістів і діячів науки, зокрема: Белоусова А. А., Кужельного М. В., Виговської Н. Г., Лінника В. Г., Кузьмінського А. М., Бондара М. І., Бутинця Ф. Ф., Швеця В. Г., Чумаченка М. Г., Садовської І. Б., Петрика О. А., Осадчого Ю. І. При цьому досить актуальним залишається питання вибору найбільш оптимального методу нарахування амортизаційних відрахувань, який впливає на формування операційного прибутку та на характер відтворюваного процесу на підприємстві. Однією з необхідних передумов нарахування амортизаційних відрахувань є вільний вибір методу амортизації, який стане найдоцільнішим і найбільш ефективно сприятиме процесу оновлення автопарку дорожніх машин і механізмів, які в процесі експлуатації потребують заміни на нові та більш досконалі або ремонту. При цьому метод амортизації є одним із головних економічних важелів здійснення амортизаційної політики та регулювання діяльності дорожніх підприємств і забезпечує відображення ступеня зносу дорожніх машин та механізмів. Таким чином, правильний вибір методу нарахування амортизації дозволяє оптимізувати фінансові витрати на утримання та ремонт [1] цих машин і механізмів, мінімізувати податки та прискорити процес оновлення їх парку.

Мета. Метою є виявлення теоретичних та практичних особливостей ведення амортизаційної політики дорожніх підприємств, обґрунтування пропозицій щодо вибору

найбільш оптимального методу для здійснення нарахування амортизаційних відрахувань на дорожні машини і механізми для покращення діяльності підприємств дорожньої галузі.

Матеріали та методи. Питанням та проблемам амортизаційних відрахувань на сьогодні приділяється багато уваги. В основному увага акцентується на питаннях ефективності та напрямках використання коштів амортизаційного фонду, дослідженнях впливу застосування різних методів амортизації на кінцеві результати діяльності підприємств. Саме аналіз методів здійснення нарахування амортизаційних відрахувань дає змогу зробити висновки про вибір найбільш оптимального методу для подальшого ефективного розподілу та цільового використання фінансових коштів амортизаційного фонду.

Результати. У статті проаналізовані методи нарахування амортизаційних відрахувань, які передбачені нормативно-правовими актами [2] та положеннями [3], виявлено їх переваги та недоліки. Результатом роботи є практичні рекомендації щодо застосування найбільш доцільного методу нарахування амортизаційних відрахувань на дорожні машини та механізми, що використовуються безпосередньо при виконанні робіт з нового будівництва, реконструкції, капітального і поточного ремонтів та експлуатаційного утримання доріг загального користування з дотриманням строків експлуатації [4].

Висновки. Практичний підхід до здійснення нарахування амортизаційних відрахувань за найбільш оптимальним та економічно вигідним методом та інформація щодо строків корисної експлуатації дорожніх машин і механізмів допоможе підприємствам дорожньої галузі отримати та накопичити необхідні фінансові інвестиції для подальшого оновлення їх парку.

Ключові слова: дорожня машина, знос, механізми, норма амортизаційних відрахувань, основні засоби, строк експлуатації.

Вступ

Сучасна економічна система вимагає впровадження нової та якісної нормативно-правової бази, що враховуватиме сучасний стан суб'єктів господарювання, систематичну актуалізацію та доповнення до нормативно-правових актів з метою наближення їх до міжнародних стандартів. З цією метою на сьогоднішній день в Україні діє Податковий кодекс, який регулює відносини, що виникають у сфері справляння податків і зборів. Право самостійного вибору методу нарахування амортизації, з метою бухгалтерського обліку, підприємства одержали з введенням [3]. Це дозволяє підприємствам обирати метод нарахування, який, з цієї точки зору, є найбільш доцільним для застосування по кожній групі основних засобів. Основні засоби відповідно до положень [3] розділено на 16 груп та визначено їх мінімально допустимі строки корисного використання. Дорожні машини та механізми відносять до групи 5 «Транспортні засоби», а мінімально допустимий строк корисного використання для групи 5 складає 5 років. У разі коли строки корисного використання (експлуатації) об'єкта основних засобів у бухгалтерському обліку дорівнюють або є більшими, ніж ті, що встановлені підпунктом 138.3.3 [3], то для розрахунку амортизації використовують строки корисного використання (експлуатації) об'єкта основних засобів, встановлені в бухгалтерському обліку. При цьому метод нарахування амортизації та строк корисного використання (експлуатації) дорожньої машини чи механізму встановлюється розпорядчим документом по підприємству.

Амортизація відіграє важливу роль в обліку основних засобів, в її поняття входить систематичний розподіл вартості основних засобів, інших необоротних і нематеріальних активів, що амортизуються протягом строку їх корисного використання (експлуатації). Облік і нарахування амортизації основних засобів є предметом економічної науки та є елементом облікової політики підприємства, тобто відповідні управлінські рішення приймаються на мікроекономічному рівні. Амортизація, як економічна категорія, виступає джерелом відтворення основних засобів дорожніх

підприємств в процесі їх експлуатації та фізичного і морального зношення. У такому разі важливу роль відіграє накопичений досвід роботи підприємств з об'єктами основних засобів, які підлягають амортизації.

Успішна реалізація досягнень дорожньої науки і нових технологій залежить також від правильно обраних напрямів і методів здійснення амортизаційної політики, яка сприяє формуванню необхідних економічних умов, що забезпечують відтворення основних засобів дорожніх підприємств. Невідповідність амортизаційної політики реальним процесам, що проходять у дорожніх підприємствах призводить до уповільнення темпів оновлення, уповільнення введення нових і виведення з обліку застарілих дорожніх машин і механізмів.

Основна частина

У класичному економічному розумінні амортизація — це об'єктивний економічний процес поступового відшкодування (оновлення, дообладнання, ремонту) вартості основних засобів у період їх функціонування у виробництві до моменту закінчення строку їх експлуатації [4]. Оскільки, основними засобами є матеріальні активи, які підприємство утримує з метою використання їх у процесі виробництва чи експлуатації, амортизаційні відрахування є одним із основних джерел їх відтворення. На підприємствах дорожньої галузі такими активами є дорожні машини і механізми, які використовують при виконанні різних видів дорожніх робіт на автомобільних дорогах загального користування. Одним із показників, який бере участь у розрахунку амортизації, є строк корисного використання (експлуатації) основних засобів. Строк корисного використання (експлуатації) — це очікуваний період часу, протягом якого відбувається активна експлуатація дорожніх машин і механізмів на дорожніх роботах. Дорожні підприємства встановлюють або визначають строки корисного використання дорожніх машин і механізмів та методів нарахування їх амортизації, виходячи з планування майбутніх економічних вигід, первісно очікуваної від їх експлуатації. Нарухування амортизації здійснюють протягом строку корисного використання (експлуатації) дорожньої машини чи механізму, який встановлюється підприємством при зарахуванні їх на баланс. Від економічно обґрунтованого вибору методу нарахування амортизації та строку корисного використання (експлуатації) залежить майбутня сума накопичених коштів від амортизаційних відрахувань, які дорожнє підприємство має право використовувати для цілей оновлення і модернізації чи ремонту дорожніх машин і механізмів в міру необхідності. Нормативний документ [4] встановлює норми амортизаційних відрахувань, які відповідають оптимальним строкам корисного використання дорожніх машин і механізмів.

Перелік методів нарахування амортизації наведено на рисунку 1 [3].



Рисунок 1, аркуш 1 — Методи нарахування амортизації основних засобів

Умовні позначення: A — річна сума амортизаційних відрахувань; S_a — вартість об'єкта основних засобів (ОЗ), що амортизується; T — строк корисного використання об'єкта ОЗ (років); S_z — залишкова або первісна вартість об'єкта ОЗ на дату початку нарахування амортизації; $S_{л-ліквідаційна}$ вартість об'єкта ОЗ; $S_{п-первісна}$ вартість об'єкта ОЗ; K_z — кількість років, що залишаються до кінця строку корисного використання об'єкта ОЗ; P_k — сума числа років корисного використання об'єкта ОЗ. Наприклад, для строку корисного використання об'єкта у 5 років сума чисел років буде складати — $1+2+3+4+5=15$, а кумулятивний коефіцієнт у перший рік експлуатації становитиме $5/15$. P_m — фактичний місячний обсяг продукції (робіт, послуг); P_z — передбачуваний обсяг виробництва з використанням амортизованого обладнання

Рисунок 1, аркуш 2 — Методи нарахування амортизації основних засобів

У таблиці 1 наведено характеристику існуючих методів нарахування амортизації основних засобів, сутність кожного із методів та їх порівняльна оцінка.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика методів начислення амортизаційних відрахувань основних засобів [5]

Суть методу	Переваги/недоліки
1. Прямолінійний метод	
Річну суму амортизації визначають діленням вартості, яка амортизується на строк корисної експлуатації об'єкта основних засобів.	Розмір амортизації залежить від строку використання об'єкта основних засобів. <u>Переваги:</u> цей метод відрізняється легкістю розрахунку. Вартість об'єкта основних засобів списують рівними частинами протягом усього строку його експлуатації. <u>Недоліки:</u> не повним чином враховують моральний знос об'єктів основних засобів і фактор підвищення витрат на ремонти в міру його експлуатації (особливо в останні роки використання об'єкта основних засобів).
2. Метод зменшення залишкової вартості	
Річну суму амортизації визначають як добуток залишкової вартості об'єкта на початок звітного року або первісної вартості на дату початку нарахування амортизації та річної норми амортизації. Річну норму амортизації (у відсотках) обчислюють як різницю між одиницею та результатом кореня ступеня кількості років корисного використання об'єкта з результату від ділення ліквідаційної вартості об'єкта на його первісну вартість.	<u>Переваги:</u> протягом перших років експлуатації об'єкта основних засобів накопичується значна сума коштів, необхідних для його відновлення. <u>Недоліки:</u> передбачає обов'язкову наявність ліквідаційної вартості, необхідної для розрахунку норми амортизації. Якщо ж ліквідаційна вартість дорівнює нулю, то складова $(ЛВ/ПВ)1/T$ також дорівнюватиме нулю. Отже, річна сума амортизації виявиться такою, що дорівнює первісній вартості.

Суть методу	Переваги/недоліки
3. Метод прискороного зменшення залишкової вартості	
<p>Річну суму амортизації визначають як добуток залишкової вартості об'єкта на початок звітного року або первісної вартості на дату початку нарахування амортизації та річної норми амортизації, яку обчислюють відповідно до строку корисного використання об'єкта, і подвоюють.</p> <p>Даний метод застосовують лише у разі нарахування амортизації для об'єктів основних засобів, що входять до груп 4 (машини та обладнання) та 5 (транспортні засоби).</p>	<p><u>Переваги:</u> протягом перших років експлуатації об'єкта основних засобів накопичується значна сума коштів, необхідних для його відновлення. Цей метод дає можливість протягом першої половини корисного строку використання основних засобів відшкодувати до 60-70 % їх вартості.</p>
4. Кумулятивний метод	
<p>Річну суму амортизації визначають як добуток вартості, яку амортизують, та кумулятивного коефіцієнта. Кумулятивний коефіцієнт розраховують діленням кількості років, що залишаються до кінця строку корисного використання об'єкта основних засобів, на суму числа років його корисного використання.</p>	<p><u>Переваги:</u> 1. У перші роки, коли інтенсивність використання об'єкта основних засобів максимальна, амортизується більша частина його вартості. 2. У перші роки накопичуються грошові кошти для заміни об'єкта основних засобів, що амортизується. 3. Забезпечується можливість збільшення частини витрат на ремонт основних засобів об'єктів, що амортизуються, що припадають на останні роки їх використання, без відповідного збільшення витрат виробництва (собівартості продукції) за рахунок того, що сума амортизації, яка нараховується, у ці роки зменшується.</p> <p><u>Недоліки:</u> трудомісткість при розрахунках.</p>
5. Виробничий метод	
<p>Місячну суму амортизації визначають як добуток фактичного місячного обсягу продукції (робіт, послуг) та виробничої ставки амортизації. Виробничу ставку амортизації обчислюють діленням вартості, яка амортизується, на загальний обсяг продукції (робіт, послуг), який підприємство розраховує виробити (виконати) з використанням об'єкта основних засобів.</p>	<p>Застосовують для нарахування амортизації об'єктів основних засобів, технічний стан яких залежить від кількості виробленої продукції.</p> <p><u>Переваги:</u> цей метод зручно застосовувати при визначенні амортизації автотранспорту залежно від його пробігу, верстатів та будь-якого виробничого обладнання.</p> <p><u>Недоліки:</u> застосування пов'язане з трудністю визначення виробітку окремих об'єктів основних засобів.</p>

Вартість активів дорожніх підприємств постійно змінюється під впливом різних факторів. На практиці дорожні машини та механізми експлуатуються в процесі виконання дорожніх робіт, підлягаючи при цьому фізичному та моральному зносу, тобто поступово знецінюються. Джерелом

відшкодування цього зносу слугують амортизаційні відрахування, які переносять на собівартість дорожніх робіт з наступним накопиченням необхідних фінансових ресурсів для подальшого ефективного управління ними в процесі відтворення основних засобів. Таке трактування дає уявлення про фазу кругообігу, яку проходять дорожні машини і механізми в процесі їх експлуатації. Фаза кругообігу [6] має наступні стадії: знос, амортизація та відновлення основних засобів (рис. 2).



Рисунок 2 — Фаза кругообігу основних засобів дорожніх підприємств

Оскільки, при виборі методу нарахування амортизаційних відрахувань, дорожні підприємства планують майбутні витрати на ремонт, дообладнання чи модернізацію, необхідною передумовою є підвищення фінансової спроможності підприємств шляхом ведення правильної амортизаційної політики.

Проведемо аналіз і визначимо, який із методів нарахування амортизації є найбільш оптимальним для отримання економічних вигод та створення фінансового ресурсу дорожніх підприємств для відшкодування зносу та фінансування процесу відтворення за рахунок амортизаційних відрахувань. Основними чинниками, які впливають на вибір методу нарахування амортизаційних відрахувань є особливості щодо інтенсивності фізичного та морального зносу дорожніх машин і механізмів, а також спланована стратегія щодо їх відновлення чи ремонту.

Проведемо детальне порівняння методів нарахування амортизаційних відрахувань на прикладі розрахунку. Для прикладу розрахунку приймемо наступні вихідні дані:

- дорожня машина, визначений строк корисної експлуатації використання якої складає — 10 років;
- початкова балансова вартість — 750 000,00 гривень;
- визначена ліквідаційна вартість — 37 500,00 гривень;
- плановий обсяг дорожніх робіт, що планується виконати за період експлуатації дорожньої машини — 1 600 450 тонн за 10 років експлуатації.

Порівняння методів нарахування амортизаційних відрахувань наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Нарахування амортизації при застосуванні різних методів

Роки	Методи нарахування амортизації, річна сума амортизації, грн.				
	Прямолінійний	Зменшення залишкової вартості	Прискореного зменшення залишкової вартості	Кумулятивний	Виробничий
1	71 250,00	184 441,71	142 500,00	136 363,64	71 250,00
2	71 250,00	136 696,10	114 000,00	122 727,27	69 351,28
3	71 250,00	101 310,19	91 200,00	109 090,91	67 068,36
4	71 250,00	75 084,47	72 960,00	95 454,55	75 972,55
5	71 250,00	55 647,69	58 368,00	81 818,18	58 165,50
6	71 250,00	41 242,42	46 694,40	68 181,82	61 727,44
7	71 250,00	30 566,18	37 355,52	54 545,45	53 714,52
8	71 250,00	22 653,65	29 884,42	40 909,09	49 263,09
9	71 250,00	16 789,40	23 907,53	27 272,73	44 811,66
10	71 250,00	12 443,20	19 126,03	13 636,36	44 812,11

Проведені розрахунки, згідно визначеним формулам, за кожним із методів дають змогу зробити наступні висновки:

Прямолінійний метод. Є найбільш простим та зрозумілим у розрахунку, та передбачає нарахування амортизаційних відрахувань рівними частинами, враховуючи при цьому рівномірний фізичний і моральний знос. Виділимо основні фактори, що впливають на очікуваний спосіб отримання економічної вигоди:

- рівномірна експлуатація дорожніх машин і механізмів;
- однакові обсяги виконання дорожніх робіт.

У разі застосування методів зменшення залишкової вартості, прискореного зменшення залишкової вартості та кумулятивного, в перші роки використання сума нарахованої амортизації буде найбільшою з поступовим зменшенням у наступні роки, тому їх краще використовувати для основних засобів, які швидко морально зношуються. Застосування цих методів найдоцільніше у випадку, коли ефективність експлуатації дорожніх машин і механізмів буде найвища у перші роки їх використання. Факторами, що впливають на вибір та на отримання економічної вигоди для методів зменшення залишкової вартості, прискореного зменшення залишкової вартості та кумулятивного є:

- швидкий фізичний і моральний знос;
- необхідність швидкого накопичення коштів для прискореного оновлення чи ремонту дорожніх машин і механізмів.

Виробничий метод нарахування амортизації враховує обсяги робіт, які було виконано дорожньою машиною чи механізмом. Чим більший обсяг дорожніх робіт виконано, тим більше дорожня машина втратила своїх первісних технічних і технологічних характеристик [7], тобто зазнала фізичного зносу. Цей метод дозволяє накопичити необхідну суму амортизації в роки найбільш інтенсивного використання дорожніх машин і механізмів, необхідну для їх ремонту чи заміни. При виборі виробничого методу необхідно враховувати наступні фактори отримання економічної вигоди:

- строк корисної експлуатації дорожніх машин і механізмів залежить, безпосередньо, від обсягів дорожніх робіт, які вони планують виконати;
- планування обсягів дорожніх робіт;
- нерівномірність експлуатації дорожніх машин і механізмів.

Під час складання договірних цін і проведення взаєморозрахунків за обсяги виконаних робіт, визначення амортизаційних відрахувань доцільніше використовувати прямолінійний метод, який дозволяє враховувати рівномірний фізичний і моральний знос дорожніх машин і механізмів. Сума амортизаційних відрахувань, визначена при складанні ціни тендерної пропозиції учасника процедури закупівлі (договірної ціни) та при проведенні взаєморозрахунків за виконані обсяги робіт, за допомогою інших методів, а саме зменшення залишкової вартості, прискореного зменшення залишкової вартості, кумулятивного чи виробничого має бути в межах значень, визначених прямолінійним методом з урахуванням строку корисного використання (експлуатації) [4] та з урахуванням середньорічного нормативного наробітку [8] експлуатації дорожньої машини та механізму.

Висновки

Правильне розуміння економічної суті, функцій амортизаційної політики та усвідомлення її значення дозволить дорожнім підприємствам обґрунтовано вирішувати питання, пов'язані з оцінкою основних засобів. Комплексний підхід до вибору методу нарахування амортизації, найбільш прийнятний для 5 групи «Транспортні засоби», встановлення оптимальних строків експлуатації дорожніх машин та механізмів, формування необхідних фінансових коштів для подальшого використання амортизаційного фонду, дозволить проводити правильну амортизаційну політику на підприємствах дорожньої галузі.

Головною функцією амортизаційної політики у дорожніх підприємствах є відтворювальна функція, яка має сприяти використанню грошового потенціалу амортизаційного фонду, як джерела інвестиційних ресурсів. Амортизаційна політика з боку держави має сприяти створенню та забезпеченню необхідних умов, які сприятимуть швидшому оновленню дорожніх машин і механізмів, що знаходяться на балансі дорожніх підприємств, з урахуванням умов їх відтворення.

Отже, прямолінійний метод є найбільш оптимальним, доступним та зрозумілим для його застосування під час нарахування амортизаційних відрахувань. Цей метод цілком відповідає умовам, за яких його необхідно застосовувати в дорожній галузі, а саме для визначення амортизації на дорожні машини та механізми, які в процесі їх експлуатації протягом року виконують постійний обсяг дорожніх робіт.

Таким чином, правильно обрана амортизаційна політика дорожніх підприємств, допоможе досягнути наступних цілей:

- підвищення рівня якості виконання дорожніх робіт;
- створення гідного ринку конкуренції серед дорожніх підрядних організацій;
- застосування нових технологій та сучасних підходів при виконанні дорожніх робіт;
- цільове використання фінансових коштів амортизаційної політики;
- покращення фінансового стану підприємства;
- ефективне управління фінансовими ресурсами;
- нормативне дотримання строків корисного використання дорожніх машин та механізмів;
- планування витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт дорожньої техніки;

- своєчасне списання фізично та морально зношених дорожніх машин та механізмів;
- створення амортизаційного фонду, кошти якого спрямовуватимуться на оновлення, модернізацію та придбання нових дорожніх машин та механізмів;
- забезпечення всіх необхідних умов для здійснення оновлення, модернізації чи ремонту дорожніх машин та механізмів.

Список літератури

1. СОУ 42.1-37641918-121:2014 Норми фінансових витрат на технічне обслуговування та ремонт дорожньо-будівельних машин і механізмів. Київ, 2014. 21 с. (Інформація та документація).
2. Податковий Кодекс України від 17.11.2011 № 4057-VI // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17> (дата звернення 01.04.2020).
3. Наказ Міністерства фінансів України «Про затвердження Положення (стандарту) бухгалтерського обліку 7 «Основні засоби» від 27 квітня 2000 року № 92 зі змінами і доповненнями. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0288-00> (дата звернення 29.04.2020).
4. СОУ 42.1-37641918-064:2019 Дорожні машини та механізми. Строки експлуатації та норми амортизації. Київ, 2019. 59 с. (Інформація та документація).
5. Стельмахук А. М. Амортизаційний фактор у відтворенні основних засобів переробних підприємств АПК / А. М. Стельмахук // *Інноваційна економіка*. - 2014. - № 6. - С. 66-72. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/inek_2014_6_13 (дата звернення 29.04.2020).
6. Любар О. О. Амортизація: економічна сутність, особливості нарахування та відображення в бухгалтерському обліку / О. О. Любар // *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики*. - 2017. - № 4. - С. 117-131. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efmapnp_2017_4_13 (дата звернення 29.04.2020).
7. Про затвердження Методики товарознавчої експертизи та оцінки колісних транспортних засобів: Документ від 24.11.2003N 142/5/2092 // База даних Законодавство України / Міністерство Юстиції України. Фонд державного майна України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1074-03> (дата звернення: 23.09.2019).
8. СОУ 42.1-37641918-022:2019 Дорожні машини та механізми. Річні нормативні наробітки. Київ, 2019. 47 с. (Інформація та документація).

References

1. Standard of organization of Ukraine (SOU 42.1-37641918-121:2014) Normy finansovykh vytrat na tekhnichne obsluhovuvannya ta remont dorozhno-budivelnykh mashyn i mekhanizmiv (Rates of financial costs for maintenance and repair of road-building machines and mechanisms). Kyiv, 2014. 21 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
2. Podatkovyi kodeks Ukrainy of 02.02.2010 N 2755-VI // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17> (Last accessed: 29.04.2020).
3. Pro zatverdzhennia Polozhennia (standartu) bukhgalterskoho obliku 7 «Osnovni zasoby»: Order of the Ministry of Finance of Ukraine of 27.04.2000 N 92 // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0288-00> (Last accessed 23.09.2019).
4. Standard of organization of Ukraine (SOU 42.1-37641918-064:2019) Road machines and

mechanisms. Service life and depreciation rates (Dorozhni mashyny ta mekhanizmy. Stroky ekspluatatsii ta normy amortyzatsii). Kyiv, 2019. 59 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

5. Stelmashchuk A.M. Amortyzatsiyni faktor u vidtvorenni osnovnykh zasobiv pererobnykh pidpriemstv APK (Depreciation factor in reproduction of fixed assets of processing enterprises of agro-industrial complex). *Іnnovacijna ekonomika*. Ternopil, 2014. № 6. P. 66–72. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/inek_2014_6_13 (Last accessed: 29.04.2020) [in Ukrainian].

6. Liubar O.O. Amortyzatsiia: ekonomichna sutnist, osoblyvosti narakhuvannia ta vidobrazhennia v bukhholderskomu obliku (Depreciation: economic essence, features of calculation and reflection in accounting). *Ekonomika, finansy, menedzhment: aktual'ni pitannâ nauki i praktiki*. Vinnytsya, 2017. № 4. P. 117-131. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efmapnp_2017_4_13 (Last accessed: 29.04.2020) [in Ukraine].

7. Pro zatverdzhennia Metodyky tovaroznavchoi ekspertyzy ta otsinky kolisnykh transportnykh zasobiv: Order of Cabinet of Ministers of Ukraine of 24.11.2003 N 142/5/2092 // Database of Legislation of Ukraine / Ministry of Justice of Ukraine. State Property Fund of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1074-03> (Last accessed 23.09.2019) [in Ukrainian].

8. Standard of organization of Ukraine (SOU 42.1-37641918-064:2019) Dorozhni mashyny ta mekhanizmy. Richni normatyvni narobitky (Road machines and mechanisms. Annual normative work hours). Kyiv, 2019. 47 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

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

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

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

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

DETERMINATION OF SERVICE LIFE OF ROAD MACHINES AND MECHANISMS AND FEATURES OF DEPRECIATION CHARGES CALCULATION

Abstract

Introduction. To ensure an efficient operation of road enterprises, the precondition will include the availability of a modern material and technical base, an adequate state of fixed assets and the implementation of new technologies. Proper understanding of the concept and functions of depreciation will allow reasonably solving the issues related to the assessment of fixed assets, the establishment of optimal terms of their using, the definition of depreciation charges calculation methods, the development of depreciation charges rates, the formation and the use of depreciation fund that will allow the implementation of effective depreciation policy.

Issue statement. Research of the methods and principles by which depreciation charges is calculated is important in terms of generating the funds needed to renew or repair road machines and mechanisms. Depreciation charges have a leading role in the structure of financing sources of road enterprises in the reproduction of such fixed assets as road machines and mechanisms. Indicators included in the cost structure of operating the road machines and mechanisms. Determination of depreciation charges of road machines and mechanisms is a necessary economic process, since depreciation charges is a required component and make a significant percentage of the cost of one machine per hour.

To the research and depreciation issues, its economic essence and improvement many scientific works of Ukrainian scientists-economists are devoted, in particular: Belousov A. A., Kuzhelnyi M. V., Vyhovska N. G., Linnyk V. G., Kuzminskyi A. M., Bondar M. I., Butynets F. F., Shvets V. G.,

Chumachenko M. G., Sadovska I. B., Petryk O. A., Osadchy Yu. I. At the same time, the issue of choosing the most optimal depreciation charges calculation method which impacts on the formation of operating profit and the nature of the reproduced process at the enterprise is quite relevant.

One of the required prerequisites for the calculation of depreciation charges is the free choice of depreciation method which will be the most expedient and most effective in facilitating the process of renovating the fleet of road machines and mechanisms that is in operation and need to be renovated or repaired. At the same time, the depreciation method is one of the main economic levers of the depreciation policy implementation and regulation of the activity of road enterprises and provides a reflection of the degree of deterioration of road machines and mechanisms. Thus, the correct choice of depreciation charges calculation method allow optimizing the financial cost on maintenance and repair [1] of road machines and mechanisms and minimizing taxes and speeding up the process of renovating the road machines and mechanisms involved in road works.

Objective. The purpose is to identify the theoretical and practical features of the road enterprise depreciation policy, justification of proposals for the choice of the most optimal depreciation calculation method of road machines and mechanisms for improving the activities of enterprises of road industry.

Materials and methods. The issues of depreciation charges are paid much attention today. The main focus is on the issues of efficiency and areas of using the depreciation funds, studies of the impact of using different depreciation methods on the results of enterprises activity. The analysis of the depreciation charges calculation methods makes it possible to conclude on the choice of the most optimal method for the further efficient allocation and purposeful use of the financial assets of the depreciation fund.

Results. The article analyzes the methods of depreciation charges calculation which are stipulated by regulations [2] and the provisions [3], their advantages and disadvantages are revealed. The result of the work is practical recommendations on the application of the most expedient method of depreciation calculation of road machines and mechanisms used directly in the works fulfillment on new construction, reconstruction, overhaul, current repairs and operational maintenance of public roads with the observance of the operating terms [4].

Conclusions. A practical approach to calculate depreciation charges by the most optimal and cost-effective method and information on the useful life of road machines and mechanisms will help the enterprises of road industry to obtain and accumulate the required financial investments to further renovating the fleet of road machines and mechanisms.

Key words: road machine, deterioration, mechanisms, depreciation charges rates, fixed assets, service life.

УДК 338.585

Безуглий А. О.,¹ канд. екон. наук, доц., <http://orcid.org/0000-0003-3883-7968>

Концева В. В.,² канд. екон. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-4911-7723>

Стасюк Б. О.,¹ <https://orcid.org/0000-0003-2504-6577>

¹ Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»)

² Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗМІРУ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ВТРАТ ВІД ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД

Анотація

Вступ. Виконано аналіз застосування показника «соціально-економічні втрати від дорожньо-транспортних пригод і відмічено його важливість, наведено результати розрахунку цього показника соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод за 2010–2018 роки.

Проблематика. В умовах зростання обсягів фінансування дорожнього господарства, зростає роль механізму пріоритезації об'єктів. Вибір об'єктів, згідно чинного законодавства здійснюють з урахуванням розміру соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод. Незважаючи на значущість отриманих результатів у дослідженнях, проведених іншими вченими, механізм визначення розміру показника «соціально-економічні втрати від дорожньо-транспортних пригод» може бути удосконаленим, що буде доведено у дослідженні даної статті.

Мета. Аналіз механізму розрахунку соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод з подальшим обґрунтуванням доцільності внесення змін в існуючу методику розрахунку.

Матеріали та методи. Матеріалами виступає діюча нормативно-правова база України. Використовуються метод аналізу об'єкта дослідження з наступним синтезом пропозицій щодо подальших досліджень.

Результати. Визначено розмір показників соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод за 2010–2018 роки. Встановлено, що діючий механізм розрахунку показника «соціально-економічні втрати від дорожньо-транспортних пригод» є надмірно деталізованим і містить математичну невідповідність у розрахунках. Обґрунтовано доцільність внесення змін в існуючу методику розрахунку. Складено план майбутніх досліджень.

Висновки. Розрахунок соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод за оновленим механізмом дозволить зменшити ймовірність помилок під час розрахунків, спростить і пришвидшить розрахунок вище згаданих втрат на передінвестиційних стадіях планування дорожньо-будівельних робіт або у випадку відсутності усіх необхідних вихідних даних. Результати дослідження може бути використано під час оновлення діючої нормативно-правової бази України.

Ключові слова: дорожньо-транспортна пригода, індекс, розподіл, соціально-економічні втрати, фінансування.

Вступ

В умовах зростання обсягів фінансування дорожнього господарства, завдяки чітко визначених джерел наповнення Державного дорожнього фонду згідно з Законом України [1] та з урахуванням набрання чинності законопроектів щодо запровадження середньострокового планування в дорожній галузі [2–3], зростає роль механізму пріоритезації об'єктів, які мають бути відновлені в поточному році. Вибір об'єктів, які необхідно відновити в першу чергу, здійснюється на підставі Методики [4], а одним з показників, що використовуються для ранжування об'єктів — розмір соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод, який, відповідно до положень діючої нормативної бази, визначається згідно з Методикою [5]. У [6] було обґрунтовано необхідність перегляду механізму розрахунку розміру соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод, у зв'язку з надмірно деталізованим та громіздким математичним розрахунком, що підвищує ймовірність виникнення помилок під час проведення розрахунків.

Дослідження щодо розміру втрат від дорожньо-транспортних пригод знайшли своє відображення в працях таких учених, як Н. М. Абрамова, А. О. Безуглий, Ю. П. Битяк, В. Т. Білоус, І. М. Волков, В. К. Гіжевський, О. В. Долженкова, І. П. Ємець, Т. В. Катрук, В. О. Павленко, А. А. Сотнікова, К. В. Уварова, В. П. Чижевський, Н. О. Рингач, О. І. Колодяжна та А. М. Нагорна [7–10]. Незважаючи на значущість отриманих результатів у дослідженнях, механізм визначення розміру показника «соціально-економічні втрати від дорожньо-транспортних пригод» може бути удосконаленим, що буде розкрито у подальшому дослідженні даної статті.

Основна частина

Для полегшення сприйняття основного матеріалу, розділимо виконане дослідження даної статті на декілька етапів:

1. Аналіз існуючого механізму розрахунку показника соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод.
2. Підбір вихідних даних для проведення розрахунків за 2010–2018 роки.
3. Розрахунок розмірів показника соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод за 2010–2018 роки.
4. Обґрунтування доцільності внесення змін в існуючу методику розрахунку та постановка завдань для майбутніх досліджень.

Аналіз існуючого механізму розрахунку показника соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод

У рамках даної статті розмір соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод визначено на основі Методики [5] і цей метод далі по тексту буде називатись «класичним».

За класичним методом [5] величину соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод оцінюють на основі розрахунку прямих і непрямих народногосподарських втрат.

До прямих втрат належать збитки власників рухомого складу автомобільного транспорту, служби з експлуатації доріг від ліквідації наслідків дорожньо-транспортних пригод і вантажовідправників, витрати органів Національної поліції і юридичних органів на розслідування дорожньо-транспортних пригод, медичних закладів на лікування потерпілих, підприємств, співробітники яких стали жертвами аварій (оплата бюлетенів непрацездатності, видача допомоги), витрати державних органів соціального забезпечення (пенсії) та страхові виплати [5].

До непрямих належать втрати народного господарства внаслідок тимчасового або

повного вибуття людини зі сфери матеріального виробництва, порушення виробничих зв'язків і отриманих моральних втрат [5]. Повна оцінка втрат від загибелі та поранення людей включає в себе елементи як прямих, так і непрямих втрат.

Втрати від загибелі та поранення людей [5] становлять найбільшу частину втрат від дорожньо-транспортних пригод і включають в себе наступні соціально-економічні показники:

- економічні втрати через вибуття людини зі сфери виробництва;
- соціально-економічні втрати держави при виплаті пенсій по інвалідності та у разі втрати годувальника, а також при оплаті лікування в лікарнях і тимчасової непрацездатності;
- соціально-економічні втрати через загибель дітей.

Для оцінки втрат через вибуття людини зі сфери матеріального виробництва [5] використовують метод загальних доходів. Основою цього методу є грошова оцінка економічної корисності, яку суспільство отримує завдяки тому, що вдається запобігти загибелі людини у дорожньо-транспортній пригоді. При такому підході, власне споживання людини розглядається як складова частина державного прибутку, отриманої від виробничої та соціально-економічної діяльності окремих громадян.

Також окремо здійснюють оцінку збитків від пошкодження транспортних засобів для власників транспортних засобів та псування їх вантажу, а також оцінку збитків від пошкодження автомобільної дороги та її елементів [5].

Підбір вихідних даних для проведення розрахунків за 2010–2018 роки

Методика [5] базується на 30 математичних формулах різної складності та для розрахунку потребує 57 змінних в якості вихідних даних. В цілому, розрахунок за класичним методом [5] є достатньо деталізованим і дозволяє достовірно визначити розмір соціально-економічних втрат, які завдають суспільству дорожньо-транспортні пригоди (ДТП), які сталися за конкретний період (календарний рік або квартал).

Підбір вихідних даних для проведення розрахунків здійснювався з урахуванням таких джерел: даних Державної служби статистики України за відповідний рік; накопичених статистичних даних Управління безпеки дорожнього руху Національної поліції України, що містяться в електронній галузевій Базі даних обліку й аналізу дорожньо-транспортних пригод, розробленої ДП «ДерждорНД»; рекомендацій Міжнародного банку реконструкції та розвитку, а також Азійського Банку розвитку; вимог чинного законодавства України; офіційних документів Фонду соціального страхування України; ресурсних елементних кошторисних норм на відновлення елементів дороги (в актуальних цінах); відкритих інтернет-джерел і математично обґрунтованих припущень.

Приклад підібраних вихідних даних для розрахунку показника соціально-економічних втрат від ДТП за один рік наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунку соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод, які сталися у 2018 році

Ч. ч.	Показник	Вимірник	Значення
1	Населення України за рік, на який ведеться розрахунок	чол.	42 269 802
2	Економічно неактивне населення	чол.	10 724 800
3	Загальна кількість загиблих	чол.	3 350
4	Загальна кількість потерпілих	чол.	34 234
5	Кількість потерпілих, що отримали інвалідність	чол.	1 025
6	Частка домогосподарств без дітей	%	62,2

Продовження таблиці 1

Ч. ч.	Показник	Вимірник	Значення
7	Частка дітей	%	18
8	Середня кількість членів сім'ї	чол.	2,58
9	Кількість учнів у школах	чол.	3 922 000
10	Коефіцієнт, що враховує долю учнів, які почали працювати в 16 років	X	0,757
11	Кількість студентів середніх навчальних закладів	чол.	2 469 137
12	Кількість студентів вищих навчальних закладів	чол.	1 538 565
13	Валовий внутрішній продукт (ВВП) у фактичних цінах за рік, на який ведеться розрахунок	млн грн	3 558 706,00
14	Кінцеві споживчі витрати домашніх господарств	млн грн	2 431 014,00
15	Кінцеві споживчі витрати сектору загального державного управління	млн грн	738 916,00
16	Валове нагромадження основного капіталу	млн грн	610 875,00
17	Прогноз темпу зростання ВВП	%	14,11
18	Індекс ВВП	%	15,4
19	Коефіцієнт дисконтування	%	12
20	Рівень відрахувань на ЄСВ	%	22,00
21	Середньорічна допомога у зв'язку із втратою годувальника на одну особу за рік, на який ведеться розрахунок	грн	29 750,4
22	Середньорічна пенсія по інвалідності на одну особу за рік, на який ведеться розрахунок	грн	29 750,4
23	Середні витрати на стаціонарне лікування в лікарні в розрахунку на 1 особу на 1 день	грн	1 996,5
24	Загальні витрати на освіту у році, на який ведеться розрахунок	млн грн	144 476,06
25	Середні витрати на оплату тимчасової непрацездатності в розрахунку на 1 день	грн	425,632
26	Середньорічна заробітна плата одного працівника за розрахунковий рік	грн	10 6408
27	Витрати на надання ритуальних послуг	грн	4 100
28	Вартісна оцінка збитку від пошкодження транспортного засобу	грн	1 050 945,69
29	Середні збитки від пошкодження вантажу	грн	465,85
30	Середня кількість років, які б людина працювала з моменту загибелі до пенсії	років	28,2
31	Початок діапазону економічно активного населення	років	15
32	Кінець діапазону економічно активного населення	років	70
33	Середній період виплати допомоги потерпілим у зв'язку із втратою годувальника	років	28,2
34	Середній період виплати пенсії по інвалідності, отриманої в результаті ДТП	років	28,2

Ч. ч.	Показник	Вимірник	Значення
35	Середній вік загибелі дітей	років	11
36	Середня тривалість перебування потерпілого в лікарні при тяжкому пораненні	днів	120
37	Середня тривалість перебування потерпілого в лікарні при легкому пораненні	днів	20
38	Середня тривалість тимчасової непрацездатності при тяжких травмах	днів	150
39	Середня тривалість тимчасової непрацездатності при пораненні	днів	30
40	Пошкоджено щитів дорожніх знаків	шт.	2 097
41	Частка щитів дорожніх знаків на двох стояках одностороннього	%	20,97
42	Частка щитів дорожніх знаків на одному стояку двосторонніх	%	27,96
43	Частка залізобетонних стояків для пошкоджених дорожніх знаків	%	11,85
44	Пошкоджено дорожніх знаків	шт.	419
45	Частка дорожніх знаків односторонніх на двох металевих стояках	%	11,85
46	Частка дорожніх знаків двосторонніх на двох металевих стояках	%	2,80
47	Пошкоджено спрямовуючих стовпчиків	шт.	1 049
48	Частка залізобетонних спрямовуючих стовпчиків	%	118,84
49	Пошкоджено бар'єрного огороження	м	69 903,24
50	Частка пошкодженого бар'єрного огороження, яке не підлягає ремонту	%	48,93
51	Частка огороження, влаштованого на мостах	%	13,98
52	Пошкоджено залізобетонного огороження	м	2097,10
53	Пошкоджено бордюрів	м	12 582,58
54	Пошкоджено узбіч (у тому числі водовідвідних каналів, укосів, кюветів)	м	20 970,97
55	Пошкодження стовпів освітлення	шт.	1 049
56	Кількість ДТП	шт.	150 120
57	Кількість пошкоджених транспортних засобів	шт.	2 104

Розрахунок розмірів показника соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод за 2010–2018 роки

На основі підібраних вихідних даних було проведено розрахунок соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод, які сталися у 2010–2018 роках. Дане дослідження ґрунтується на повному та детальному розрахунку соціально-економічних втрат від ДТП, які сталися у 2018 році. Для розрахунку було використано вихідні дані з таблиці 1. Також за класичним

методом [5] було проведено розрахунок соціально-економічних втрат від ДТП за 2010–2017 роки, результати яких наведені у таблиці 2.

Сумарні соціально-економічні втрати від дорожньо-транспортних пригод (В), що стались у 2018 році визначаються за формулою (30) [5]:

	$V = 1,25 \%$	від ВВП у фактичних цінах за рік
або	$V = 1\,295\,012$ грн	на одного потерпілого
або	$V = 1\,049$ грн	на душу населення
або	$V = 44\,333,4$ млн грн	в абсолютному виразі

В цих втратах (В) враховано загальні втрати від загибелі та поранення людей в результаті ДТП ($V_{\text{заг.п}}$), що визначені за формулою (1) [5]:

$$V_{\text{заг.п}} = 44\,333\,444,7 \text{ тис. грн.}$$

1. В цих витратах ($V_{\text{заг.п}}$) враховано наступне:

1.1. Втрати, пов'язані із загибеллю людей, що не мали сім'ї ($V_{\text{б}}$), розраховані за формулою (2) [5]:

$$V_{\text{б}} = 12\,681\,909,0 \text{ тис. грн.}$$

1.2. Втрати, пов'язані із загибеллю людей, що мали сім'ю ($V_{\text{с}}$), розраховані за формулою (6) [5]:

$$V_{\text{с}} = 12\,736\,539,0 \text{ тис. грн.}$$

1.3. Втрати, пов'язані з отриманням потерпілими інвалідності ($V_{\text{ин}}$), розраховані за формулою (9) [5]:

$$V_{\text{ин}} = 8\,072\,190,9 \text{ тис. грн.}$$

1.4. Втрати від поранення людей, що отримали тимчасову непрацездатність ($V_{\text{н}}$), розраховані за формулою (15) [5]:

$$V_{\text{н}} = 2\,227\,708,8 \text{ тис. грн.}$$

1.5. Втрати від загибелі дітей ($V_{\text{д}}$), розраховані за формулою (18) [5]:

$$V_{\text{д}} = 6\,186\,508,2 \text{ тис. грн.}$$

1.5.1. У розмірі втрат від загибелі дітей враховано комплексну вартісну оцінку збитку від загибелі дитини ($D_{\text{н,дит}}$), розраховану за формулою (26) [5]:

$$D_{\text{н,дит}} = 10\,259,5 \text{ тис. грн.}$$

1.5.1.1. Комплексна вартісна оцінка збитку суспільства від загибелі дитини враховує витрати:

1.5.1.1.1. На навчання однієї дитини в школі, розрахована за формулою (22) [5]:

$$V_{\text{шк}} = 113,8 \text{ тис. грн.}$$

1.5.1.1.2. На навчання однієї дитини в середніх і вищих навчальних закладах, яка розрахована за формулою (23) [5]:

$$V_{\text{тв}} = 24,8 \text{ тис. грн.}$$

1.5.1.1.3. Батьків на навчання однієї дитини в школі, яка розрахована за формулою (24) [5]:

$$V_{\text{зп.шк}} = 332,3 \text{ тис. грн.}$$

1.5.1.1.4. Батьків на навчання однієї дитини в середніх і вищих навчальних закладах, яка розрахована за формулою (25) [5]:

$$V_{\text{зп.тв}} = 304,1 \text{ тис. грн.}$$

1.6. Втрати від пошкодження транспортного засобу (V_A), розраховані за формулою (27) [5]:

$$V_A = 2\,211\,700,5 \text{ тис. грн.}$$

1.7. Втрати від пошкодження транспортного засобу (V_B), розраховані за формулою (28) [5]:

$$V_B = 69\,933,4 \text{ тис. грн.}$$

1.8. Збитки від пошкодження елементів автомобільної дороги в результаті ДТП (V_{DC}), розраховані за формулою (29) [5]:

$$V_{DC} = 146\,954,8 \text{ тис. грн.}$$

Таблиця 2

Динаміка соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод за період з 2010 по 2018 роки

Рік	Населення України, тис. осіб	Загальна кількість загиблих, осіб	Соціально-економічні втрати від ДТП	
			млрд грн.	% від ВВП
2010	45 871	4 709	14,1	1,31
2011	45 706	4 831	18,0	1,39
2012	45 593	5 094	10,4	0,74
2013	45 490	4 732	8,4	0,57
2014	43 001	4 432	28,2	1,78
2015	42 845	4 003	2 735,6	137,57
2016	42 673	3 410	39,4	1,65
2017	42 485	3 432	111,4	3,73
2018	42 270	3 350	44,3	1,25

Обґрунтування доцільності внесення змін в існуючу методику розрахунку та постановка завдань для майбутніх досліджень

За результатами аналізу проведених розрахунків (табл. 2), розмір соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод, які сталися у 2015 році, значно (у 69–97 разів) відрізняється від розмірів втрат за інші роки. При цьому, основні параметри для розрахунку (кількість населення України та загальна кількість загиблих у ДТП) незначно відрізняються від сусідніх значень у діапазоні — в межах [–14,8 %; +10,7 %].

Такий факт розбіжності свідчить про математичну невідповідність у проведених розрахунках. Тому в подальшому дослідженні доцільно провести аналіз та встановити соціально-математичну обґрунтованість розрахункових формул.

Також, пропонується спростити математично-аналітичний апарат для проведення розрахунку соціально-економічних втрат від ДТП. Такий спрощений механізм має давати аналогічний за точністю результат (у межах похибки 5–10 % в абсолютному вимірі) та буде слугувати орієнтиром під час проведення розрахунків на передінвестиційних стадіях дорожньо-будівельних робіт або у випадку відсутності всіх необхідних вихідних даних.

Висновки

Використовуючи сучасні засоби статистичної інформації було підібрано всі необхідні вихідні дані для достовірного розрахунку показника соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод згідно з Методикою [5].

У дослідженні наводиться приклад розрахунку вищезгаданих соціально-економічних втрат за 2018 рік та результати розрахунків за 2010–2017 роки. Соціально-економічні втрати від дорожньо-транспортних пригод за 2010–2018 роках становлять, в середньому, 1,5–2,0 % від розміру валового внутрішнього продукту за відповідний рік, але при цьому наявна суттєва (більше ніж у 50 разів) різниця розміру втрат, які стались у 2015 році від розмірів втрат за інші роки.

Така невідповідність підтвердила гіпотезу щодо надмірної деталізації розрахунку та наявності математичної невідповідності у розрахункових формулах, а також доводить необхідність подальшого дослідження для оновлення механізму розрахунку соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод. Розрахунок втрат за оновленим механізмом дозволить зменшити ймовірність помилок під час розрахунків, спростить і пришвидшить розрахунок вищезгаданих втрат на передінвестиційних стадіях планування дорожньо-будівельних робіт або у випадку відсутності усіх необхідних вихідних даних.

Список літератури

1. Про джерела фінансування дорожнього господарства України: Закон України від 05.12.2019 N 1562-ХІІ // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1562-12> (дата звернення: 29.04.2020).

2. Про внесення змін до Бюджетного кодексу України щодо запровадження середньострокового планування розвитку і утримання автомобільних доріг: Закон України від 12.11.2019 N 283-ІХ // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/283-IX> (дата звернення: 29.04.2020).

3. Про внесення змін до Закону України «Про джерела фінансування дорожнього господарства України» щодо запровадження середньострокового планування розвитку та утримання автомобільних доріг загального користування»: Закон України від 12.11.2019 N 282-ІХ // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/282-20> (дата звернення: 29.05.2020).

4. 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 N 573/1019 // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1734-12> (дата звернення: 29.04.2020).

5. М 218-03450778-695:2011 Методика визначення соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод. Київ, 2011. 19 с. (Інформація та документація).

6. Безуглий А. О. Теоретичні аспекти визначення показника соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод / А. О. Безуглий, В. В. Концева, Б. О. Стасюк // *Вісник Національного транспортного університету*. - 2019. - № 2. - С. 11-18. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu_2019_2_4 (дата звернення: 29.04.2020).

7. Безуглий А. О. Оцінка соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод / А. О. Безуглий // *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія*. - 2013. - Вип. 12. - С. 231-238. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Upsal_2013_12_28 (дата звернення: 29.04.2020).

8. Долженкова О.В., Уварова К.В. Прогнозування соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод / *Наукове електронне (онлайн) видання Молодіжний науковий вісник ДНУ ім. О. Гончара. Серія: Економічні науки*, Вип. 4 (14). 2016, С. 89-98.

9. Рингач Н. О. Оцінка безповоротних демографічних втрат, спричинених смертністю в результаті транспортних нещасних випадків в Україні / Н. О. Рингач // *Демографія та соціальна економіка*. - 2017. - № 2. - С. 61-77. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dse_2017_2_6 (дата звернення: 29.04.2020).

10. Колодяжна О. І. Визначення втрачених років здорового життя від професійних захворювань за методом DALY / О. І. Колодяжна, А. М. Нагорна // *Український журнал з проблем медицини праці*. - 2013. - № 2. - С. 11–15. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ujpmmp_2013_2_3 (дата звернення: 29.04.2020).

References

1. Pro dzherela finansuvannia dorozhnoho hospodarstva Ukrainy: Law of Ukraine of 20.10.2019 N 1562-XII // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1562-12> (Last accessed: 29.04.2020) [in Ukrainian].

2. Pro vnesennia zmin do Biudzhethnoho kodeksu Ukrainy shchodo zaprovadzhennia serednostrokovoho planuvannia rozvytku i utrymannia avtomobilnykh dorih: Law of Ukraine of 12.11.2019 N 283-IX // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/283-IX> (Last accessed: 29.04.2020) [in Ukrainian].

3. Pro vnesennia zmin do Zakonu Ukrainy «Pro dzherela finansuvannia dorozhnoho hospodarstva Ukrainy» shchodo zaprovadzhennia serednostrokovoho planuvannia rozvytku ta utrymannia avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia»: Law of Ukraine of 12.11.2019 N 283-IX // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/282-20> (Last accessed: 29.04.2020) [in Ukrainian].

4. Pro zatverdjennia Metodyky vyznachennia obsiahu finansuvannia budivnytstva, rekonstruktsii, remontu ta utrymannia avtomobilnykh dorih: Order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine, Ministry of Finance Ukraine of 21.09.2012 N 573/1019 // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1734-12> [in Ukrainian].

5. Method (M 218-03450778-695:2011) Metodyka vyznachennia sotsialno-ekonomichnykh vtrat vid dorozhno-transportnykh pryhod (Methodology estimation socio-economic costs of road accidents) Kyiv, 2011. 19 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

6. Bezuglyi A. O., Kontseva V. V., Stasiuk B. O. Teoretychni aspekty vyznachennia pokaznyka sotsialno-ekonomichnykh vtrat vid dorozhno-transportnykh pryhod (The theoretical aspects of determination index of socio-economic losses from road accidents). *Visnik (Nacional'nij transportnij universitet)* Kyiv, 2019. Iss. 2 (44). P. 11-18. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu_2019_2_4 (Last accessed: 29.04.2020) [in Ukrainian].

7. Bezuglyi A. O. Otsinka sotsialno-ekonomichnykh vtrat vid dorozhno-transportnykh pryhod (Assessment of the socio-economic costs of road accidents). *Upravlinnâ proektami, sistemnij analiz i logistika*. Kyiv, 2013. Iss. 12. P. 231-238. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Upsal_2013_12_28 (Last accessed: 29.04.2020) [in Ukrainian].

8. Doljenkova O.V., Uvarova K.V. Prognozuvanny asotsialno-ekonomichnykh vtrat vid dorozhno-transportnykh prygod (Prognostication of the socio-economic costs of road accidents). *Naukove elektronne (onlain) vydannia Molodizhnyi naukovyi visnyk DNU im. O. Honchara. Serii: Ekonomichni nauky*. Dnipropetrovs'k. 2016. Iss. 4 (14). P. 89-98 [in Ukrainian].

9. Ryngach N. O. Otsinka bezpovorotnykh demografichnykh vtrat, sprychynenykh smertnistu vrezultati transportnykh neshchasnykh vypadkiv v Ukraini (Estimation of irrevocable demographic losses caused by mortality in transport accidents in Ukraine). *Demografiâ ta social'na ekonomika*. 2017, Kyiv. Iss. 2 (30). P. 61–77. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dse_2017_2_6 (Last accessed: 29.04.2020) [in Ukrainian].

10. Kolodyazhnaya O. I. Vyznachennia vtrachenykh rokiv zdorovoho zhyttia vid profesiinykh zakhvoriuvan za metodom DALY (Determination of lost years of healthy life from occupational disease susing dalymethod). *Ukrains'kij žurnal z problem medicini pracì*. 2013. Iss. 2. P. 11-15. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ujpmmp_2013_2_3 (Last accessed: 29.04.2020) [in Ukrainian].

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

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

Bohdan Stasiuk,¹ <https://orcid.org/0000-0003-2504-6577>

¹*M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine*

²*National Transport University, Kyiv, Ukraine*

THE CONCEPTUAL BACKGROUND OF DETERMINATION AND THE REASONING OF SIZE OF SOCIO-ECONOMIC LOSSES FROM ROAD ACCIDENTS

Abstract

The paper presents the results of estimating socio-economic losses from road accidents on 2010–2018 years and contains proposes to improvement the current methodology for determining this losses.

Object of the study — the actual mechanism of estimating socio-economic losses from road accidents in Ukraine.

Purpose of the study — to analyze mechanism of estimating socio-economic losses from road accidents with further reasoning to improvement the current methodology of estimating.

Method of the study — to analyze object of the study with the synthesis propositions for forward research.

In the article gives analyze of using the indicator “socio-economic losses from road accidents” and noted its importance. The article contains the results of estimating socio-economic losses from road accidents on 2018 and previous years. Also indicated what the current methodology of estimating the value of socio-economic losses from road accidents are over-detailed and contains the mathematical mismatch in the calculation.

In further research planes to simplify the mathematical-analytical apparatus for estimating socio-economic losses from road accidents.

The calculation of socio-economic losses from road accidents according to the updated methodology will reduce the probability of errors and mistakes, simplify and accelerate the estimating of socio-economic losses at pre-investment stages of road construction works, serve as a guideline in the absence of some data, what used as output.

Key words: road accident, index, distribution, financing, socio-economic losses.

УДК 65.011.01+330

Іванченко В. О., канд. екон. наук., доц., <https://orcid.org/0000-0003-4014-0780>*Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна*

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМНИЦТВА

Анотація

Вступ. Постійне зростання автомобілізації населення та недофінансування поточних середніх та капітальних ремонтів автомобільних доріг, призвело до руйнування більшості автомобільних доріг, збільшення кількості ДТП, зниження ефективності перевезення вантажів та пасажирів, збільшення викидів в атмосферу та збільшення соціальної напруги. Для подолання цих наслідків, на усіх рівнях державної та місцевої влади, запроваджено програми розвитку автомобільних доріг загального користування, реалізацію яких забезпечує підприємництво в дорожній галузі.

Проблематика. Постійний тиск умов договорів і контрактів, забезпечення виконання їх економічних показників, дотримання екологічних норм і нормативів, забезпечення постійного збільшення соціального капіталу це основні проблеми, що постійно виникають у процесі функціонування підприємництва в дорожній галузі. Їх розв'язком може бути лише рух підприємництва шляхом сталого розвитку.

Мета й завдання роботи. Метою статті є характеристика організаційно-економічних аспектів забезпечення сталого розвитку підприємництва через діяльність господарюючих суб'єктів у дорожній галузі України, а завданням є розкриття та характеристика основних організаційних та економічних аспектів, які є ключовими для сталого розвитку підприємництва.

Матеріали й методи. Під час написання статті було використано діалектичні методи пізнання, як аналіз і синтез у частині характеристик діяльності підприємництва та виконання основних завдань програм розвитку доріг, а також індукція, для розкриття організаційно-економічних аспектів забезпечення сталого розвитку підприємництва.

Результати. У роботі розкрито показники фінансування підприємництва в дорожній галузі та охарактеризовано основні організаційно-економічні аспекти забезпечення їх сталого розвитку для подальшого покращення її економічного, соціального та екологічного стану.

Висновки. Функціонування підприємництва в дорожній галузі надає можливість забезпечити виконання програм розвитку автомобільних доріг загального користування. Таке підприємництво не має можливості повністю реалізувати усі принципи підприємництва та постійно працює за умовами, які прописані контрактами на будівництво, реконструкцію та ремонти автомобільних доріг загального користування. Вдале та ефективне функціонування підприємництва можливе при збільшенні його кількості на ринку послуг для створення конкуренції, що підвищить якість надання цих послуг, постійному нарощенні виробничого потенціалу та запровадження нових технологій, дотримання та підвищення екологічних норм і нормативів при виконанні робіт. Все це забезпечить сталий розвиток підприємництва в дорожній галузі, забезпечить економічне зростання, зменшення соціального невдоволення та забезпечення створення нових робочих місць і зменшить екологічне навантаження на навколишнє середовище.

Ключові слова: автомобільна дорога, дорожня галузь, організаційно-економічні аспекти, підприємництво, програма розвитку, розвиток.

Вступ

Швидке та комфортне пересування дорогами України, економічне та безпечне перевезення вантажів і пасажирів, забезпечення доступу до туристичних маршрутів і розвиток туризму та ряд інших вигід може надати користувачам автомобільних доріг загального користування підприємцтво в дорожній галузі. Саме його сталий розвиток забезпечує повернення доріг до належних норм після нещадної експлуатації (навантаження на дорожній одяг розраховувалося за нормами, які діяли в Радянському союзі, а ремонт не проводили понад 30 років [1]). Саме сталий розвиток підприємництва в дорожній галузі забезпечить подальший соціально-економічний розвиток держави та її інтеграцію до європейської спільноти.

Висвітленню деяких питань розвитку підприємництва в контексті їх діяльності в дорожній галузі приділяли увагу в своїх роботах Деділова Т., Токар І. та Кобизев В. в частині діагностики стратегічного середовища їх функціонування [2]; Oglu Feizullaev M. A., та Oglu Javadov R. J. (2018, October) — в частині проблем підприємництва, що займається будівництвом доріг, що виникають при визначенні рентабельності будівельно-монтажних робіт та економічно обґрунтованим розрахункам вартості інвестиційних проєктів на будівництво, реконструкцію та капітальний ремонт автомобільних доріг [3]; Childs W. R. (2017) — в частині історії співпраці підприємств різної форми власності на будівництві доріг [4]; Безуглий А. — в частині аналізу системи фінансування державних суб'єктів господарювання дорожньої галузі [5], але частина питань стосовно аспектів забезпечення сталого розвитку підприємництва що здійснюють свою діяльність у дорожній галузі залишилась не висвітлена.

Мета й завдання роботи. Метою статті є характеристика організаційно-економічних аспектів забезпечення сталого розвитку підприємництва через діяльність господарюючих суб'єктів у дорожній галузі України, а завданням є розкриття та характеристика основних організаційних та економічних аспектів, які є ключовими для сталого розвитку підприємництва.

Основна частина

Підприємництво за законодавством України — це самостійна, ініціативна, систематична, на власний ризик господарська діяльність, що здійснюється суб'єктами господарювання (підприємцями) з метою досягнення економічних і соціальних результатів та одержання прибутку [6]. Все підприємництво України в своїй господарській діяльності керується основними принципами підприємництва, а саме:

- вільного вибору підприємцем видів підприємницької діяльності;
- самостійного формування підприємцем програми діяльності, вибору постачальників і споживачів продукції, що виробляється, залучення матеріально-технічних, фінансових та інших видів ресурсів, використання яких не обмежено законом, встановлення цін на продукцію та послуги відповідно до закону;
- вільного найму підприємцем працівників;
- комерційного розрахунку та власного комерційного ризику;
- вільного розпорядження прибутком, що залишається у підприємця після сплати податків, зборів та інших платежів, передбачених законом;
- самостійного здійснення підприємцем зовнішньоекономічної діяльності, використання підприємцем належної йому частки валютної виручки на свій розсуд.

Але не в усіх галузях економіки в своїй діяльності підприємці можуть дотримуватися цих основних принципів підприємництва. У дорожній галузі, підприємець втрачає один із головних

принципів — самостійність. Це відбувається тому, що всі суб'єкти господарювання в дорожній галузі при виконанні робіт повинні чітко дотримуватися норм Державних цільових економічних програм розвитку автомобільних доріг, Регіональних програм розвитку автомобільних доріг та умов контракту, за яким виконуються дані роботи. Тобто, іншими словами, коли виконавець робіт – підприємницька структура дорожньої галузі, виконує роботи, то побудувати дорогу він може тільки у відведеному місці та за параметрами наведеними в технічній документації, крім цього потрібно працювати відповідно до встановлених строків із дотриманням технологій та використанням матеріалів, що відповідають національним стандартам.

У дорожній галузі за матеріалами Державної служби статистики працює біля 1 800 одиниць юридичних і фізичних осіб-підприємців, які можуть займатися будівництвом автомобільних доріг (рис. 1).

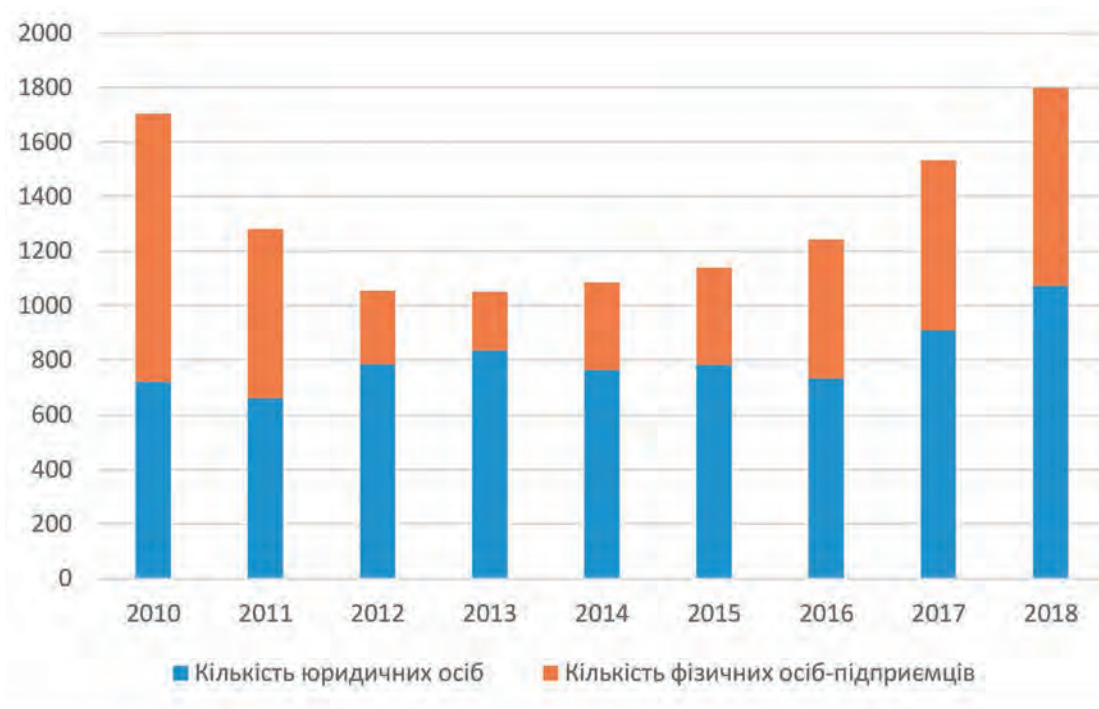


Рисунок 1 — Кількість суб'єктів господарювання за видом економічної діяльності «42.11 — Будівництво доріг і автострад» [7]

Це дуже незначна кількість господарюючих суб'єктів, до загальній кількості вона становить лише 0,097 %. Цій малій кількості підприємців у дорожній галузі потрібно функціонувати в дуже жорстких умовах, що ускладнюють забезпечення сталого розвитку підприємництва. Крім цього, також вирішальним для цих підприємців є фінансування. За законодавством України автомобільні дороги загального користування поділяють на автомобільні дороги державного та місцевого значення [8]. Фінансування всіх робіт на дорогах державного значення відбувається у своїй більшості з державного бюджету України через Укравтодор, а робіт на дорогах місцевого значення — за рахунок місцевих бюджетів та за участі місцевих адміністрацій. У законодавстві передбачено можливість залучення до фінансування інвесторів або міжнародні організації, але все одно під керівництвом державних структур.

Розміри державного фінансування робіт у дорожній галузі поступово збільшуються (рис. 2) про що свідчать показники Державних цільових економічних програм розвитку автомобільних доріг загального користування.

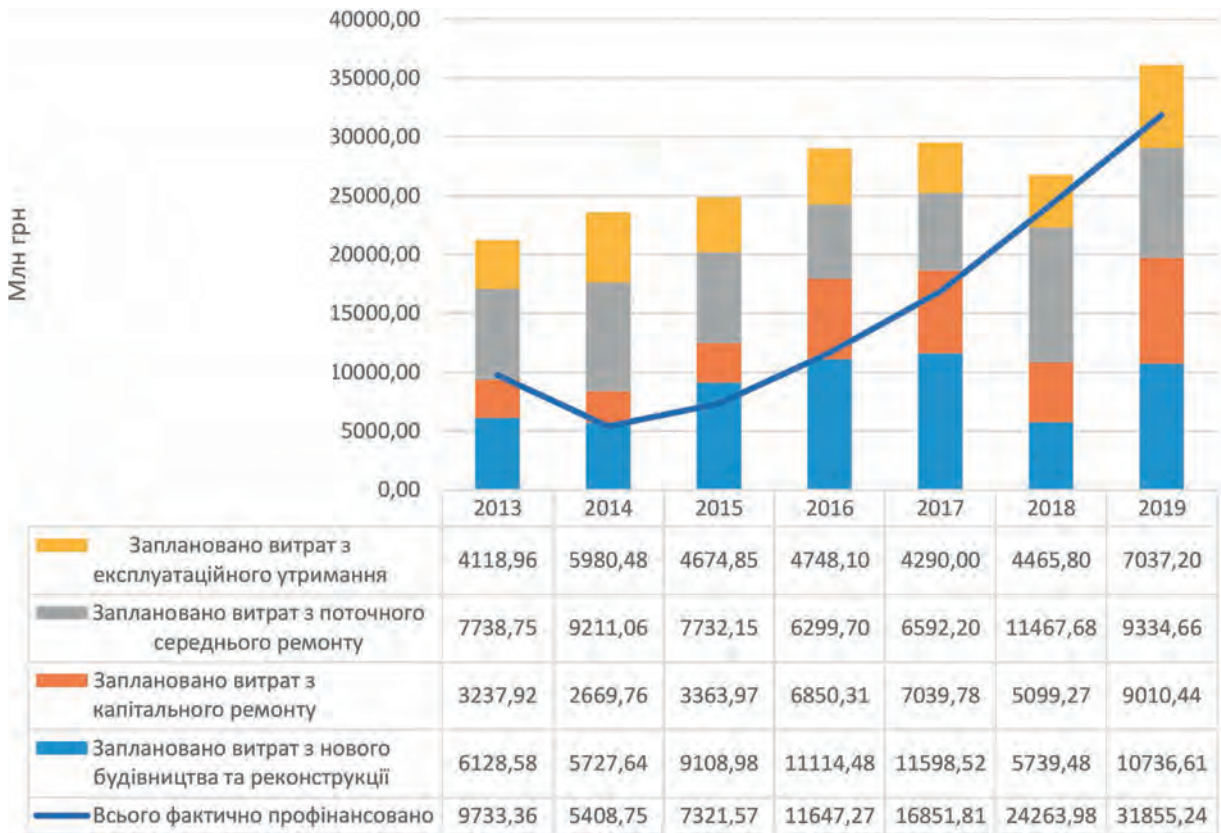


Рисунок 2 — Планові та фактичні показники фінансування програм розвитку автомобільних доріг загального користування

Програми розвитку доріг у переліку завдань мають не тільки фінансування експлуатаційного утримання, поточного середнього та капітального ремонтів і нового будівництва, а ще ряд інших завдань. До них відносяться:

- проєктно-вишукувальні роботи майбутніх років;
- забезпечення інноваційного розвитку дорожнього господарства;
- забезпечення контролю якості дорожніх робіт;
- створення геоінформаційної системи керування станом автомобільних доріг та інших інформаційних систем;
- здійснення соціальних заходів;
- виконання зобов’язань за кредитами.

Крім того, зважаючи на стан доріг — у зв’язку з обмеженим фінансуванням, біля 90 % автомобільних доріг загального користування не ремонтували понад 30 років, і за міцністю (39,2 %) та за рівністю (51,1 %) не відповідають сучасним вимогам [1]. Цей обсяг фінансування забезпечує виконання робіт на невеликій протяжності доріг (рис. 3).

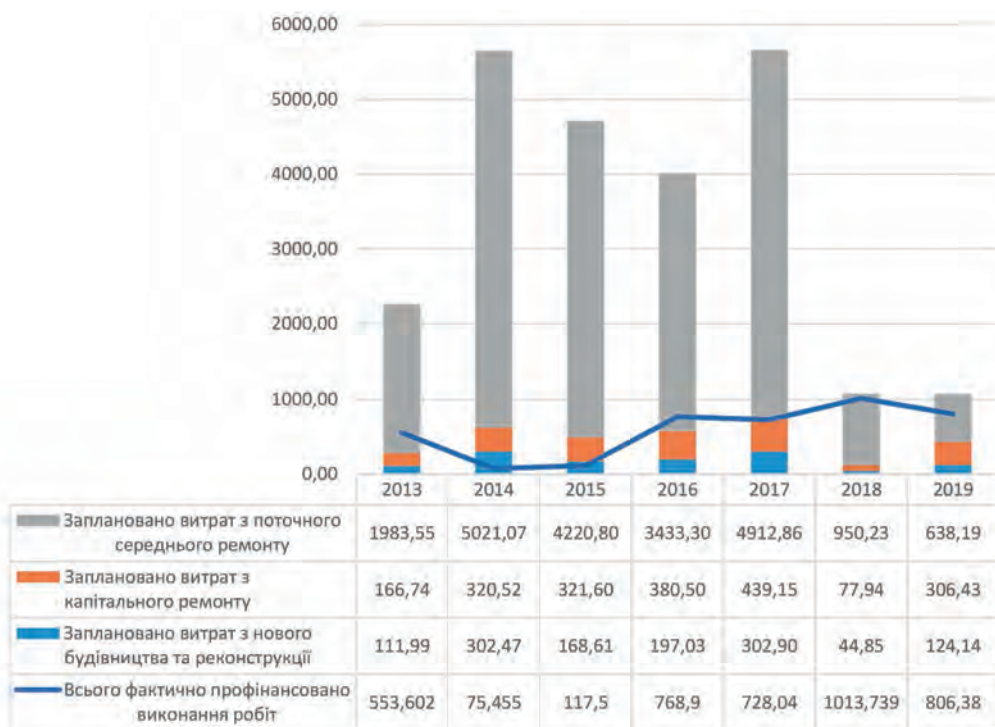


Рисунок 3 — Планові та фактичні показники здійснення робіт за програми розвитку доріг загального користування

За час виконання програм розвитку автомобільних доріг загального користування роботи було здійснено лише на незначній протяжності. Максимальна протяжність в рік становила біл 1 тис. км. Але за нормативами строки експлуатації дорожнього одягу між капітальними ремонтами автомобільних доріг, залежно від категорії дороги, коливаються в межах 6–2 років (для асфальтобетонів) [9], а для поточного середнього ремонту — від 3 до 6 років. Відповідно до зазначеного за останні 30 років на всіх дорогах повинні були зробити не менше трьох разів поточний середній ремонт та не менше двох разів капітальний ремонт. Тобто існує великий фронт робіт, враховуючи, що загальна протяжність автомобільних доріг державного значення становить біля 47 тис. км, [10] а місцевого — приблизно 373 тис. км.

Зважаючи на зазначене, підприємству в дорожній галузі потрібно постійно збільшувати свою кількість і нарощувати потенціал для здійснення робіт, так як все фінансування здійснюється через систему публічних закупівель Prozorro. Постійне нарощення технічної бази й застосування нових технологій і нового обладнання збільшить можливість отримати контракт на виконання робіт.

Крім цього головним балансоутримувачем доріг — обласним службам автомобільних доріг (якщо дороги державного значення) та профільним департаментам чи державним підприємствам обласних державних адміністрацій потрібно в умовах проведення тендеру допускати до торгів велику кількість учасників, що надасть можливість за рахунок конкуренції підвищити якість надання послуг.

Конкуренція у 2018 році призвела до того, що контракти із замовниками підписали 334 нових представника підприємництва в дорожній галузі. З них майже 100 брали участь виключно у

відкритих торгах. Крім цього 5 найбільших підрядників отримали чверть усіх замовлень, при цьому у 2017 році цей показник був на рівні 40 % [11]. Тобто, збільшення кількості підприємництва на ринку послуг в дорожній галузі свідчить про зростання їх економічного потенціалу та забезпечення економічної складової сталого розвитку підприємництва в дорожній галузі. Так у 2017 році було реалізовано продукції (товарів, послуг) підприємцями юридичними особами на суму біля 27,4 млрд грн, а у 2018 — році ця сума становила біля 41,2 млрд грн. Фізичними особами-підприємцями було реалізовано продукції (товари, послуги) на 1,1 млрд грн та 1,5 млрд грн відповідно [12].

Соціальна складова стійкого розвитку орієнтована на людину і спрямована на збереження стабільності соціальних і культурних систем, у тому числі, на скорочення числа руйнівних конфліктів між людьми. Відповідно до цього твердження, підприємництво в дорожній галузі, шляхом догляду за дорогами загального користування, впливає на:

- зменшення небезпеки життю користувачів;
- зменшення дорожньо-транспортних пригод;
- зменшення соціальної напруги;
- збільшення кількості перевезень вантажів і пасажирів;
- підвищення економічного потенціалу регіону тощо.

З екологічної точки зору, сталий розвиток має забезпечувати цілісність біологічних і фізичних природних систем. Відповідно, підприємництво в дорожній галузі при здійсненні робіт із ремонтів доріг загального користування шляхом покращення експлуатаційних показників дорожнього одягу та дорожніх споруд зменшує шумове навантаження на навколишнє середовище, завдяки кращим умовам руху зменшуються викиди в атмосферу від руху автомобільного транспорту тощо.

Висновки

Функціонування підприємництва в дорожній галузі надає можливість забезпечити виконання програм розвитку автомобільних доріг загального користування. Проте таке підприємництво не має можливості повністю реалізувати всі свої принципи та постійно працює за умовами, які прописані контрактами на будівництво, реконструкцію та ремонти автомобільних доріг загального користування. Тому вдале та ефективне функціонування підприємництва можливо за збільшення його кількості на ринку послуг для створення конкуренції, що підвищить якість надання цих послуг, постійному нарощенні виробничого потенціалу та запровадження нових технологій, дотримання екологічних норм під час виконання робіт.

Список літератури

1. Про внесення змін до статті 4 Закону України «Про джерела фінансування дорожнього господарства України» щодо додаткових джерел наповнення територіальних дорожніх фондів»: Пояснювальна записка до проекту Закону України // База даних Законодавство України / Ліга Закон. URL: http://search.ligazakon.ua/1_doc2.nsf/link1/GI01225A.html (дата звернення: 01.03.2020).
2. Деділова Т. В. Токар І. І., Кобизев В. Є. Діагностика стратегічного середовища дорожньо-будівельного підприємства. *Економіка та суспільство*. 2017. N 11. P. 215–219. URL: http://economyandsociety.in.ua/journal/11_ukr/36.pdf (дата звернення: 15.04.2020).
3. Oglu Feizullaev, M. A., & oglu Javadov, R. J. Road-Building Enterprise in a Risky

Environment: Efficiency of Management. In *The International Science and Technology Conference «Far East Con-2018»*. Cham, 2018. N 1. P. 594-603 DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-15577-3_56.

4. Childs W. R. How Public and Private Enterprise Have Built American Infrastructure. *Origins: Current Events in Historical Perspective*. Columbus, 2017. N 11 (1).

5. Безуглий А. О. Аналіз системи фінансування державних суб'єктів господарювання дорожньої галузі / А. О. Безуглий // Проблеми і перспективи розвитку підприємництва. - 2014. - № 1. - С. 29-32. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/piprp_2014_1_8 (дата звернення: 15.04.2020).

6. Господарський кодекс України від 16.01.2003 № 436-IV // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/436-15#n316> (дата звернення: 15.04.2020).

7. Кількість суб'єктів господарювання за видами економічної діяльності (2010-2018). Показники суб'єктів господарювання. Економічна статистика. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/sze.htm (дата звернення: 15.04.2020).

8. Про автомобільні дороги: Закон України від 08.09.2005 № 2862-IV // База даних Законодавство України / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2862-15#Text> (дата звернення: 15.04.2020).

9. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015. 104 с. (Інформація та документація).

10. Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення: Постанова Кабінету Міністрів України від 30.01.2019 N 55 // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/55-2019-%D0%BF> (дата звернення: 15.04.2020).

11. Гроші на дороги: як працює система фінансування ремонту доріг. 2019. URL: <https://medium.com/@reforms/b49267f15849> (дата звернення: 20.04.2020).

12. Обсяг реалізованої продукції (товарів, послуг) суб'єктів господарювання за видами економічної діяльності у 2010-2018 роках. Показники суб'єктів господарювання. Економічна статистика. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/sze.htm (дата звернення: 15.04.2020).

References

1. Pro vnesennya zmin do statti 4 Zakonu Ukrainy «Pro dzherela finansuvannya dorozhnoho hospodarstva Ukrainy» shchodo dodatkovykh dzherel napovnennya terytorialnykh dorozhnikh fondiv: Poyasnyval na zapyska do proektu Zakonu Ukrainy // Data base of Legislation of Ukraine / Liga Zakon. URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/GI01225A.html (Last accessed: 01.03.2020) [in Ukrainian].

2. Dedilova T.V., Tokar I.I.; Kobzyev, V.E. Diahnostyka stratehichnoho seredovyscha dorozhno-budivelnogo pidpryyemstva. (Diagnostics of strategic environment road construction company). *Ekonomika ta suspil'stvo*. 2017. N 11. P. 215–219) URL: http://economyandsociety.in.ua/journal/11_ukr/36.pdf (Last accessed: 29.04.2020) [in Ukrainian].

3. Oglu Feizullaev M. A., & oglu Javadov R. J. Road-Building Enterprise in a Risky Environment: Efficiency of Management. In *The International Science and Technology Conference «FarEastCon»*. Cham, 2018. N 1. P. 594-603 https://doi.org/10.1007/978-3-030-15577-3_56 [in English].

4. Childs W. R. How Public and Private Enterprise Have Built American Infrastructure. *Origins: Current Events in Historical Perspective*. Columbus, 2017. N 11(1) [in English].

5. Bezugliy A. O. Analysis of the financing system of state entities managing the road industry (Analiz systemy finansuvannya derzhavnykh sub'yektiv hospodaryuvannya dorozhnoyi haluzi. *Problemi i perspektivi rozvitku pidpriemnictva*. Kharkiv, 2014. N 1. P. 29-32 [in Ukrainian].
6. Hospodarskyi kodeks Ukrainy of 16.01.2003 N 436-IV // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/436-15#n316> (Last accessed: 15.04.2020).
7. Kil'kist sub'yektiv hospodaryuvannya za vydamy ekonomichnoyi diyal'nosti (2010-2018). Pokaznyky sub'yektiv hospodaryuvannya. Ekonomichna statystyka (Number of economic entities by type of economic activity (2010-2018). Business entities. Economic statistics). URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/sze.htm [In Ukrainian].
8. Pro avtomobilni dorohy: Law of Ukraine of 08.09.2005 N 2862-IV, editorial office of 25.03.2018 N 2304-VIII // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2862-15> (Last accessed: 15.04.2020).
9. State Building Norms (DBN V.2.3-4-2015) Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannya. Chastyna II. Budivnytstvo. Kyiv, 2015. 104 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
10. Pro zatverdzhennya pereliku avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannya derzhavnoho znachennya: Decree of of Cabinet of Ministers of Ukraine of 30.01.2019 N 55 // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/55-2019-%D0%BF> (Last accessed: 15.04.2020).
11. Hroshi na dorohy: yak pratsyuye systema finansuvannya remontu dorih (Road money: how the road repair financing system works). 2019. URL: <https://medium.com/@reforms/b49267f15849> (Last accessed: 15.04.2020). [in Ukrainian].
12. Obsyah realizovanoi produktsiyi (tovariv, posluh) sub'yektiv hospodaryuvannya za vydamy ekonomichnoyi diyalnosti u 2010-2018 rokakh. Pokaznyky sub'yektiv hospodaryuvannya. Ekonomichna statystyka (Volume of sales of products (goods, services) of economic entities by types of economic activity in 2010-2018. Business entities. Economic statistics). URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/sze.htm (Last accessed: 15.04.2020). [in Ukrainian].

Vitaliy Ivanchenko, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0003-4014-0780>

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

ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC ASPECTS OF SUSTAINABLE BUSINESS DEVELOPMENT

Abstract

Introduction. Continuous growth of motorization of the population and under-financing of current medium and major repairs of highways have led to the destruction of most motorways, increased number of accidents, reduced efficiency of transportation of goods and passengers, increased emissions into the atmosphere and rapid growth of social tension. To overcome these consequences, at all levels of state and local government, programs for the development of public highways have been introduced, the implementation of which is provided by entrepreneurship in the road industry.

Problem Statement. Constant pressure of agreements and contracts, enforcement of economic performance, environmental compliance and standards, ensuring continuous growth of social capital are the main issues that constantly arise in the operation of business in the road sector. Their solution can only

be a movement of entrepreneurship through sustainable development.

Purpose. The purpose of the article is to characterize the organizational and economic aspects of ensuring the sustainable development of entrepreneurship through the activities of economic entities in the road industry of Ukraine, and the task is to identify and characterize the main organizational and economic aspects that are key to the sustainable development of entrepreneurship.

Materials and Methods. During the writing of the article, dialectical methods of cognition were used, such as analysis and synthesis in terms of the characteristics of business activity and the fulfillment of the main tasks of road development programs, as well as induction, to reveal the organizational and economic aspects of ensuring sustainable business development.

Results. The paper describes the indicators of financing entrepreneurship in the road sector and describes the main organizational and economic aspects of ensuring their sustainable development to further improve the economic, social and environmental condition.

Conclusion. The functioning of entrepreneurship in the road industry provides an opportunity to ensure the implementation of programs for the development of public roads. Such entrepreneurship does not have the ability to fully implement all the principles of entrepreneurship and constantly works under the conditions stipulated in contracts for construction, reconstruction and repair of public roads. The successful and efficient functioning of entrepreneurship is possible when increasing its number in the market of services to create competition, which will improve the quality of providing these services, the constant increase of production capacity and the introduction of new technologies, the observance and improvement of environmental norms and standards when performing works. All this will ensure the sustainable development of entrepreneurship in the road sector, ensure economic growth, reduce social discontent and create new jobs and reduce the environmental burden on the environment.

Keywords: road, road industry, organizational and economic aspects, entrepreneurship, road development program, development.

УДК 65.011.01+330

Печончик Т. І., <https://orcid.org/0000-0003-4014-0780>*Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна*

ПРОГРАМНО-ЦІЛЬОВИЙ МЕТОД ПЛАНУВАННЯ РОБІТ У ДОРОЖНЬОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Анотація

Вступ. Застосування програмно-цільового методу планування робіт є одним із найефективніших методів у бюджетуванні країн Європи. Україна прийшла до його застосування порівняно недавно, але використання програмно-цільового методу планування робіт у дорожньому господарстві повинно стати ключовим.

Проблематика. Незадовільний стані автомобільних доріг загального користування та недостатнє фінансування будівництва, реконструкції та ремонтів об'єктів дорожнього господарства, які забезпечують підвищення рівня безпеки руху, швидкості, комфортності та економічності автомобільних перевезень пасажирів і вантажів автомобільними дорогами загального користування, виникає потреба в ефективному плануванні витрат, що здійснюються.

Мета й завдання роботи. Метою статті є оцінка ефективності програмно-цільового методу планування робіт, який використовується в Державних цільових економічних програмах у дорожньому господарстві. Завдання полягають у розкритті основних показників, що характеризують ефективність застосування цього методу у дорожньому господарстві.

Матеріали й методи. Під час написання статті було використано діалектичні методи пізнання, як індукція та синтез в частині розкриття основних складових програмно-цільового методу планування та виконання основних завдань програм розвитку доріг, а також аналіз, для характеристики показників його ефективності програмно-цільового методу планування робіт у дорожньому господарстві.

Результати. Аналіз ефективності бюджетних програм є підставою для прийняття управлінських рішень, зокрема:

- внесення в установленому порядку змін до бюджетних призначень поточного бюджетного періоду;
- внесення відповідних пропозицій до проекту бюджету на плановий бюджетний період та до прогнозу бюджету на наступні за плановим два бюджетні періоди;
- внесення пропозицій, включаючи зупинення реалізації відповідних бюджетних програм, у випадку невикористання коштів або неефективного використання коштів.

Висновки. Отже, використання програмно-цільового методу забезпечує:

- планування бюджетів на середньострокову перспективу;
- оптимальне використання бюджетних коштів, досягнення значного економічного та соціального ефекту;
- гнучкість у прийнятті управлінських рішень;
- посилення відповідальності розпорядників бюджетних коштів за досягнення кінцевого результату;
- підвищення обізнаності громадськості щодо ефективності витрачання коштів бюджету

територіальної громади та рівня задоволення споживачів суспільних і гарантованих соціальних послуг.

Ключові слова: аналіз, бюджет, дорожнє господарство, програма, програмно-цільовий метод.

Вступ

Автомобільні дороги, як найважливіша складова транспортної інфраструктури, є необхідною передумовою економічного та соціального розвитку держави. Від них залежить не тільки ефективність роботи промисловості, сільськогосподарського виробництва, а й забезпечення належного життєвого рівня людей та обороноздатності країни.

Мережа автомобільних доріг загального користування державного значення становить біля 46 тис. км, а протяжність доріг місцевого значення — 120 тис. км. У результаті постійного недофінансування, транспортно-експлуатаційний стан переважної більшості автомобільних доріг є незадовільним, зокрема більше 90 відсотків усіх автомобільних доріг мають високу зношеність і потребують ремонтів, крім цього спостерігається швидке руйнування дорожніх конструкцій, спричинене збільшенням вагових навантажень від транспортних засобів, інтенсивністю руху, на які існуюча мережа доріг не розрахована [1]. І хоча з 2018 року темпи відновлення доріг значно підвищились, проте вони не достатні для відновлення усєї мережі. Цьому заважає насамперед однорічне планування дорожніх робіт, що не дозволяє реалізації «маршрутного принципу» і максимізації соціально-економічного ефекту від дорожніх робіт. Крім того таке планування не дозволяє розвиватись конкурентному середовищу на ринку дорожніх робіт, оскільки інвестори готові вкладати кошти в розвиток виробничого потенціалу дорожніх підприємств за умови прогнозованості ринку на найближчих кілька років. Розв'язання даних проблем можливе за умови застосування програмно-цільового методу (далі — ПЦМ) планування дорожніх робіт, зокрема розроблення і чіткого дотримання Державних цільових економічних програм розвитку (далі — ДЦПР) мережі доріг загального користування. Проте, існує потреба в комплексній оцінці ефективності виконання таких програм, оскільки вони мають велику кількість різнопланових завдань і заходів і з різними вимірниками. Всі Державні цільові економічні програми базуються на програмно-цільовому методі здійснення витрат, який забезпечує прямий взаємозв'язок між розподілом бюджетних ресурсів і фактичними або запланованими результатами їх використання відповідно до встановлених пріоритетів державної політики.

Проблемі визначення, характеристики та застосування ПЦМ приділяли увагу науковці, серед яких Крупка М. в частині сутності та проблемних аспектів запровадження ПЦМ [2]; Бугай Т., Галюта А. та Ливдар М. — в частині застосування цього методу в бюджетному процесі [3] та [4]; Дишловий І. — в туристичній галузі [5] та Кириченко О. — в промисловості [6] тощо. Але питання використання ПЦМ саме в дорожній галузі — зовсім не розкрито.

Основна частина

Програмно-цільове планування є важливою частиною системи державного управління економікою. Воно дозволяє забезпечити розвиток пріоритетних галузей та комплексів, окремих територій залученням для цього фінансових ресурсів із різних джерел [7]. Відмінними рисами ПЦМ є:

– націленість на вирішення різнопланових проблем, переважно міжгалузевого та регіонального характеру;

- забезпечення взаємності інтересів, цілей і завдань органів влади і суб'єктів господарювання, а також планових періодів різної тривалості;
- ув'язка витрат бюджету з результатами їх використання, бюджетних асигнувань із функціями (послугами, видами діяльності) органів державної влади та місцевого самоврядування;
- індикативність характеру програм, строки реалізації яких знаходяться в прямій залежності від забезпеченості програм необхідними матеріальними та фінансовими ресурсами;
- системний характер основних цілей і завдань програм щодо рішення складних (міжгалузевих і міжрегіональних) проблем розвитку економіки та соціальної сфери регіону різного рівня;
- можливість використовувати ефект мультиплікатора при цільовому використанні бюджетних коштів, власних засобів, банківських кредитів та інших залучених коштів інвесторів (ініційований характер цільових програм, який здатен залучити значні фінансові ресурси, у випадку інвестиційної привабливості намічених перспектив, а також у випадку гарантованості повернення кредитних ресурсів).

Увага, яка приділяється удосконаленню програмно-цільового планування в Україні та закордоном, обумовлена тим, що даний метод управління витратами бюджету найбільшою мірою відповідає сучасним вимогам державного фінансового регулювання соціально-економічних процесів, так як орієнтує органи влади й організації, передусім, на досягнення поставленої мети. Стратегічні цілі та тактичні завдання, очікувані соціально-економічні результати міністерств, агентств, служб та організацій постають орієнтиром при розподіленні бюджетних коштів, у тому числі при формуванні цільових програм. Першочергового значення набуває визначення кінцевих результатів витрачання бюджетних коштів і показників, на підставі яких можна робити висновки про досягнення поставлених цілей. Про перспективність і переваги програмно-цільового методу планування свідчить значний досвід розвинутих країн. При цьому слід враховувати, що цільові програми дозволяють фінансувати проекти, які є непривабливими для приватного сектору. Особливо слід відзначити можливість забезпечення в рамках програмно-цільового планування послідовність бюджетної політики в середньостроковій перспективі. Розширення горизонту бюджетного планування дозволяє сформувати чітку систему критеріїв та індикаторів оцінки ефективності діяльності органів влади, забезпечити об'єктивність оцінки результатів реалізації програм, оптимізувати структуру й управління витратами бюджету. Процедура програмно-цільового планування в Україні має недоліки, які пов'язані з вибором пріоритетних цілей, встановленням критеріїв оцінки ефективності, а також оцінки досягнення цілей, розробленням системи показників результативності тощо. Також перешкоджає розвитку програмно-цільового планування низька якість середньо- та довгострокового макроекономічного прогнозування, а також відсутність відповідальності суб'єктів бюджетного планування за кінцевий результат. Залишається актуальною проблема відсутності якісної теоретичної та законодавчої бази для переходу до планування витрат бюджету відповідно до принципів бюджетування, орієнтованого на кінцевий результат.

Так за наявності у своєму розпорядженні значних фінансових ресурсів, перед центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері дорожнього господарства (далі — Укравтодор) постає важливе завдання — максимально ефективно їх використання, за умови забезпечення при цьому прямого взаємозв'язку між розподілом коштів і фактичними результатами їх використання відповідно до визначених пріоритетів.

Результативні показники ефективності ДЦПР мають:

- визначатися на підставі стратегічних цілей головного розпорядника коштів та очікуваних показників результату його діяльності на середньостроковий період з урахуванням фактично

досягнутих показників у попередніх бюджетних періодах і виходячи з тенденцій розвитку дорожньої галузі (сфери діяльності, регіону) та прогнозування її розвитку на перспективу;

- сформулюватися чітко та однозначно, бути зрозумілими та доступними для сприйняття широкими верствами населення;
- висвітлювати кількісні та якісні характеристики результатів, яких планується досягти за відповідний бюджетний період;
- характеризувати виконання кожного завдання бюджетної програми та реалізацію кожного напрямку використання бюджетних коштів;
- об'єктивно та реалістично відображати особливості та специфіку діяльності головного розпорядника, висвітлювати результати його діяльності в галузях (сферах діяльності);
- бути вимірюваними, надавати можливість порівняння за окремі бюджетні періоди, порівняння з аналогічними показниками інших бюджетних установ, мати кількісне вираження в одиницях виміру, які відповідають змісту показника;
- підтверджуватися офіційною державною статистичною, фінансовою та іншою звітністю, даними бухгалтерського, статистичного та внутрішньогосподарського (управлінського) обліку, що є джерелами інформації для визначення результативних показників, або розраховуватися за допомогою математичних дій з показниками такої звітності [8].

У вітчизняній практиці [8] використовують чотири групи результативних показників, а саме:

- показники витрат — це показники, що визначають обсяги та структуру ресурсів, які забезпечують виконання бюджетної програми та характеризують структуру витрат бюджетної програми;
- показники продукту використовуються для оцінки досягнення поставленої мети. Показниками продукту є, зокрема, обсяг виробленої продукції, наданих послуг чи виконаних робіт на виконання бюджетної програми, кількість користувачів товарів (робіт, послуг) тощо;
- показники ефективності — залежно від завдань, виконання яких забезпечує реалізацію бюджетної програми, можуть визначатись як витрати ресурсів на одиницю показника продукту (економність), відношення максимальної кількості вироблених товарів (виконаних робіт, наданих послуг) до визначеного обсягу фінансових ресурсів (продуктивність), досягнення визначеного результату (результативність);
- показники якості — є сукупністю властивостей, які характеризують досягнуті результати якості створеного продукту, що задовольняють споживача відповідно до їх призначення, та відображають послаблення негативних чи посилення позитивних тенденцій у наданні послуг (виробленні товарів, виконанні робіт) споживачам за рахунок коштів бюджетної програми. Показники, що характеризують рівень освоєння бюджетних коштів, недоцільно включати до складу показників якості.

Також важливими складовими ПЦМ, які дозволяють своєчасно попередити можливі проблеми, пов'язані з виконанням бюджету, та розробити заходи для покращення якості надання суспільних послуг й підвищення ефективності видатків місцевих бюджетів, є моніторинг та оцінка ефективності виконання бюджетних програм.

Моніторинг надає можливість на систематичній основі відслідковувати хід виконання програми, результати діяльності розпорядника бюджетних коштів, якість надання бюджетних послуг.

Дані, отримані у ході моніторингу, є основою для здійснення оцінки ефективності бюджетної програми, яка передбачає:

- аналіз відповідності поставлених завдань меті бюджетної програми;

- аналіз відповідності результативних показників поставленим завданням та меті бюджетної програми;
- визначення причини неефективного чи недостатньо ефективного виконання бюджетної програми;
- підготовку пропозицій щодо зміни напрямів спрямування бюджетних коштів з метою досягнення максимального ефекту від їх використання;
- аналіз доцільності реалізації бюджетної програми в наступних бюджетних періодах або її припинення.

Оцінка ефективності бюджетної програми є інструментом аналізу, який дозволяє:

- перейти до практики, орієнтованої на забезпечення оптимального співвідношення бюджетних видатків із досягнутими результатами;
- покращити структуру бюджетної програми як у ході її реалізації (наприклад, уточнивши завдання програми, показники тощо), так і на стадії планування програми на наступний бюджетний період;
- підвищити прозорість бюджетного процесу шляхом інформування громадськості про результати оцінки бюджетних програм.

Інформаційною базою для визначення фактичних показників ефективності виконання програмних заходів є дані паспортів ДЦПР та щорічних звітів про хід їх реалізації, а також дані статистичної, бухгалтерської та іншої звітності за відповідний період тощо.

Показники ефективності виконання програмних заходів враховуються при прийнятті управлінських рішень щодо уточнення завдань та заходів ДЦПР, визначення їх пріоритетності при формуванні переліку ДЦПР, які планується виконувати у відповідному році з використанням коштів державного бюджету.

Визначення результативності виконання ДЦПР у цілому та за етапами ґрунтується на використанні системи показників (індикаторів), які обчислюються як співвідношення фактичних і планових показників виконання програмних завдань і забезпечують, на основі врахування відхилень цих показників, прийняття рішень внаслідок оцінки ступеня досягнення встановлених програмних цілей і запланованої ефективності витрат коштів [9]. Порівняння фактичних показників ДЦПР із плановими (затверджених програмою) здійснюється шляхом:

- оцінки витрат з державного бюджету та інших джерел на реалізацію програмних заходів (показників витрат);
- оцінки ступеня досягнення проміжних та кінцевих цілей реалізації програми з використанням показників обсягу виробленої продукції або виконаних робіт та наданих послуг внаслідок виконання програмних заходів (показників продукту);
- визначення ступеня досягнення параметрів якості виробленої продукції або виконаних робіт та наданих послуг (показників якості);
- оцінки ефективності затрат ресурсів, які використані для виконання програмних завдань (показників ефективності);
- оцінки рівня залучення коштів із бюджетних і позабюджетних джерел та їх співвідношення (індикаторів співфінансування).

Для визначення ефективності заходів з нового будівництва, реконструкції та ремонтів автомобільних доріг (далі — інвестицій в ремонтно-будівельні роботи) необхідно використовувати вихідні дані, що характеризують технічні та транспортно-експлуатаційні показники дороги та дають змогу оцінити її споживчі якості.

Для розрахунку економічної ефективності інвестицій у ремонтно-будівельні роботи використовують методичний підхід до визначення коефіцієнта соціально-економічної

ефективності. Зазначений коефіцієнт враховує такі ефекти:

- ефект від зменшення кількості рухомого складу та економії капіталовкладень в автомобільний транспорт;
- ефект від зменшення витрат на перевезення вантажів і пасажирів;
- ефект від зниження втрат від ДТП;
- ефект від зменшення негативного впливу на навколишнє середовище;
- ефект від створених робочих місць для покращення транспортно-експлуатаційного стану (ТЕС) дороги;
- ефект від повернення коштів, вкладених на покращення ТЕС дороги через податки.

Порядок розрахунків цих показників наведено в Методиці оцінки ефективності реалізації державних цільових програм розвитку автомобільних доріг загального користування (1), яка ґрунтується на основі Методичних рекомендацій щодо проведення оцінки економічної і соціальної ефективності виконання державних цільових програм [10].

Враховуючи зазначене, система показників для оцінки ефективності та результативності виконання ДЦПР містить такі критерії і показники (індикатори):

- інтегрований показник фінансування програмних заходів;
- індикатор (показник) співфінансування.

Якщо застосувати наведені підходи до показників Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2013–2017 роки отримаємо такі результати (рис. 1).

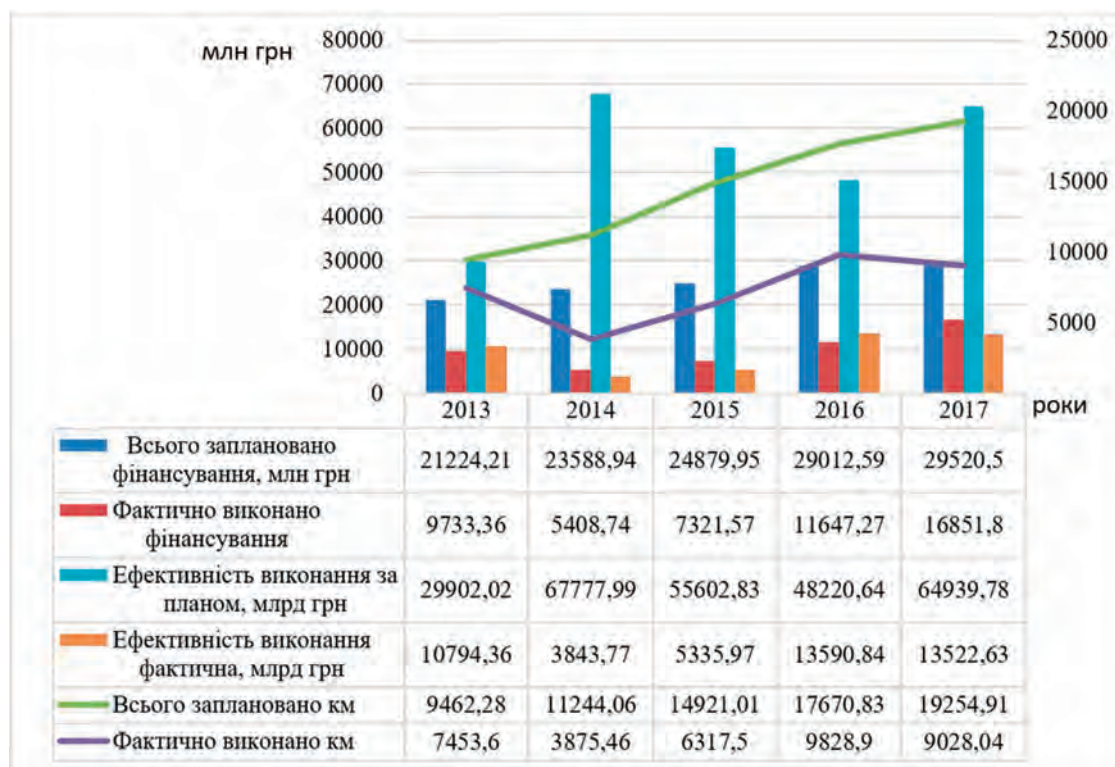


Рисунок 1 — Основні фінансові показники Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2013–2017 роки

Згідно з розрахованими проміжними значеннями визначимо загальну ефективність ДЦПР за формулою (1):

$$\bar{R}^l = \frac{\bar{K}^l}{l} (Z^{2013-2017} \cdot E^{2013-2017} \cdot Q^{2013-2017}) = 0,62, \quad (1)$$

де \bar{K}^l — інтегрований показник фінансування заходів ДЦПР;
 l — кількість років фінансування ДЦПР (за даними 5 років);
 $Z^{2013-2017}$ — показник, який характеризує відношення фактичних і планових обсягів виконаних робіт відповідно до заходів ДЦПР за 2013–2017 роки;
 $E^{2013-2017}$ — показник, який характеризує відношення фактичної і планової економічної ефективності заходів ДЦПР;
 $Q^{2013-2017}$ — показник, який характеризує відношення фактичних і планових кількісних параметрів якості виконаних заходів ДЦПР.

Відповідно, ефективність цієї Державної цільової економічної програми становить 0,62, тобто з 1 грн профінансованої програмою ефект становить 62 копійки.

Аналіз показників Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018–2022 роки дещо інші. У цій програмі ми можемо проаналізувати лише період 2018–2019 років (рис. 2).

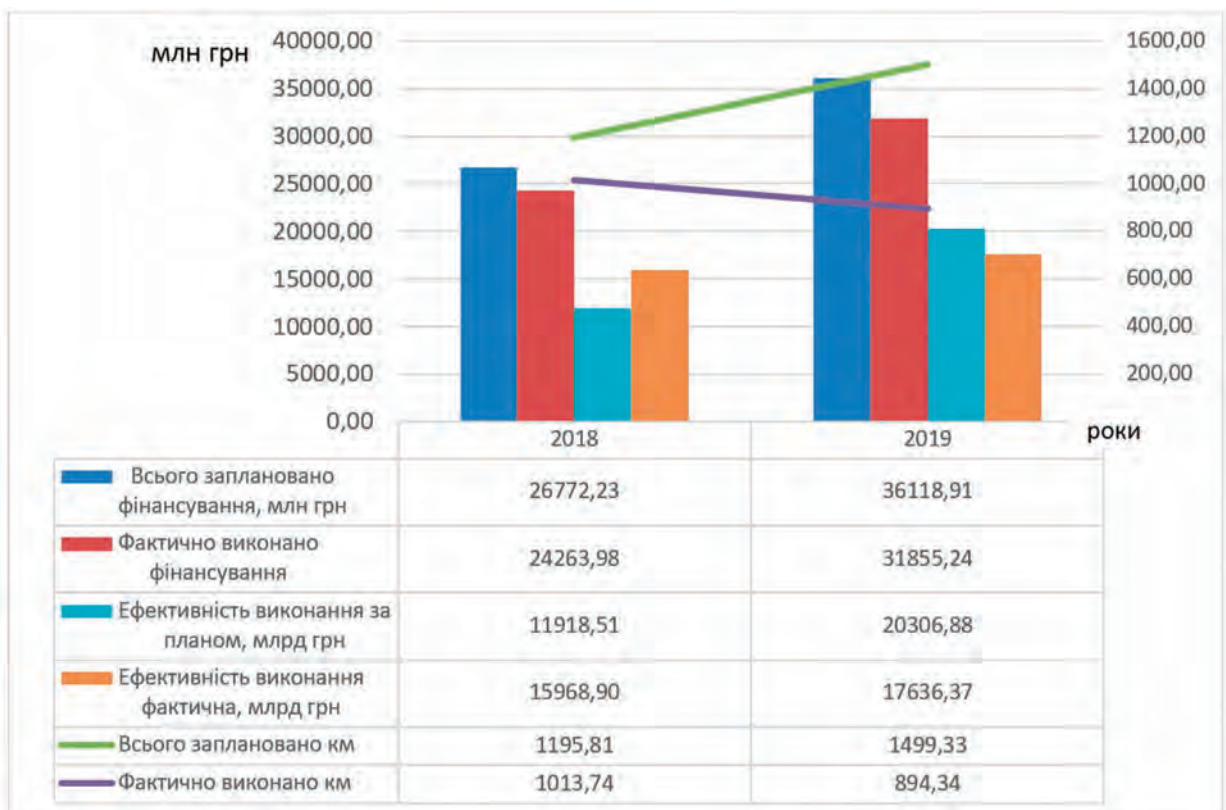


Рисунок 2 — Основні фінансові показники Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018–2019 роки

Загальну ефективність Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018–2019 роки становить 1,31, тобто із 1 грн профінансованої програмою, ефект становить 1 грн 31 коп.

Висновки

Результати оцінки ефективності бюджетних програм є підставою для прийняття управлінських рішень, зокрема:

- внесення в установленому порядку змін до бюджетних призначень поточного бюджетного періоду;
 - внесення відповідних пропозицій до проєкту бюджету на плановий бюджетний період і до прогнозу бюджету на наступні за плановим два бюджетні періоди;
 - внесення пропозицій, включаючи зупинення реалізації відповідних бюджетних програм, у випадку невикористання коштів або неефективного використання коштів.
- Отже, при використанні програмно-цільового методу можна отримати:
- планування бюджетів на середньострокову перспективу;
 - оптимальне використання бюджетних коштів, досягнення значного економічного і соціального ефекту;
 - гнучкість у прийнятті управлінських рішень;
 - посилення відповідальності розпорядників бюджетних коштів за досягнення кінцевого результату;
 - підвищення обізнаності громадськості щодо ефективності витрачання коштів бюджету територіальної громади та рівня задоволення споживачів суспільних і гарантованих соціальних послуг.

Список літератури

1. Концепція Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 11.01.2018 N 34-р // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/34-2018-%D1%80> (дата звернення: 20.04.2020).
2. Крупка М. Програмно-цільовий метод бюджетування в Україні. *Вісник Львівського університету. Серія: Економічна*. Львів, 2009. N 41. С. 16-34.
3. Бугай Т. В., Галюта А. А. Програмно-цільовий метод у бюджетному процесі: зарубіжний досвід і можливості його використання в Україні. *Вісник ЖДТУ*. Житомир, 2011. №3 (57). С. 206-210.
4. Ливдар М. В. Програмно-цільовий метод складання бюджету. *Галицький економічний вісник*. Тернопіль, 2009. № 2. С. 109-114.
5. Дишловий І. М. Програмно-цільовий метод як інструмент управління розвитком рекреаційного-туристичних регіонів. *Економічні інновації*, 2010. Випуск 41. С. 77-88
6. Кириченко О. С. Програмно-цільовий підхід до реалізації державної політики інвестиційно-інноваційного забезпечення модернізації промисловості України в умовах переходу до технологій четвертої промислової революції та індустрії 4.0. *Проблеми системного підходу в економіці*. Київ, 2019. N 4 (1). С. 56-60.
7. Костьов'ят Г. Державна політика стимулювання соціально-економічного розвитку в умовах євроінтеграції : дис. ... канд. екон. наук. Ужгород, 2019. 214 с.
8. Про результативні показники бюджетної програми : Наказ Міністерства фінансів

України від 10.12.2010 N 1536 // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1353-10> (дата звернення: 20.04.2020).

9. М 42.1 -37641918-769:2018 Методика оцінки ефективності реалізації державних цільових програм розвитку автомобільних доріг загального користування. Київ, 2018. 39 с. (Інформація та документація).

10. Про затвердження Методичних рекомендацій щодо проведення оцінки економічної і соціальної ефективності виконання державних цільових програм : Наказ Міністерства економіки України від 24.06.2010 № 742 // База даних Законодавство України / Ліга Закон. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/ME100608> (дата звернення: 20.04.2020).

References

1. Kontsepsiya Derzhavnoyi tsilovoyie konomicheynoyi prohramy rozvytku avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannya derzhavnoho znachennya 2018-2022 roky : Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 11.01.2018 N 34-p Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/34-2018-%D1%80> (Last accessed: 20.04.2020).

2. Krupka M. Prohramno-tsilovyy metod byudzhetyvannya v Ukrayini (Program-target method of budgeting in Ukraine). *Vіsnyk L'viv's'kogo ordena Lenina derzhavnogo unіversitetu im. Iv. Franka. Seriâ ekonomichna*. Lviv, 2009. N 41. P. 16-34. [in Ukrainian].

3. Buhai T. V., Haliuta A. A. Prohramno-tsil'ovyy metod u byudzhetnomu protsesi: zarubizhnyy dosvid i mozhlyvosti yoho vykorystannya v Ukrayini (The Program-Targeting Method in the Budget Process: Foreign Experience and Possibilities of its Use in Ukraine). *Vіsnyk Žitomir's'kogo derzhavnogo tehnologichnogo unіversitetu. Seriâ: ekonomika, upravlinnâ ta administruvannâ*. Zhytomyr, 2011. N 3 (57). P. 206–210. [In Ukrainian].

4. Livdar M.V. Prohramno-tsil'ovyy metod skladannya byudzhetu (Program-target method of budgeting). *Galic'kij ekonomichnij vіsnyk*. Ternopil', 2009. № 2. P. 109–144. [In Ukrainian].

5. Dyshlovyi I. M. Prohramno-tsilovyy metod yak instrument upravlinnya rozvytkom rekreatsiynoho-turystychnykh rehioniv (Program-target method as a tool for managing the development of recreational and tourist regions). *Ekonomichni innovacii*. 2010. N 41. P. 77-88 [In Ukrainian].

6. Kyrychenko O. S. Prohramno-tsilovyy pidkhyd do realizatsiy iderzhavnoyi polityky investytsiyno-innovatsiynoho zabezpechenny amodernizatsiyi promyslovosti Ukrayiny v umovakh pere khodudotekhnolohiychetvertoyipromyslovoyirevolutsiyitaindustriyi 4.0 (Program-target approach to the implementation of state policy of investment and innovation support for modernization of Ukrainian industry in conditions of transition to the technologies of the fourth industrial revolution and industry 4.0). *Problemi sistemnogo pidhodu v ekonomici*. Kyiv, 2019. N 4 (1). P. 56-60 [In Ukrainian].

7. Kostoviat G. Derzhavna polityka stymulyvannya sotsialno-ekonomichnoho rozvytku v umovakh yevrointehratsiyi (State policy of stimulating the socio-economic development in terms of European integration). Ph.D. Uzhhorod, 2019. 214 p. [In Ukrainian].

8. Pro rezultatyvni pokaznyky byudzhetnoyi prohramy : Order of the Ministry of Finance of Ukraine of 10.12.2010 N 1536 // Database Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1353-10> (Last accessed: 20.04.2020).

9. Metodyka (M 42.1 -37641918-769:2018) Metodyka otsinky efektyvnosti realizatsiyi derzhavnykh tsil'ovykh prohram rozvytku avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannya (Methodology for evaluating the effectiveness of the implementation of state target programs for the development of public roads. Kyiv, 2018. 39 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

10. Pro zatverdjenya metodychnikh rekomendatsiyi shchodo provedennya otsinky

ekonomichnoyi i sotsialnoyi efektyvnosti vykonannya derzhavnykh htsilovykh program : Order of the Ministry of Economy of Ukraine of 24.06.2010 N 742// Data base of Legislation of Ukraine / Liga Zakon URL: <https://ips.ligazakon.net/document/ME100608> (Last accessed: 20.04.2020).

Taras Pechonchyk, <https://orcid.org/0000-0003-4014-0780>

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

PROGRAM-TARGET METHOD FOR WORKS PLANNING IN THE ROAD ECONOMY

Abstract

Introduction. Application of the program-targeted method of work planning is one of the most effective methods in budgeting the European countries. Ukraine has come to its application relatively recently, but the use of the software-based target method of work planning in road maintenance should become key.

Problem Statement. Unsatisfactory condition of public roads and insufficient funding for the construction, reconstruction and repair of road facilities that improve the level of traffic safety, speed, comfort and efficiency of road transportation of passengers and cargo on public roads, there is a need for effective cost planning, is being implemented.

Purpose. The purpose of the article is to evaluate the effectiveness of the program-targeted method of work planning, which is used in the State targeted economic programs in the road economy. The objectives are to uncover the main indicators that characterize the effectiveness of the program-targeted method of planning works in the road industry.

Materials and Methods. At a writing of article dialectical methods of knowledge as induction and synthesis concerning disclosing of the basic components of a program-target method of planning and performance of the basic tasks of the program of development of roads, and also the analysis, for characteristic of indicators of efficiency of a program-target method of planning of works in a road economy have been used.

Results. The analysis of the efficiency of budget programmes is the basis for making managerial decisions, in particular:

- introduction of changes in the budget appointments of the current budget period in accordance with the established procedure;
- introduction of relevant proposals to the draft budget for the planned budget period and to the budget forecast for the next two budget periods;
- making proposals, including stoppages in the implementation of relevant budget programmes, in the event of non-use of funds or inefficient use of funds.

Conclusion. Thus, the use of the program-target method provides:

- planning of budgets for the medium term;
- optimal use of budget funds, achieving a significant economic and social effect;
- flexibility in making managerial decisions;
- strengthening the responsibility of managers of budgetary funds for achieving the final result;
- raising public awareness about the efficiency of spending budget funds of the territorial community and the level of satisfaction of consumers of public and guaranteed social services.

Key words: analysis, budget, road sector, programme, program-targeting method.

УДК 656.078

Шемаєв В. В., д-р екон. наук, проф., <http://orcid.org/0000-0001-5599-3941>*Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна*

ІНВЕСТИЦІЙНА ПОЛІТИКА СУБ'ЄКТІВ ПРИРОДНОЇ МОНОПОЛІЇ ТРАНСПОРТНО-ІНФРАСТРУКТУРНОГО СЕКТОРУ

Анотація

Вступ. У процесі поетапного застосування в Україні принципів корпоративного управління ОЕСР та в умовах обмеженості фінансових ресурсів постає необхідність розроблення інвестиційної політики суб'єктів господарювання державної форми власності — суб'єктів природних монополій.

Проблематика. Інвестиційна політика суб'єктів природної монополії інфраструктурного сектору має свої особливості тому, класична максимізація прибутку без її урахування може призвести до викривлення ринку, дискримінації окремих користувачів послуг інфраструктури. Це обумовлює необхідність вирішення проблеми адаптації інвестиційної діяльності до специфіки діяльності таких суб'єктів.

Мета. Обґрунтування теоретико-методичних засад формування інвестиційної політики суб'єктів природних монополій транспортно-інфраструктурного сектору та науково-практичних рекомендації щодо її реалізації на прикладі провадження інвестиційної діяльності державного підприємства, сформованим за холдинговим (мережевим) принципом.

Матеріали та методи. Теоретико-методологічну основу роботи складає сукупність методів і прийомів наукового дослідження: *логічне узагальнення* — при визначенні змісту інвестиційної діяльності суб'єктів природної монополії у сфері транспортної інфраструктури; *аналіз і синтез* — для дослідження особливостей діяльності зазначених підприємств, виявлення тенденцій їх розвитку в контексті впливу на інвестиційну політику; *системний підхід* — при визначенні елементів системи формування інвестиційної політики та процесу інвестиційного управління; *експертні методи* (анкетування, PEST- та SWOT-аналіз, метод вилучення знань експертів) — при здійсненні оцінки ефективності інвестиційних проєктів; *статистичні методи* — для аналізу фінансово-економічного стану суб'єктів господарювання; *метод зваженої згортки* — при визначенні пріоритетності інвестиційних проєктів у складі інвестиційного портфелю підприємств.

Результати. У дослідженні запропоновано теоретико-методичні засади формування інвестиційної політики суб'єктів природних монополій транспортно-інфраструктурного сектору України, що включають обґрунтування мети, принципів і видів інвестиційної діяльності; визначення етапів процесу інвестиційного управління, а також формування інвестиційного портфелю проєктів та його структури.

Висновки. Запропоновані основні підходи до формування інвестиційної політики підприємства та інструментів її реалізації можуть бути застосовані на державних підприємствах транспортно-інфраструктурного сектору з холдинговою (мережевою, філіальною) структурою або у підприємствах приватної форми власності, що мають ознаки природної монополії.

Ключові слова: інвестиційна політика, монополія, суб'єкт, транспортна інфраструктура, транспортно-інфраструктурний сектор.

Вступ

У процесі поетапного застосування в Україні принципів корпоративного управління ОЕСР та в умовах обмеженості фінансових ресурсів постає необхідність розроблення інвестиційної політики суб'єктів господарювання державної форми власності, у т.ч. суб'єктів природних монополій.

Інвестиційна політика суб'єктів природної монополії інфраструктурного сектору має особливості порівняно з іншими суб'єктами господарювання. Якщо ключовою метою інвестиційної діяльності приватних або державних суб'єктів господарювання, у більшості випадків, є максимізація прибутку акціонера, то для суб'єктів природних монополій можуть існувати певні обмеження та зобов'язання. Наприклад, для залізничного оператора ПАТ «Укрзалізниця», на сьогодні, існують соціальні зобов'язання щодо дотування вартості пасажирських і приміських перевезень або перевезень пільгових категорій громадян; для портової адміністрації існує вимога забезпечувати капітальні вкладення з урахуванням дотримання рівних умов господарювання для портових операторів; для підприємств авіаційної галузі — вимоги щодо забезпечення безпечного аеронавігаційного обслуговування або доступу до інфраструктури аеропорту.

Отже, максимізація прибутку суб'єктами природної монополії без урахування вище вказаних обмежень може призвести до викривлення ринку, дискримінації окремих користувачів послуг через тарифи чи доступ до об'єктів інфраструктури. Крім того, особливістю діяльності суб'єктів природних монополій на транспортному ринку є те, що послуги, які виробляються, не можуть бути замінені у споживанні іншими послугами, у зв'язку з чим попит на ринку менше залежить від коливання цін і тарифів на ці послуги, ніж попит на інші послуги.

Зазначені особливості діяльності суб'єктів природних монополій транспортно-інфраструктурного сектору мають бути враховані при формуванні їх інвестиційної політики, що обумовлює необхідність вирішення проблеми адаптації існуючих підходів у сфері інвестиційної діяльності до специфіки їх діяльності.

Огляд останніх досліджень і публікацій

У роботі А. А. Пересади [1] систематизовано складові інвестиційного процесу та розроблено систему заходів щодо підвищення ефективності інвестування. Т. В. Майорова [2] дослідила проблеми реалізації капітальних інвестицій в кризових умовах. П. Л. Гринько [3] присвятив низку праць дослідженню інвестиційної політики підприємств як важливого фактору їх стратегічного розвитку. О. Я. Базилінська [4] аналізувала інвестиційну політику підприємств регіонального транспорту. І. В. Токмакова, О. О. Дараган [5] здійснили огляд підходів до формування інвестиційної стратегії на підприємствах залізничного транспорту. У роботі Т. Є. Чебанової [6] розглядають роль інвестиційної стратегії у розвитку підприємств морського транспорту. У роботі Т. А. Акімової [7] запропоновано схему забезпечення розподілу інвестицій у розвиток аеропорту.

Водночас питання формування та реалізації інвестиційної політики суб'єктів природних монополій сектору транспортної інфраструктури відповідно до їх специфіки, в умовах зміни стратегій діяльності під впливом зовнішніх і внутрішніх чинників, залишаються недостатньо розглянутими.

Завдання дослідження

Мета статті полягає в обґрунтуванні теоретико-методичних засад формування інвестиційної політики суб'єктів природних монополій транспортно-інфраструктурного сектору та науково-практичних рекомендацій щодо її реалізації на прикладі провадження інвестиційної діяльності державного підприємства, сформованим за холдинговим (мережевим) принципом.

Основна частина

За даними Антимонопольного комітету України [8] у зведеному переліку суб'єктів природних монополій України¹ перебувають 30 підприємств та установ сектору транспортної інфраструктури, у т.ч. ПАТ «Укрзалізниця», ДП «Міжнародний аеропорт Бориспіль», ДП організації повітряного руху «Украерорух», ДП «Адміністрація морських портів України» тощо. Розглянемо особливості діяльності зазначених підприємств, що мають бути відображені у підходах до формування та реалізації їх інвестиційної політики.

Приклади місій діяльності суб'єктів природних монополій транспортно-інфраструктурного сектору України та нормативно-правові акти, що визначають особливості їх господарювання, зокрема, тарифного регулювання наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Приклади місій та нормативно-правова база діяльності суб'єктів природних монополій транспортно-інфраструктурного сектору України

Суб'єкт	Місія	Спеціалізовані нормативно-правові акти
ПАТ «Укрзалізниця»	Будівництво стабільного та процвітаючого бізнесу, який працює для підтримки та розвитку економіки й забезпечення благополуччя України та наших співробітників шляхом надання найкращих якісних, безпечних, надійних, ефективних, конкурентних та орієнтованих на клієнта послуг залізничних перевезень.	Закон України «Про залізничний транспорт»; Закон України «Про особливості утворення акціонерного товариства залізничного транспорту загального користування».
ДП ОПР «Украерорух»	Забезпечення якісного та безпечного аеронавігаційного обслуговування у повітряному просторі України та у повітряному просторі над відкритим морем, де відповідальність за обслуговування повітряного руху міжнародними договорами покладена на Україну, з урахуванням наявних та очікуваних потреб користувачів повітряного простору та умов діяльності на ринку послуг авіаційного транспорту в Україні та в Європі.	Чиказька Конвенція про міжнародну цивільну авіацію Керівництво ІКАО щодо економічних аспектів а е р о н а в і г а ц і й н о г о обслуговування Повітряний кодекс України
ДП «Адміністрація морських портів України»	Сприяння розвитку морської транспортної інфраструктури України та підвищенні конкурентоспроможності морських портів України в Чорноморсько-Азовському басейні шляхом забезпечення створення належних умов для здійснення господарської діяльності морських терміналів, а також підприємств, основні продукція та/або сировина яких є об'єктами експортно-імпортних операцій і обслуговуються як вантажі у порту.	Закон України «Про морські порти України»

¹ станом на березень 2020 року

Кінець таблиці 1

Суб'єкт	Місія	Спеціалізовані нормативно-правові акти
ДП «Міжнародний аеропорт «Бориспіль»	Своєчасне забезпечення попиту економіки та суспільних потреб в наданні першочергових послуг для здійснення авіаційних перевезень пасажирів та вантажу	Повітряний кодекс України Рішення РНБОУ «Про заходи щодо захисту національних інтересів України в галузі авіації»

Аналіз фінансово-економічного стану зазначених підприємств у 2017–2018 роках (табл. 2) дозволяє зробити висновок про незначне погіршення показника рентабельності EBITDA² за цей період, але при цьому залишаються достатньо високими обсяги капітальних інвестицій і відрахувань частини чистого прибутку до державного бюджету.

Таблиця 2

Аналіз окремих показників фінансово-економічного стану суб'єктів природних монополій транспортно-інфраструктурного сектору України

Суб'єкт / показник	Рентабельність EBITDA, %		Капітальні інвестиції, млн грн.		Дивіденди з чистого прибутку, млн грн.	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
ДП ОПР «Украерорух»	26,8	14,4	237,4	228,3	0	0
ПАТ «Укрзалізниця»	27,1	19,2	10 904,1	16 912,8	-6,5	-153,4
ДП «АМПУ»	61,5	56,5	1 608,2	1 415,8	-2 704,2	-1 377,5
ДП «МА «Бориспіль»	69,9	66,5	358,8	714,6	-1 298,6	-850,2

Станом на початок 2020 року норматив відрахувань чистого прибутку до державного бюджету для цієї групи підприємств становить 90 % від їх прибутку (окрім ДП ОПР «Украерорух», яке законодавчо звільнено від перерахування дивідендів). Це фактично означає, що лише десята частина прибутку цих підприємств залишається на потреби їх розвитку, а решту потреб потрібно фінансувати за рахунок зовнішніх запозичень чи бюджетних програм. У 2020 році Кабінет Міністрів України планує знизити цей норматив для окремих державних акціонерних товариств до 30–50 %.

Оскільки в сучасних умовах залучення зовнішнього фінансування вимагає ретельного фінансово-економічного аналізу інвестиційних проєктів із використанням уніфікованого процесу інвестиційного управління на підприємстві, серед підприємств державної форми власності лише ПАТ «НАК «Нафтогаз України» має затверджену інвестиційну політику [9].

Отже, далі зосередимося на підходах до формування інвестиційної політики державних підприємств — суб'єктів природних монополій транспортно-інфраструктурного сектору (далі — підприємство), переважна більшість яких сформовано за холдинговим (мережовим) принципом. При цьому суб'єкт господарювання управляє дочірніми підприємствами з окремими балансами або має мережу філій у вигляді відокремлених підрозділів у різних географічних місцевостях (далі — бізнес-одиниці), з єдиним корпоративним центром.

² EBITDA — аналітичний показник, що дорівнює обсягу прибутку до вирахування витрат за відсотками, сплати податків та амортизаційних відрахувань

Традиційно інвестиційна політика підприємства має визначати засади провадження його інвестиційної діяльності (у тому числі, на рівні бізнес-одиниць) з метою прийняття обґрунтованих рішень з питань інвестиційного управління задля досягнення середньострокових і довгострокових цілей підприємства.

Порядок формування інвестиційної політики зазначених підприємств поряд із традиційними етапами (визначення *видів* їх інвестиційної діяльності, запровадження єдиного *процесу інвестиційного управління* для всіх типів капітальних інвестицій та визначення *процесу формування інвестиційного портфелю* проєктів тощо), включає й *основні засади взаємодії між бізнес-одиницями і корпоративним центром*, колегіальними органами, керівництвом та органом управління підприємства під час прийняття рішення щодо реалізації інвестиційних проєктів.

Крім того, для забезпечення єдності процесу інвестиційного управління інвестиційна політика підприємства має супроводжуватися розробленням низки допоміжних документів: *по-перше*, регламенту реалізації інвестиційного управління (має забезпечувати координованість дій та заходів підрозділів під час формування та прийняття рішення реалізації інвестиційної політики на підприємстві); *по-друге*, методичних рекомендацій щодо оцінки економічної ефективності проєктів (мають визначати принципи оцінки економічної ефективності проєктів і критерії фінансово-економічної ефективності проєктів, а також порядок їх розрахунків).

Окремо слід сформувати порядок складання та контролю виконання інвестиційного плану на середньострокову перспективу з урахуванням специфіки підприємства (на виконання вимог Закону України «Про управління об'єктами державної власності»). Крім того, Асоціація PRI (Принципи відповідального інвестування) також наголошує на важливості формування інвестиційної стратегії підприємства та рекомендує акціонерам формалізувати інвестиційний процес у політиці з метою прийняття інвестиційних рішень, що базуються на фактах та доказовій базі та відповідно до інвестиційної стратегії, зменшуючи при цьому «емоційний» чинник [10, 11].

З урахуванням чинної нормативно-правової бази України основною метою інвестиційної діяльності державних підприємств — суб'єктів природних монополій транспортно-інфраструктурного сектору має бути забезпечення конкурентоздатності об'єктів інфраструктури (портів, аеропортів, станцій тощо) та досягнення результатів галузевої стратегії розвитку за умов забезпечення фінансової стійкості підприємств.

В основу формування та реалізації інвестиційної політики державних підприємств — суб'єктів природних монополій транспортно-інфраструктурного сектору мають бути покладено наступні *принципи*:

- 1) забезпечення конкуренції та рівності прав усіх суб'єктів господарювання, що провадять діяльність на інфраструктурних об'єктах підприємства;
- 2) цільового використання тарифів і зборів за використання інфраструктури;
- 3) недопущення дискримінації в доступі до об'єктів інфраструктури загального користування;
- 4) досягнення стратегічних та операційних цілей підприємства, що визначені плановими документами;
- 5) застосування єдиного підходу до процесу інвестиційного управління під час відбирання, оцінювання та фінансування проєктів капітальних інвестицій;
- 6) максимізації ефективності інвестицій, що передбачає вибір найбільш економічно обґрунтованих проєктів;
- 7) пріоритетності фінансового забезпечення розпочатих проєктів при прийнятті рішення щодо започаткування нових проєктів;

8) застосування державно-приватного партнерства з метою перенесення частини видатків на фактичних користувачів об'єктів інфраструктури (де це буде доречно) на умовах, визначених законодавством;

9) проведення комплексної оцінки ефективності проекту з урахуванням наявності достатнього рівня пропускної здатності магістральних транспортних сполучень та стратегічних об'єктів інфраструктури підприємства;

10) відповідності капітальних інвестицій вимогам законодавства про національну безпеку й оборону (у тому числі, у сферах боротьби з тероризмом та санкцій);

11) забезпечення необхідного рівня прозорості та публічності інвестиційної діяльності.

Аналіз досвіду господарської діяльності національних суб'єктів господарювання транспортно-інфраструктурного сектору свідчить, що основними *видами інвестиційної діяльності* підприємства можуть бути:

- здійснення капітальних інвестицій у формі проєктів;
- передача в оренду або концесію активів з метою підвищення ефективності їх використання та/або покращення їх технічно-експлуатаційного стану;
- укладання договорів спільної діяльності;
- портфельне інвестування в облігації та інші фінансові інструменти;
- реалізація інвестиційних зобов'язань за інвестиційними та іншими видами договорів;
- реалізація проєктів інвестування в стратегічні об'єкти інфраструктури користувачами — приватними суб'єктами на компенсаційній основі.

Процес інвестиційного управління на підприємствах передбачає розроблення та супровід всіх проєктів, починаючи від етапу формування ідеї (етап оцінки) — до моменту їх реалізації (етап реалізації). Далі розглянемо за якими етапами пропонується здійснювати процес інвестиційного управління на державних підприємствах — суб'єктах природних монополій транспортно-інфраструктурного сектору (рис. 1).

Важливим аспектом інвестиційної політики державних підприємств — суб'єктів природних монополій транспортно-інфраструктурного сектору є структура інвестиційного портфелю проєктів. За критерієм можливості визначення окупності капітальних інвестицій, проєкти капітальних інвестицій реалізуються за такими категоріями:

- інвестиційні проєкти з наявним позитивним показником чистої приведеної вартості ($NPV > 0$) — будівництво та розвиток об'єктів транспортної інфраструктури, реалізація суміжних (починаючи зі стадії проєктування «Проєкт»), а також придбання основних засобів (устаткування);
- проєкти з неявним показником фінансово-економічної ефективності — інформаційні системи, соціальні проєкти, забезпечення функціонування непрофільних активів тощо;
- проєкти відповідності та підтримки — проєкти, що реалізують відповідно до вимог чинного законодавства, приписів та рекомендацій щодо забезпечення безпеки судноплавства, охорони навколишнього середовища та гігієни праці, пожежного та санітарного облаштування, а також проєкти поточних ремонтів, відновлення проєктних характеристик об'єктів портової інфраструктури;
- капітальний ремонт основних засобів.

Залежно від вартості капітальних інвестицій на державних підприємствах — суб'єктах природних монополій транспортно-інфраструктурного сектору реалізуються наступні категорії проєктів:

- вартістю від 120 млн грн — «стратегічні» проєкти.
- вартістю від 10 до 120 млн грн — «великі» проєкти.
- вартістю до 10 млн грн — «малі» проєкти.



Цілі:

<ul style="list-style-type: none"> Визначення опції для інвестицій Перевіряння відповідності стратегії Екологічне оцінювання 	<ul style="list-style-type: none"> Оцінювання та вибір найкращого варіанту та оптимального технологічного рішення Визначення операційних вимог Вибір місця розташування об'єкта 	<ul style="list-style-type: none"> Визначені обсяг робіт та технічні вимоги Розроблений детальний план реалізації Оцінювання з охорони довкілля, праці та промислової безпеки Оцінювання ризиків Економічна оцінювання Допустима точність розрахунків +/-10 % 	<ul style="list-style-type: none"> Ініціювання та проведення закупівель Створення (будівництво) об'єкта Моніторинг виконання 	<ul style="list-style-type: none"> Своєчасне та безперебійне введення в експлуатацію Безперебійна експлуатація Досягнення ключових операційних показників проєкту
---	--	---	---	--

Результати:

<ul style="list-style-type: none"> Концепція проєкту Анкета проєкту з обґрунтуванням його необхідності Попередня оцінка ресурсів 	<ul style="list-style-type: none"> Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) План проєкту Оцінка витрат та порівняльний аналіз Бізнес-кейс 	<ul style="list-style-type: none"> ТЕО/ Детальний інженерний проєкт/Робоча документація Оновлений бізнес-кейс Детальний план закупівель та план реалізації 	<ul style="list-style-type: none"> Основний засіб готовий до експлуатації Завершення робіт Акт виконаних робіт 	<ul style="list-style-type: none"> Оптимізація виробництва Оцінка результатів проєкту
---	---	---	---	---

Рисунок 1 — Процес інвестиційного управління державних підприємств — суб'єктів природних монополій транспортно-інфраструктурного сектору

При цьому, інвестиційний портфель проєктів на середньострокову перспективу формується зі «стратегічних» та «великих»³ проєктів (окрім проєктів відповідності та підтримки, капітального ремонту основних засобів), щодо яких було прийнято відповідне рішення про підготовку та реалізацію. Інвестиційний портфель проєктів за необхідністю переглядається та оновлюється за погодженням з органом управління підприємства.

³ строком реалізації більше 1 року

Учасниками процесу прийняття рішень щодо підготовки та реалізації проєктів на підприємстві, можуть бути: бізнес-одиниці та їх колегіальні органи; дорадчі та колегіальні органи підприємства, Інвестиційний комітет корпоративного центру, Інвестиційно-технічна рада тощо; менеджмент та орган управління підприємством. Їх функції визначаються Регламентом реалізації інвестиційного управління на підприємстві.

Первісною ланкою ініціювання проєкту, залежно від його класифікації, як правило, є бізнес-одиниця. Підставою для ініціювання реалізації «стратегічних» та «великих» проєктів є наявність відповідних заходів у документах стратегічного планування — галузевих планах розвитку, стратегічному плані розвитку підприємства, інших документах планування на коротко- та середньострокову перспективу. В окремих випадках ініціювання реалізації таких проєктів може здійснюватися на основі виробничої необхідності, рішення Уповноваженого органу управління або Кабінету Міністрів України, або якщо такі проєкти відносяться до категорії проєктів відповідності та підтримки.

Рівень прийняття рішень щодо інвестиційного проєкту залежить від його загального бюджету (табл. 3):

Таблиця 3

Рівень прийняття рішень в інвестиційному управлінні на державних підприємствах — суб'єктах природних монополій

Рівень прийняття рішень (уповноважений орган)	«Стратегічний» проєкт	«Великий» проєкт	«Малий» проєкт
	понад 120,0 млн грн	від 10,0 млн грн до 120,0 млн грн	до 10,0 млн грн
Наглядова рада	Погоджує інвестиційний портфель проєктів		
Директор (Правління)	Затверджує	Затверджує	Затверджує
Інвестиційний комітет	Схвалює	—	—
Інвестиційно-технічна рада		Схвалює	Схвалює
Відокремлений підрозділ	Розробляє	Розробляє	Розробляє пакет проєктів

Рішення щодо реалізації «стратегічного» проєкту та «великого» проєкту (окрім проєктів відповідності та підтримки, капітального ремонту основних засобів) очікуваним строком реалізації понад один календарний рік приймається керівником підприємства на основі рекомендацій наданих Інвестиційним комітетом підприємства або іншим колегіальним органом з відповідними повноваженнями.

Рішення щодо реалізації «великого» проєкту строком реалізації до одного року та пакету «малих» проєктів приймається головою — керівником підприємства на основі рекомендацій, наданих Інвестиційно-технічною радою підприємства або іншим колегіальним органом із відповідними повноваженнями.

Річне фінансове забезпечення проєкту реалізують включенням капітальних інвестицій до проєкту фінансового плану підприємства на відповідний календарний період, сформованих на основі рішень Інвестиційно-технічної ради підприємства (або іншого колегіального органу з відповідними повноваженнями) щодо пооб'єктного розгляду та планування відповідних видатків.

Аналіз ефективності інвестиційних проєктів має здійснюватися відповідно до критеріїв, визначених Методикою оцінки економічної ефективності проєктів, що містить: загальні принципи оцінки економічної ефективності проєкту; методи виділення економічних ефектів проєктів здійснення капітальних інвестицій; показники економічної ефективності (NPV, IRR, DPP, PI); вибір ключових параметрів проєкту; аналіз ризиків.

Для визначення пріоритетності інвестиційних проєктів доцільно використовувати метод зваженої згортки [12]. Підприємство визначає значення оцінки кожного критерію та відповідно до його ваги визначає сумарну рейтингову оцінку (W_{sum}), яку обчислюють таким чином:

$$W_{\text{sum}} = \sum_{i=1}^{10} \left(\frac{Ki \cdot Wi}{Ki_{\text{max}}} \right) \cdot \frac{K_{\text{обов}} \cdot 100}{W_{\text{max}}}, \quad (1)$$

де Ki — значення оцінки відповідного критерію;
 Ki_{max} — максимальна оцінка відповідного критерію;
 $K_{\text{обов}}$ — значення критерію обов'язкової умови;
 Wi — вага відповідного критерію;
 W_{max} — максимально можлива рейтингова оцінка.

На підставі порівняння сумарних рейтингових оцінок визначають пріоритетність інвестиційних проєктів для фінансування, складають та затверджують перелік інвестиційних проєктів у порядку пріоритетності їх розроблення (реалізації).

Моніторинг та оцінка інвестиційної діяльності підприємств мають бути спрямовані на аналіз досягнення фінансово-економічної ефективності проєктів за результатами їх реалізації та подальшої експлуатації створених/придбаних об'єктів протягом терміну їх експлуатації. При цьому, моніторинг та аналіз реалізованих «стратегічних» і «великих» проєктів здійснюється бізнес-одиницею — ініціатором у рамках діяльності відповідного колегіального органу та відповідного підрозділу підприємства.

Оцінювання ефективності реалізованих «стратегічних» і «великих» проєктів, рекомендовані до реалізації Інвестиційним комітетом підприємства, має здійснювати структурний підрозділ підприємства, що формує інвестиційну політику, та раз на рік подає узагальнений звіт на розгляд Комітету стратегічного розвитку підприємства з метою прийняття відповідних управлінських рішень.

Висновки

1. Інвестиційна політика державних підприємств-суб'єктів природної монополії інфраструктурного сектору має особливості порівняно з іншими суб'єктами господарювання внаслідок існування певних обмежень та зобов'язань. Переважна більшість державних підприємств — суб'єктів природних монополій транспортно-інфраструктурного сектору України сформовано за холдинговим (мережевим) принципом, коли суб'єкт господарювання управляє дочірніми підприємствами з окремими балансами або має мережу філій у вигляді відокремлених підрозділів у різних географічних місцевостях, з єдиним корпоративним центром.

2. Запропоновано теоретико-методичні засади формування інвестиційної політики суб'єктів природних монополій транспортно-інфраструктурного сектору України включають: обґрунтування мети, принципів і видів інвестиційної діяльності; визначено етапи процесу інвестиційного управління для всіх типів капітальних інвестицій, а також формування інвестиційного портфелю проєктів з урахуванням взаємодії між бізнес-одиницями та корпоративним центром, колегіальними органами, керівництвом та органом управління підприємства під час

прийняття рішення щодо реалізації інвестиційних проєктів. Запропоновано науково-практичні рекомендації щодо реалізації інвестиційної політики підприємства стосовно структури інвестиційного портфелю проєктів, розрахунку ефективності інвестиційних проєктів, а також здійсненню моніторингу та оцінювання інвестиційної діяльності підприємства.

3. Запропоновані основні підходи до формування інвестиційної політики підприємства та інструментів її реалізації може бути застосовано на державних підприємствах транспортно-інфраструктурного сектору з холдинговою (мережевою, філіальною) структурою або у підприємствах приватної форми власності, що мають ознаки природної монополії.

Список літератури

1. Пересада А. А. Інвестиційний процес в Україні: монографія Київ, 1998. 392 с.
2. Майорова Т.В. Капітальні інвестиції: сутність та проблеми реалізації в кризових умовах. *Інвестиції: практика та досвід*. Київ, 2015. N 21. С. 12-16.
3. Гринько П. Л. Дослідження формування інвестиційної політики підприємств як важливого фактору їх стратегічного розвитку / П. Л. Гринько // *Технологический аудит и резервы производства*. 2016. - № 1(3). - С. 63-68. - URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2016_1\(3\)_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2016_1(3)_14) (дата звернення: 20.04.2020).
4. Базилінська О.Я. Івестиційна політика в галузі регіонального транспорту / О.Я. Базилінська // *Наукові записки наУКМА. Економічні науки*. Київ, 2005. 44. С. 80-84.
5. Токмакова І. В. Сутність та підходи до формування інвестиційної стратегії на підприємствах залізничного транспорту. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. Харків, 2013. N 43. С. 189-193. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vetp_2013_43_40 (дата звернення: 20.04.2020).
6. Чебанова Т. Е. Инвестиционная стратегия и ее роль в развитии морских портов. *Развиток методів управління та господарювання на транспорті*. N 10. Одеса, 2001. С. 102-113.
7. Акімова Т.А. Забезпечення розподілу інвестицій у розвиток аеропорту. *Проблеми підвищення ефективності інфраструктури*. Київ, 2010. N 25. URL: <http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/PPEI/article/view/438> (дата звернення: 20.04.2020).
8. Єдиний державний портал відкритих даних. URL: <https://data.gov.ua/dataset/b9b1752e-92fc-4277-8f0d-227c40da2eda/resource/d537f4c9-63ed-4c1f-8d5e-f915888082db> (дата звернення: 20.04.2020).
9. Рішення загальних зборів акціонерів УкрГазВидобування. URL: <http://ugv.com.ua/uploads/1551345167.pdf> (дата звернення: 20.04.2020).
10. Investment policy: process & practice a guide for asset owners, PRI. 2016. URL: <https://www.unpri.org/download?ac=1605> (дата звернення: 30.04.2020).
11. Asset owner strategy guide: how to craft an investment strategy. 2018. URL: <https://www.unpri.org/asset-owners/investment-strategy> (дата звернення: 30.04.2020).
12. Інструкція з оцінки та відбору інвестиційних проєктів (проектних пропозицій) у сферах транспорту, дорожнього господарства та надання послуг поштового зв'язку. Проєкт «Допомога органам влади України в удосконаленні менеджменту циклом інфраструктурного проєкту», 2020. URL: <https://mtu.gov.ua/files/INSTRUCTION%20of%20evaluation%20and%20selection.pdf> (дата звернення: 30.04.2020).

References

1. Peresada A. A. Investytsiynyy protses v Ukrayini (Investment process in Ukraine). Monograph. Kyiv, 1998. 392 p. [in Ukrainian].
2. Maiorova T. V. Kapitalni investytsiyi: sutnist ta problemy realizatsiyi v kryzovykh umovakh (Capital investments: essence and problems of realization in crisis conditions). *Investicij: praktika ta dosvid*. Kyiv, 2015. N 21. P. 12-16. [in Ukrainian].
3. Hrynko P. L. Doslidzhennya formuvannya investytsiynoyi polityky pidpryyemstv yak vazhlyvoho faktoru yikh stratehichnoho rozvytku (Research of formation of investment policy of enterprises as an important factor in their strategic development). *Technology audit and production reserves*. Kharkiv, 2016. N 1 (3). P. 63-68. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2016_1\(3\)_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2016_1(3)_14) (Last accessed: 20.04.2020) [in Ukrainian].
4. Bazilinska O.Ya. Investytsiyna polityka v haluzi rehionalnoho transportu (Investment policy in the field of regional transport). *Naukovì zapiski NaUKMA. Ekonomìčni nauki*. Kyiv, 2005. 44. P. 80-84. [in Ukrainian].
5. Tokmakova I. V. Sutnist ta pidkhody do formuvannya investytsiynoyi stratehiyi na pidpryyemstvakh zaliznychnoho transportu (The essence and approaches to the formation of investment strategy in the enterprises of railway transport). *Visnik ekonomiki transportu i promislivosti*. Kharkiv, 2013. N 43. P. 189-193. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vetp_2013_43_40 (Last accessed: 20.04.2020) [in Ukrainian].
6. Chebanova T. E. Ynvestytsyonnaya stratehiya y ee rol v razvytyi morskyykh portov (Investment strategy and its role in the development of seaports). *Rozvitok metodiv upravlinnâ ta gospodaruvannâ na transporti*. N 10. Odessa, 2001. P. 102-113. [in Ukrainian].
7. Akimova T. A. Zabezpechennya rozpodilu investytsiy u rozvytok aeroportu (Ensuring the distribution of investments in the development of the airport). *Problemi pidvišennâ effektivnosti infrastrukturi*. Kyiv, 2010. N 25. URL: <http://jrnل.nau.edu.ua/index.php/PPEI/article/view/438> (Last accessed: 20.04.2020) [in Ukrainian].
8. Yedynyy derzhavnyy portal vidkrytykh danykh (The single state portal of open data). URL: <https://data.gov.ua/dataset/b9b1752e-92fc-4277-8f0d-227c40da2eda/resource/d537f4c9-63ed-4c1f-8d5e-f915888082db> (Last accessed: 20.04.2020) [in Ukrainian].
9. Rishennya zahalnykh zboriv aktsioneriv UkrHazVydobuvannya (Decision of the General Meeting of Shareholders of UkrGazVydobuvannia). URL: <http://ugv.com.ua/uploads/1551345167.pdf> (Last accessed: 20.04.2020) [in Ukrainian].
10. Investment policy: process & practice a guide for asset owners. PRI. 2016. URL: <https://www.unpri.org/download?ac=1605> (Last accessed: 30.04.2020) [in Ukrainian].
11. Asset owner strategy guide: how to craft an investment strategy. 2018. URL: <https://www.unpri.org/asset-owners/investment-strategy> (Last accessed: 30.04.2020) [in English].
12. Instruktsiya z otsinky ta vidboru investytsiynykh proyektiv (proyektynykh propozytsiy) u sferakh transportu, dorozhnoho gospodarstva ta nadannya posluh poshtovoho zv'yazku (Instruction on evaluation and selection of investment projects (project proposals) in the fields of transport, road economy and provision of postal services. Project «Assistance to the authorities of Ukraine to improve the management by the infrastructure project cycle»). 2020. URL: <https://mtu.gov.ua/files/INSTRUCTION%20of%20evaluation%20and%20selection.pdf> (Last accessed: 30.04.2020) [in Ukrainian].

Volodymyr Shemayev, D.Sc., Prof., <http://orcid.org/0000-0001-5599-3941>

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

INVESTMENT POLICY OF NATURAL MONOPOLY COMPANIES IN TRANSPORT AND INFRASTRUCTURE SECTORS

Abstract

Introduction. In the process of gradual application of the OECD corporate governance principles in Ukraine and under conditions of scarce financial resources, it becomes necessary to develop investment policies for the state-owned enterprises with a natural monopoly.

Problem Statement. Investment policy of the companies with a natural monopoly in the infrastructure sector has certain distinctions, since classic goal of profit maximization, without the above features, may lead to market distortions and discrimination against individual consumers of infrastructure services. This makes it necessary to solve the problem of adaptation of their investment activity to the specific activity of such companies.

Purpose. of the article is two-fold. First is to substantiate the theoretical and methodological foundations for designing an investment policy for the companies with a natural monopoly in the transport and infrastructure sectors. Second is to provide scientific and practical recommendations for its implementation on the example of the investment activity at a state-owned company formed as a holding (network) company.

Materials and methods. The theoretical and methodological basis of the article comprised a set of methods and techniques. Logical generalization was used to determine the content of investment activities of natural monopoly entities in the field of transport infrastructure. Methods of analysis and synthesis were applied to study the peculiarities of the activities of these enterprises, identify trends in their development in the context of impact on investment policy. Systematic approach was utilized to determine the elements of the investment policy formation and investment management process. Expert methods, such as questioning, PEST- and SWOT-analysis, method of extraction of expert knowledge, were applied in the assessment of the effectiveness of investment projects. Analysis of financial and economic state of the studied companies was performed using statistical methods. Finally, the article uses the method of weighted convolution for portfolio prioritization of a company's investment projects.

Results. The study proposes theoretical and methodological bases of the investment policy formation for the companies with a natural monopoly in the transport and infrastructure sectors of Ukraine, including substantiation of the purpose, principles and types of investment activity; definition of the stages of the investment management process, as well as formation of investment projects portfolio and its structure.

Conclusions. The proposed essential approaches to design an investment policy of an enterprise and respective instruments of its implementation, outlined in the article, can be applied at both state-owned enterprises in the transport and infrastructure sectors formed as a holding (or using network or branch principle) company and private companies with a natural monopoly.

Key words: investment policy, monopoly, subject, transport infrastructure, transport and infrastructure sectors.

УДК 625.746.5

Гостєв Ю. Г., <https://orcid.org/0000-0002-0351-9591>

Кострульова Т. Є., <https://orcid.org/0000-0002-9554-1285>

Румянцев Л. Ю., <https://orcid.org/0000-0001-5785-3600>

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

МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВЛАШТУВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ ДОРОЖНЬОЇ РОЗМІТКИ: АНАЛІЗ І ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

Анотація

Вступ. На сучасному етапі розвитку дорожньої галузі посилюються вимоги до дорожньої розмітки. Функціональна довговічність розмітки залежить від якості матеріалів, від технології нанесення розмітки, умов її експлуатації. Для влаштування розмітки використовують різні матеріали: фарби, пластики холодного нанесення, термопластики, спрей-пластики, готові штучні форми тощо.

Проблематика. Асортимент матеріалів, технологій, а також нових методів нанесення дорожньої розмітки з метою підвищення безпеки дорожнього руху постійно розширюється. Вибір оптимальних рішень є складним завданням, що вимагає як урахування технічних, так і економічних факторів. Аналіз результатів застосування різних матеріалів і технологій стає все більш важливим з точки зору продовження строку служби дорожньої розмітки, підвищення її ефективності.

Мета. Виконати аналіз сучасних матеріалів для горизонтальної дорожньої розмітки та визначити переваги і недоліки у застосуванні кожного з них.

Матеріали та методи. Аналіз інформаційних джерел, у т.ч. зарубіжних, щодо технічних характеристик, властивостей, складу, застосування різних матеріалів для розмітки та технологій їх нанесення.

Результати. Надано характеристики матеріалів: фарб, пластиків, штучних форм, мікрокульок скляних світлоповертальних, полімерних стрічок тощо. Визначено їх основні недоліки та переваги.

Висновки. За результатами проведеного аналізу можна зробити висновки, що асортимент матеріалів для дорожньої розмітки постійно зростає, розроблені нові експериментальні матеріали (наприклад, люмінесцентні фарби), виробники працюють над удосконаленням рецептур вже існуючих матеріалів, вводять нові компоненти та наповнювачі, також пропонуються нові технології та методи нанесення для покращення ефективності дорожньої розмітки. В Україні найбільш поширеними матеріалами є фарби через низьку вартість порівняно з іншими матеріалами, також популярності набуває пластик холодного нанесення та полімерні стрічки. Для забезпечення необхідного світлоповертання дорожньої розмітки використовують мікрокульки скляні світлоповертальні.

Ключові слова: дорожня розмітка, мікрокульки, пластик холодного нанесення, термопластик, фарба.

Вступ

Одним з важливих засобів організації дорожнього руху є горизонтальна дорожня розмітка. Розмітка служить орієнтиром для водіїв, визначаючи межі їх руху по автомобільній дорозі [1–3], особливо це важливо у нічний час [4, 5].

Сьогодні розмітку влаштовують різними матеріалами: фарбою, пластиками холодного нанесення, термопластиками, полімерними стрічками, штучними формами, а в окремих спеціальних випадках використовують керамічну і клінкерну бруківку, порцелянову крихту тощо [6–12]. При цьому застосовують різні сучасні технології та високоякісне обладнання [13]. Для надання розмітці властивостей світлоповертання використовують мікрокульки скляні світлоповертальні.

У [14] пропонується модель дорожньої розмітки у вигляді шару з білого, світлоповертального, застигаючого матеріалу, що заливається (укладається) в попередньо виготовлені заглиблення в асфальтобетонному полотні, при цьому на дорожньому полотні формується рівна поверхня. Інші науковці пропонують виконувати розмітку з тактильним профілем, яка є високоефективним засобом проти втоми та відволікання уваги водіїв. Використання такої дорожньої розмітки на краю смуги руху на автомагістралях скорочує кількість нещасних випадків на 31–45 % [15].

У Європі проводились дослідження щодо покращення видимості дорожньої розмітки вночі за рахунок використання люмінесцентної фарби [16]. Однак, такий матеріал має досить високу вартість і, наразі, не використовується.

Метою статті є аналіз найбільш використовуваних сучасних матеріалів для горизонтальної розмітки та доцільність їх застосування.

Основна частина

Матеріали для дорожньої розмітки можна розділити на дві групи за технологією нанесення:

1. Матеріали, що наносяться на дорожнє полотно в холодному стані. У даному випадку — за температури навколишнього середовища. До таких матеріалів відносять пластик холодного нанесення, фарбу, емаль на органічному розчиннику та водно-дисперсійні фарби.

2. Матеріали з попереднім нагріванням до температури 180–220 °С перед нанесенням. До таких матеріалів відносять термопластик, спрей-пластик, термопластичну полімерну стрічку, штучні вироби. Умовою нанесення дорожньої розмітки даного типу є різниця температур навколишнього повітря та матеріалу на 5–35 °С.

Фахівці ДП «ДерждорНД» постійно проводять обстеження стану горизонтальної дорожньої розмітки на автомобільних дорогах України, аналіз результатів за останні роки свідчать, що найчастіше на українських дорогах розмітку влаштовують фарбою, причому використовують весь їх спектр:

- однокомпонентні на водній основі;
- однокомпонентні на основі розчинників;
- двокомпонентні;
- фарби на основі епоксидних смол;
- фарби на основі поліефірних смол.

Однокомпонентні фарби на водній основі

Як говорить назва, вода є одним з базових складових фарб на водній основі, що робить

їх найбільш доступними серед всіх фарб для дорожньої розмітки. Такі фарби можна наносити швидше, ніж більшість інших матеріалів, і в ідеальних умовах така фарба висихає дуже швидко. Одним великим недоліком фарб на водній основі є їх чутливість до температури. Для захисту від замерзання або високих температур необхідно вживати відповідних заходів. Під час нанесення фарба дуже чутлива до високої вологості, що може сильно збільшити час висихання. Також ця фарба є найменш зносостійким матеріалом дорожньої розмітки, тому не рекомендується використовувати її для автомобільних доріг з високою інтенсивністю руху.

Однокомпонентні фарби на основі розчинників

До складу таких фарб входять вуглеводневі розчинники, що представляють основу для твердих компонентів (сполучні матеріали, пігменти і добавки). Якщо роботи виконують у більш холодному кліматі, то фарби на основі розчинників можуть бути більш кращі, так як вони не замерзають. Вологість в цілому не представляє проблем для фарб на основі розчинників. Для очищення потрібні спеціальні розчинники, наприклад, мінеральні спирти.

Двокомпонентні фарби

Двокомпонентні фарби в основному складаються з двох компонентів: матеріалу основи і затверджувача. Компоненти зберігають окремо і змішують тільки під час нанесення фарби. Такі типи матеріалів дорожньої розмітки особливо зносостійкі і мають гарне співвідношення «ціна-якість». Вони міцніші, ніж однокомпонентні фарби, що робить їх ідеальним матеріалом для нанесення розмітки на покриттях під відкритим небом.

Фарби на основі епоксидних смол

Епоксидна смола — це зносостійкий двокомпонентний матеріал для дорожньої розмітки, який складається з пігментованої смоли, що представляє основу, і затверджувача. Перед нанесенням обидва компоненти змішуються в пропорції «2 частини смоли: 1 частина затверджувача». Цей матеріал часто комбінують з мікрокульками скляними світлоповертальними для забезпечення світлоповертальних властивостей у нічний час. Фарби на основі епоксидних смол можна наносити при більш низьких температурах без втрати характеристик механічного зчеплення з дорожнім покриттям. Необхідно звертати увагу на пропорції змішування, так як вони надзвичайно важливі для забезпечення якості матеріалу.

Фарба на основі поліефірних смол

Матеріал на основі поліефірних смол є трикомпонентним матеріалом. Під час нанесення для початку реакції додається каталізатор. Після цього матеріал наносять на дорожнє покриття. Мікрокульки скляні світлоповертальні додаються за допомогою окремого розпилювача, розташованого безпосередньо за розпилювачем фарби. Поліефірна смола має тривалий строк експлуатації та високу зносостійкість, вона не вицвітає і відносно недорога. Добре наноситься на бетонне покриття. Як і у випадку з епоксидними матеріалами, пропорції при змішуванні надзвичайно важливі.

Основним недоліком цих фарб є низька зносостійкість і, як наслідок, функціональна довговічність розмітки — 6 місяців. Високий вміст розчинників у фарбах (25–30 %) є екологічно несприятливим чинником. Крім того, наявність такої кількості розчинників може призводити до зміни кольору розмітки та появи жовтих і сірих відтінків, погіршення видимості.

Перевагою є їх зручна технологія застосування та відносно низька вартість порівняно з іншими матеріалами.

Основні технічні вимоги до фарб представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

Основні вимоги до фарб

Показник	Технічні вимоги
Колір	Білий, жовтий, чорний, червоний, синій, сірий
Густина, г/см ³ , не менше ніж	1,5
Масова доля нелетких речовин, % не менше ніж	75
Умовна в'язкість по віскозиметру типу ВЗ-246 з діаметром сопла 6 мм за температури (20 ± 2) °С	20–50
Ступінь перетиру, мкм, не більше ніж	90
Еластичність плівки при вигинанні, мм, не більше ніж	20
Час висихання покриття до ступеня 3 за температури (20 ± 2) °С, хв	10–30
Стійкість плівки до удару за приладом У-1А, см, не менше ніж	50
Витрата, г/м ²	400–600
Гарантійний строк зберігання, місяців, не менше ніж	12
Срок експлуатації, місяців, не менше ніж	6

Пластики холодного нанесення представляють собою суспензії пігментів і наповнювачів у розчині акрилових сополімерів в акриловому мономері. Пластики тверднуть за рахунок реакції полімеризації в присутності ініціаторів — перекисних сполук. Час затвердіння можна регулювати, змінюючи кількість ініціатора. Однією з головних переваг холодного пластику — висока зносостійкість, тому їх використовують для нанесення розмітки в місцях найбільшого зношування (наприклад, пішохідні переходи, стоп-лінії тощо) та на ділянках з інтенсивним рухом, функціональна довговічність розмітки, влаштованої холодним пластиком, може досягати трьох років. Він еластичний і має високу адгезію до основи. Пластик не боїться перепадів температури, що дозволяє йому зберігати свої експлуатаційні якості протягом декількох років. Це істотно знижує витрати на нанесення й оновлення дорожньої розмітки. Матеріал стійкий до атмосферних впливів і сонячного ультрафіолетового випромінювання, не руйнується при контакті з агресивними середовищами. Також пластик холодного нанесення застосовують для влаштування структурної та профільованої розмітки, що значно покращує видимість розмітки, навіть у несприятливих умовах (в умовах зволоження або дощу).

Основні вимоги до пластиків холодного нанесення наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Вимоги до пластиків холодного нанесення

Показник	Технічні вимоги
Основа	Акрилати
Затверджувач	Рідкий або у вигляді порошку (залежно від типу розмічальної машини)
Кількість затверджувача, %	1–4 (залежно від способу нанесення, типу розмічальної машини та температури повітря)

Показник	Технічні вимоги
Коефіцієнт яскравості, %, не менше ніж	
– для білого кольору	80
– для жовтого кольору	45
Живучість, хв	10–15
Час затвердіння за температури 20 °С, не більше ніж, хв	30
Щільність, г/см ³ :	
– для білого кольору	1,98
– для жовтого кольору	1,92
– для червоного кольору	1,87
В'язкість за приладом Данієля (за 60 с)	13–16
Допустима температура поверхневого полотна при нанесенні, °С	
– для асфальтобетона	5–45
– для цементобетона	10–35
Вологість покриття, не більше ніж, %	4
Витрата пластику при товщині нанесення 3–4 мм, кг/м ²	6–8
Гарантійний строк зберігання, місяців, не менше ніж	12
Гарантійний строк експлуатації (за умови виконання вимог щодо нанесення розмітки та інструкції виробника із застосування), місяців, не менше ніж	12

Термопластики представляють собою сухі суміші смол, пігментів, наповнювачів і пластифікаторів. Як смоли використовують нафтополімерні, епоксидні та інші смоли. Пігмент — діокید титану, наповнювачі — мікрокульки, кварцовий пісок, карбонат кальцію. Термопластики наносять за температури 180–200 °С. Нанесений пластик застигає за 18–20 хв.

Основні вимоги до термопластиків наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Вимоги до термопластиків

Показник	Технічні вимоги
Щільність (сформованого матеріалу), т/м ³	2,14 ± 0,1
Температура розм'якшення по КіШ, °С	97
Коефіцієнт яскравості, %	84
Робоча температура приготування, °С	185 ± 5
Адгезійна міцність, кг/см ² , не менше ніж	30
Товщина шару нанесення, мм	2–5
Стійкість до знакозмінних коливань, циклів, не менше ніж	200

Показник	Технічні вимоги
Водопоглинання, %	0,02
Час затвердіння, хв	10
Вміст мікро кульок, %	20
Гарантійний строк зберігання, місяців, не менше ніж	12
Гарантійний строк експлуатації (за умови виконання вимог щодо нанесення розмітки та інструкції виробника із застосування), місяців, не менше ніж	12

Перевагою термопластиків над пластиками холодного нанесення є повний механізований спосіб нанесення. Однак при роботі з термопластиками необхідно приділяти велику увагу бездоганній роботі термометрів, що контролюють температуру в котлах розмічальних машин, оскільки перевищення температури вище допустимої призводить до термодеструкції полімеру і погіршення якості термопластика.

У теперішній час термопластики мають обмежене застосування через велику трудомісткість нанесення.

Ще одним видом матеріалу для дорожньої розмітки є спрей-пластик. Спрей-пластик можна використовувати для оновлення вже існуючої дорожньої розмітки цементобетонного або асфальтобетонного покриття. Даний розмічальний матеріал можна наносити як вручну, так і з використанням спеціальних маркувальників, які розпилюють речовину при температурі не нижче 210 °С. Розрізняють гарячий і холодний спрей-пластик. У першому випадку доводиться мати справу з порошковою сумішшю термопластичної смоли, пігментів, наповнювача й інших компонентів. А в другому — з в'язкою рідиною білого кольору, яка характеризується різким запахом. У разі правильного нанесення спрей-пластика на дорожнє покриття можна домогтися підвищення зносостійкості розмітки порівняно з розміткою, нанесеною за допомогою фарби.

Серед основних технічних характеристик спрей-пластиків необхідно виділити наступні:

- час затвердіння — не більше 5 хвилин;
- товщина нанесеної лінії — від 0,8 мм до 1,5 мм;
- витрата матеріалу при товщині лінії 1 мм: гарячого — 1,8 кг/м², холодного – 2–3 кг/м²;
- міцність зчеплення з поверхнею — 30 кг/см².

Однією з головних властивостей дорожньої розмітки є її практичність, яка виражається у забезпеченні безпеки дорожнього руху для водіїв транспортних засобів в будь-яку погоду, час доби і року. З метою забезпечення даного чинника при виготовленні матеріалу для дорожньої розмітки використовують світлоповертальні компоненти. Прикладом в даному випадку можуть бути скляні мікрокульки, які є додатковим елементом матеріалу дорожньої розмітки, так як мікрокульки виконують тільки світлоповертальну функцію дорожньої розмітки. Укладені на поверхню дорожньої розмітки мікрокульки заломлюють світло фар і дозволяють відбити його під необхідним кутом, для того, щоб промінь світла був направлений чітко на рівень очей водія транспортного засобу. Найбільш оптимальним варіантом нанесення є, коли мікрокульки розміщені у верхньому шарі розмічального матеріалу і, відповідно, наполовину свого діаметра перевищують поверхню розмітки. Враховувати варто також і те, що матеріал дорожньої розмітки повинен знаходитися у щільній взаємодії з мікрокульками.

Основні вимоги до мікрокульок наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Вимоги до мікрокульок

Показник	Технічні вимоги
Хімічний склад, %	SiO ₂ — 70–74 Al ₂ O ₃ — 0,5–2 CaO — 7–11 MgO — 3–5 Na ₂ O+K ₂ O — 13–15 Fe ₂ O ₃ — не більше ніж 0,1 TiO ₂ — не більше ніж 0,1
Коефіцієнт заломлення	≥ 1,5
Стійкість до води, соляної кислоти, хлориду кальцію, сульфиду натрію	ε
Питома вага, кг/дм ³	2,4–2,6
Твердість по Моосу	5,5–6,5
Твердість по Роквелу	42–44 ХРЦ

Полімерна стрічка для дорожньої розмітки

Стрічка для дорожньої розмітки складається з пігментів, смол і світлоповертальних матеріалів (мікрокульки або світловідбиваючі елементи), може містити протиковзні частки. Вона готова до використання відразу. Стрічки подібні до інших матеріалів для розмітки: пігменти використовуються для надання кольору, смоли — для забезпечення потрібних характеристик зносостійкості. Цей матеріал використовують для нанесення розділової розмітки смуг руху, позначень, символів та поперечної розмітки, більш високостійкий до стирання і витримує більшу кількість наїздів колесами на нього, порівняно зі звичайною розмічальною фарбою, яку потрібно оновлювати вже через півроку. Стрічку можна класти прямо на свіжий шар гарячого асфальтобетону, це означає, що дорога буде покрита розміткою з першого дня її роботи без зайвого зволікання. Це є однією з переваг полімерної стрічки, що позитивно впливає на створення безпечних умов для руху транспортних засобів і пішоходів, без зайвого зволікання. Для підвищення характеристик зчеплення з дорожнім покриттям такий матеріал може бути нанесений на додатковий скріплюючий шар (грунтовку).

Основними перевагами стрічки є:

- високі значення коефіцієнта світлоповертання — 500–800 мкд·лк⁻¹·м⁻²;
- підвищена зносостійкість;
- високий коефіцієнт зчеплення з колесом автомобіля за рахунок спеціальних часток;
- висока екологічність;
- гарна видимість в умовах зволоження та дощу.

Готові штучні форми — це сформована, готова до нанесення термопластикова дорожня розмітка, яка може наноситися на дорожнє покриття у будь-який сезон. Нанесення дорожньої розмітки дозволяє підвищити безпеку дорожнього руху без значних ресурсних витрат. Нанесення — просте і швидке, виконується однією людиною, що має щітку і газовий пальник. Завдяки високій якості і здатності зчеплення з асфальтом, має строк служби у 6–8 разів вище, ніж будь-який матеріал, який використовують для дорожньої розмітки. Асортимент форм охоплює

весь спектр символів і знаків, потрібних для регулювання дорожнього руху: дорожні знаки, лінії, стрілки, малюнки і літери, а також інші форми.

Перевагами готових форм є:

- точне розташування розмітки перед установкою;
- мінімальний час зупинки дорожнього руху завдяки швидкому нанесенню;
- мінімальна кількість обладнання, немає необхідності в чищенні, відходи відсутні;
- екологічність;
- великий строк служби.

Висновки

Аналіз показав, що асортимент матеріалів для дорожньої розмітки постійно зростає, розробляються нові експериментальні матеріали (наприклад, люмінесцентні фарби), виробники працюють над удосконаленням рецептур вже існуючих матеріалів, вводять нові компоненти та наповнювачі, також пропонуються нові технології та методи нанесення для покращення ефективності дорожньої розмітки. Матеріалом, який найбільше використовують в Україні є фарби через низьку їх вартість порівняно з іншими матеріалами, а також популярності набуває пластик холодного нанесення та полімерні стрічки, які мають високу зносостійкість і дозволяють забезпечити функціональну довговічність дорожньої розмітки в декілька років. Для забезпечення необхідного світлоповертання дорожньої розмітки, наразі, використовують лише мікрокульки скляні світлоповертальні, хоча проводяться експериментальні дослідження щодо застосування інноваційних матеріалів в цьому напрямку (наприклад, використання люмінофорів у складі фарб).

Список літератури

1. Calvi A. A study on driving performance along horizontal curves of rural roads. *Journal of transportation safety & security*. London, 2015. N 7 (3), P. 243–267. DOI: <https://doi.org/10.1080/19439962.2014.952468> (дата звернення: 20.04.2020).
2. de Waard D., Steyvers F. J., Brookhuis K. A. How much visual road information is needed to drive safely and comfortably. *Safety Science*. Netherlands, 2004. N 42 (7), P. 639–655. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2003.09.002> (дата звернення: 20.04.2020).
3. Steyvers F. J., de Waard D. Road-edge delineation in rural areas: Effects on driving behaviour. *Ergonomics*. London, 2000. N 43 (2), P. 223–238. DOI: <https://doi.org/10.1080/001401300184576> (дата звернення: 20.04.2020).
4. Burghardt T., Pashkevich A. Materials selection for structured horizontal road markings: financial and environmental case studies. *European Transport Research Review*. Germany, 2020. N 12, 11. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12544-020-0397-x> (дата звернення: 20.04.2020).
5. Burghardt T., 2018. High durability - high retroreflectivity solution for a structured road marking system. *Conference: International Conference on Traffic and Transport Engineering (ICTTE 2018)*. Belgrade, 2018. P. 1096-1102. URL: https://www.researchgate.net/publication/328065486_HIGH_DURABILITY-HIGH_RETROREFLECTIVITY_SOLUTION_FOR_A_STRUCTURED_ROAD_MARKING_SYSTEM (дата звернення: 20.04.2020).
6. Быковская Н. Е., Разумов М. С. Дорожная разметка с применением инновационного материала. Молодые ученые – основа будущего машиностроения и строительства. *Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции*. Курск, 2014. С. 69-72.

7. Яковец А.В. Использование современных материалов для нанесения дорожной разметки с целью повышения безопасности дорожного движения. Инновационное лидерство строительной и транспортной отрасли глазами молодых ученых. *Сборник научных трудов молодых ученых по материалам Международной научно-практической конференции. Сибирская государственная автомобильнодорожная академия (СибАДИ)*. Омск, 2014. С. 173-175.

8. Babić D., Burghardt T. Application and characteristics of waterborne road marking paint. *IJTTE. International Journal for Traffic and Transport Engineering*. Serbia, 2015. N 5. P. 150-169. DOI: [https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5\(2\).06](https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5(2).06) (дата звернення: 20.04.2020).

9. Гостев Ю.Г., Румянцев Л.Ю., Фощ І.В., Кострульова Т.Є. Функціональна довговічність дорожньої розмітки та якість розмічального матеріалу. *Дорожня галузь України*. Київ, 2011. N 3. С. 72-74.

10. Гостев Ю.Г., Румянцев Л.Ю., Фощ І.В., Кострульова Т.Є. Сучасні вимоги щодо застосування пластиків, полімерних стрічок, мікрокульок скляних світлоповертальних для горизонтальної розмітки автомобільних доріг. *Автошляховик України*. Київ, 2012. N 5. С. 42-48.

11. Свежинский В.Н., Малышкин С.А., Бессонова Л.П. Материалы и микростеклошарики для дорожной разметки – проблемы и тенденции. *Строительные материалы*. Москва, 2018. N 7. С. 28–30.

12. Свежинский В.Н., Малышкин С.А. Материалы и изделия для дорожной разметки. *Мир дорог*. Санкт-Петербург, 2016. N 88. С. 22–23.

13. Юшков Б.С., Бургунутдинов А.М., Юшков В.С. Современные подходы по нанесению дорожной горизонтальной разметки. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности*. Пермь, 2011. N 1. С. 136–141.

14. Разумов М.С., Быковская Н.Е. Повышение безопасности дорожного движения за счет применения дорожной разметки, интегрированной в асфальтобетонное полотно. *Известия Юго-Западного государственного университета*. Курск, 2015. N 2 (15). С. 53-57.

15. Юшков В.С., Овчинников И.Г., Пугин К.Г. Значение искусственных неровностей для обеспечения безопасности движения автомобильного транспорта. *Транспортные сооружения*. 2018. N 1. DOI: <https://doi.org/10.15862/07SATS118>.

16. Гостев Ю.Г., Кострульова Т.Є., Фощ І.В. Аналіз світового досвіду використання люмінесцентної фарби або люмінесцентних композицій. *Дороги і мости*. Київ, 2017. N 17. С. 54-60. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2017.17.054> (дата звернення: 20.04.2020).

References

1. Calvi A. A study on driving performance along horizontal curves of rural roads. *Journal of transportation safety & security*. 2015. N 7 (3), P. 243–267. DOI: <https://doi.org/10.1080/19439962.2014.952468> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

2. de Waard D., Steyvers F. J., Brookhuis K. A. How much visual road information is needed to drive safely and comfortably. *Safety Science*. Netherlands, 2004. N 42 (7). P. 639–655. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2003.09.00> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

3. Steyvers F. J., de Waard D. Road-edge delineation in rural areas: Effects on driving behaviour. *Ergonomics*. London, 2000. N 43 (2), P. 223–238. DOI: <https://doi.org/10.1080/001401300184576> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

4. Burghardt T., Pashkevich A. Materials selection for structured horizontal road markings:

financial and environmental case studies. *European Transport Research Review*. Germany, 2020. N 12, 11. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12544-020-0397-x> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

5. Burghardt T. High durability – high retroreflectivity solution for a structured road marking system. In Conference: International Conference on Traffic and Transport Engineering (ICTTE 2018). Belgrade, 2018. P. 1096-1102. URL: https://www.researchgate.net/publication/328065486_HIGH_DURABILITY-HIGH_RETROREFLECTIVITY_SOLUTION_FOR_A_STRUCTURED_ROAD_MARKING_SYSTEM (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

6. Bykovskaia N. E., Razumov M.S. Dorozhnaia razmetka s prymenenyem ynnovatsyonnoho materyala. Molodye uchenye – osnova budushcheho mashynostroeniya y stroytelstva (Road marking using innovative material. Young scientists are the foundation of the future engineering and construction). *Collection of scientific papers of the International scientific and technical conference*. Kursk, 2014. P. 69-72. [in Russian].

7. Yakovets A. V. Yspolzovanye sovremennykh materyalov dlia naneseniya dorozhnoi razmetky s tseliu povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvyzheniya. Ynnovatsyonnoe lyderstvo stroytelnoi y transportnoi otrasly hlazamy molodykh uchenykh (The use of up-to-date materials for applying the road marking in order to improve road safety. Innovative leadership in the construction and transport industry as viewed by the young scientists) *Collection of scientific papers of young scientists based on the materials of the International scientific-practical conference. Siberian State Automobile and Road Academy (SibADI)*. Omsk, 2014. P. 173-175 [in Russian].

8. Babić D., Burghardt T. Application and characteristics of waterborne road marking paint. *IJTTE. International Journal for Traffic and Transport Engineering*. Serbia, 2015. N 5. P. 150–169. <https://doi.org/10.7708/ijtte> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

9. Hostev Yu. H., Rumiantsev L. Yu., Foshch I. V., Kostrulova T. Ye. Funktsionalna dovgovichnist dorozhnoi rozmitki ta yakist rozmichalnogo materialu. Dorozhnya galuz Ukrayini (The functionality of the road markings and the quality of the marking material) *Road industry of Ukraine*. Kyiv, 2011. N 3. P. 72-74. [in Ukrainian].

10. Hostev Yu. H., Rumiantsev L. Yu., Foshch I. V., Kostrulova T. Ye. Suchasni vimogi schodo zastosuvannya plastikiv, polimernih strichok, mikrokulok sklyanih svitlopovertalnih dlya gorizontanoi rozmitki avtomobilnih dorog (Modern requirements for the use of plastics, polymer tapes, retroreflective microglass beads for horizontal marking of roads). *Avtošljachovyk Ukraïny*. Kyiv, 2012. N 5. P. 42-48. [in Ukrainian].

11. Svezhinsky V.N., Malyshkin S.A., Bessonova L.P. Materialy i mikrostekloshariki dlya dorozhnoj razmetki – problemy i tendencii (Materials and Micro-Glass Beads for Road Surface Marking - Problems and Trends). *Stroitel'nye materialy*. Moscow, 2018. N 7. P. 28–30. [in Russian].

12. Svezhynskiy V. N., Malyshkin S. A. Materialy i izdeliya dlya dorozhnoj razmetki (Materials and products for road marking). *The world of road*. St. Petersburg, 2016. N 88. P. 22–23. [in Russian].

13. Yushkov B. S., Burgonutdinov A. M., Yushkov V. S. Sovremennye podkhody po naneseniyu dorozhnoi horizontalnoi razmetky (Modern approaches for horizontal road marking application). *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehničeskogo universiteta. Ohrana okružaúšej sredy, transport, bezopasnost' žiznedatel'nosti*. Perm, 2011. N 1. P. 136–141. [in Russian].

14. Razumov M. S., Bykovskaya N. E. Povyszenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya za schet primeneniya dorozhnoj razmetki, integrirovanoj v asfaltobetonnoe polotno (Improving road safety through the use of pre-goat markup embedded in the asphalt fabric and stitch the interfaces between materials). *Izvestiâ Ūgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. Kursk, 2015. N 2 (15). P. 53-57. [in Russian].

15. Yushkov V. S., Ovchinnikov I. H., Pugin K. H. Znachenye yskusstvennykh nerovnostei dlia obespecheniya bezopasnosti dvyzheniya avtomobylnoho transporta (The importance of artificial unevenness to ensure the safety of motor transport traffic). *Transportnye sooruzheniâ*. Moscow, 2018. N 1. DOI: <https://doi.org/10.15862/07SATS118> (Last accessed: 20.04.2020) [in Russian].

16. Hostev Yu. H., Kostrulova T. Ye., Foshch I. V. Analiz svitovoho dosvidu vykorystannia liuminestsentnoi farby abo liuminestsentnykh kompozytsii (Analysis of world experience in the use of fluorescent paint or fluorescent compositions). *Dorogi i mosti*. Kyiv, 2017. N 17. P. 54-60. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2017.17.054> (Last accessed: 20.04.2020) [in Ukrainian].

Yuriy Gostev, <https://orcid.org/0000-0002-0351-9591>

Lev Rumyantsev, <https://orcid.org/0000-0001-5785-3600>

Tetyana Kostrulova, <https://orcid.org/0000-0002-9554-1285>

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

MATERIALS FOR HORIZONTAL ROAD MARKING ARRANGEMENT: ANALYSIS AND EXPEDIENCY OF APPLICATION

Abstract

Introduction. At the present stage of development of the road industry, the requirements for road marking are increasing. Functional durability of road marking depends on the quality of materials, on the technology of road marking arrangement, the conditions of its operation. Different materials are used for the road markings arrangement: paints, cold-applied plastics, thermoplastics, spray-plastics, finished artificial forms, etc.

Issues statement. The range of materials, technologies, as well as new road marking arrangement techniques to increase road safety is constantly expanding. Choosing the best solutions is a complex task that requires both technical and economic factors considerations. The analysis of the results of using different materials and technologies is becoming increasingly important in terms of extending the service life of road marking and improving its effectiveness.

Purpose. Analyze up-to-date materials for horizontal road marking to determine the advantages and disadvantages of each application.

Materials and methods. Analysis of information sources, including foreign, regarding technical characteristics, properties, composition, and application of various marking materials and technologies of their application.

Results. Characteristics of the following materials are given: paints, plastics, artificial forms, retroreflective micro glass beads, polymeric tapes, etc. Their main disadvantages and advantages are identified.

Conclusions. According to the results of the analysis, it can be concluded that the range of materials for road marking is constantly increasing, new experimental materials (e.g. fluorescent paints) are developed, manufacturers are working on improving the composition of existing materials, introducing new components and fillers, and also proposing new technologies and methods to improve road marking performance. In Ukraine, the most widely used materials are paints because of their low cost compared to other materials, as well as the popularity of cold-applied plastic and polymer tapes. To provide the necessary retroreflection of the road marking, retroreflective micro glass beads are used.

Key words: road marking, micro glass beads, cold-applied plastic, thermoplastic, paint.

УДК 625.7/.8

Неизвестний С. В.,¹ <https://orcid.org/0000-0002-8888-313X>

Пальчик А. М.,² канд. техн. наук, проф., <https://orcid.org/0000-0002-7658-6066>

¹Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

²Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

АНАЛІЗ МЕТОДІВ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬ ПРИ ОБҐРУНТУВАННІ РЕКОНСТРУКЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація

Вступ. Виконано аналіз методів, які використовуються на стадії прийняття проєктних рішень реконструкції автомобільних доріг.

Проблематика. Висока вартість дорожнього будівництва та обмеженість ресурсів обумовлюють їх раціональний розподіл для забезпечення максимальної економічної ефективності. Дане питання може бути вирішене в межах часткової реконструкції автомобільної дороги. Перебудовуючи лише ділянки, які занижують транспортно-експлуатаційні показники дороги або ділянки з високою аварійністю, порівняно з реконструкцією всієї дороги, можливо значно заощадити ресурси. При цьому необхідно застосовувати комплексний підхід при прийнятті проєкту повної або вибіркової реконструкції з врахуванням фактичних умов руху на існуючій дорозі, детального аналізу причин виникнення ДТП та екологічного впливу, з обов'язковим врахуванням майбутнього споживчого ефекту від виконання прогнозованого комплексу робіт на автомобільну дорогу в цілому.

Мета. Мета роботи полягає у порівнянні методів, які використовуються в Україні для обґрунтування реконструкції автомобільних доріг та аналізу їх ефективності.

Матеріали і методи. Аналіз та дослідження методів, які використовуються в Україні для обґрунтування реконструкції автомобільних доріг.

Результати. Визначено доцільність методів, які використовуються в Україні для обґрунтування реконструкції автомобільних доріг. Визначено «слабкі місця» кожного з методів.

Висновки. Методи, які використовуються в Україні передбачають виконання комплексу робіт з реконструкції, переведення технічних і геометричних параметрів автомобільної дороги у відповідність до призначеної технічної категорії. При цьому не враховуються технічні параметри дороги, які не відповідають нормативним вимогам, але забезпечують фактичні експлуатаційні властивості дороги. Наразі актуальною та необхідною науково-технічною задачею є розроблення узагальненого методу для обґрунтування реконструкції автомобільних доріг.

Ключові слова: автомобільна дорога, інтенсивність руху, коефіцієнт аварійності, коефіцієнт безпеки, пропускна здатність, реконструкція.

Вступ

Автомобільна дорога починаючи від її будівництва постійно піддається впливу природно-кліматичних факторів і навантажень спричинених рухом транспортних засобів, у зв'язку з чим елементи автомобільної дороги зношуються, виникають незворотні деформації і руйнування. У той же час, постійно зростаюча кількість транспортних засобів призводить до збільшення інтенсивності дорожнього руху та обумовлює необхідність збільшення пропускної здатності існуючих автомобільних доріг.

Зростання вантажних і пасажирських перевезень на автомобільних дорогах значно перевищує темпи розвитку дорожньої мережі України, тому виникає невідповідність транспортно-експлуатаційних показників автомобільної дороги, або її окремих ділянок вимогам автомобільного транспорту. Збільшення інтенсивності руху на дорозі призводить до утворення заторів, зростання аварійності, збільшення собівартості перевезень, зменшення продуктивності автомобільного транспорту.

Умовою ефективного функціонування автомобільної дороги є усунення дефектів на початковій стадії їх виникнення. Недостатнє фінансування дорожньої галузі сприяє накопиченню обсягів невиконаних робіт з утримання та ремонту автомобільних доріг, у зв'язку з чим фактичний стан техніко-експлуатаційних показників дороги не в змозі забезпечити вимоги сьогодення. З практики встановлено, що несвоєчасне виконання комплексу ремонтних робіт призводить до накопичення та утворення нових невідповідностей, при цьому найбільшого негативного впливу зазнає конструкція дорожнього одягу. Покриття проїзної частини поступово втрачає свої техніко-експлуатаційні показники, руйнується і рух транспортних засобів ускладнюється.

Проблема необхідності підвищення якості автомобільних доріг України загострюється з кожним роком. Автомобільна дорога зношується фізично та морально і настає момент коли транспортно-експлуатаційний стан дороги вже не в змозі забезпечити необхідні їй експлуатаційні властивості.

Враховуючи, що значна кількість автомобільних доріг загального користування, проєктувалась і будувалась у радянський період, приведення їх транспортно-експлуатаційного стану до сучасних вимог потребує виконання комплексу робіт із реконструкції, які пов'язані зі значними капіталовкладеннями. Відповідно до нормативних тлумачень реконструкція автомобільної дороги це перебудова автомобільної дороги, пов'язана з підвищенням пропускної спроможності шляхом зміни основних технічних параметрів. Основною вимогою при реконструкції є переведення дороги у більш високу категорію, а на дорогах I категорії — збільшення кількості смуг руху.

Реконструкцію автомобільної дороги необхідно виконувати при:

- погіршенні аварійного стану на автомобільній дорозі;
- невідповідності техніко-експлуатаційних та геометричних параметрів дороги фактичній інтенсивності руху транспортних засобів;
- незабезпечення автомобільною дорогою швидкісного режиму транспортного потоку;
- погіршенні екологічних умов у придорожній смузі тощо.

Враховуючи вищенаведене, основними вимогами до проєктних рішень при реконструкції автомобільних доріг є забезпечення комплексного підвищення: пропускної здатності автомобільної дороги та безпеки руху транспортних засобів.

Висока вартість дорожнього будівництва та обмеженість ресурсів обумовлюють їх раціональний розподіл для забезпечення максимальної економічної ефективності. Дане питання може бути вирішено в межах вибіркової реконструкції автомобільної дороги. Вибіркова

реконструкція автомобільної дороги це перебудова окремих ділянок дороги або ж окремих її елементів, які різко погіршують транспортно-експлуатаційні показники дороги [3].

Перебудовуючи лише ділянки, які знижують транспортно-експлуатаційні показники дороги або ділянки з високою аварійністю, порівняно з «повною» реконструкцією дороги (приведенням всіх елементів дороги до нормативних вимог), можливо значно заощадити ресурси. При цьому необхідно застосовувати комплексний підхід при прийнятті проєкту повної або часткової реконструкції з врахуванням фактичних умов руху на існуючій дорозі, детального аналізу причин виникнення ДТП та екологічного впливу, з обов'язковим врахуванням майбутнього ефекту від виконання прогнозованого комплексу робіт на автомобільну дорогу в цілому.

Основна частина

Існує декілька методів оцінки стану доріг за якими визначають необхідність у реконструкції автомобільної дороги, які розглянемо нижче.

Інтенсивність руху та пропускна здатність автомобільної дороги

Інтенсивність руху автомобільної дороги визначають кількістю автомобілів, що проїжджають через переріз ділянки дороги за одиницю часу в обох напрямках.

Аналіз інтенсивності та складу руху дозволяє визначити відповідність транспортно-експлуатаційних показників автомобільних доріг відповідній технічній категорії, визначити вантажнапруженість автомобільних доріг, підвищити ефективність використання ресурсів, які виділяються на ремонт та утримання автомобільних доріг [3].

Це основний показник, відповідно до якого визначають геометричні параметри автомобільної дороги. При цьому, інтенсивність руху є не стабільним показником, а змінюється як в часі, так і на різних ділянках дороги.

Пропускна здатність автомобільної дороги визначають максимально можливою кількістю автомобілів, які можуть проїхати через певний переріз дороги за одиницю часу. Пропускна здатність є важливим показником під час проєктування або реконструкції поперечного профілю та геометричних елементів автомобільної дороги. Для спрощення розрахунків в якості вихідних даних розглядають однорідні потоки руху (колонний рух), тобто пропускна здатність однієї смуги руху.

Ступінь завантаженості дороги оцінюють відношенням інтенсивності руху транспортного потоку до пропускної здатності дороги. Цей показник характеризує функціональність шляхів сполучення і є комплексним, оскільки залежить від параметрів дороги, характеристики транспортних засобів і водія, тобто є одним з основних критеріїв комплексної системи «Водій – Автомобіль – Дорога – Середовище» (ВАДС). При наближенні значення до одиниці збільшується щільність транспортних засобів та зменшується їх швидкість руху.

Робота дороги в режимі її пропускної здатності недоцільна та не вигідна, оскільки відбувається насичення транспортного потоку, утворюються затори, значно ускладнюється можливість зміни смуги руху та зменшується середня швидкість руху транспортного потоку.

Даний метод не аналізує окремі елементи та ділянки автомобільної дороги, які в змозі забезпечити необхідні умови для руху транспортних засобів.

Слід зазначити, що основною характеристикою пропускної здатності автомобільної дороги є перехрещення та примикання в одному рівні, оскільки це місця злиття та поділу транспортних потоків. Дані елементи дороги є перешкодами для руху, які змушують транспортні засоби повільнюватись або повністю зупинятись. Тож розглянемо наступний показник, а саме — пропускна здатність перехрещень та примикань.

Пропускна здатність перехресть та примикань

За основу розрахунку пропускної здатності нерегульованих перехресть і примикань взято теорію руху транспортних потоків, яка вивчає закономірності розподілу інтервалів між транспортними засобами, що рухаються. Час необхідний для виконання маневру автомобілем в безпечних умовах руху є основним параметром при розрахунку практичної пропускної здатності перехресть і примикань. Для визначення їх пропускної здатності необхідно визначити розрахункову схему руху автомобілів які рухаються по дорогам, що перетинаються. Оскільки дороги, які перетинаються, поділяються на головні та другорядні, то транспортні засоби, які рухаються по другорядній дорозі, перетинають головний потік тільки за наявності в ньому достатніх проміжків між автомобілями.

У цілому пропускна здатність перехресть і примикань в одному рівні залежить від категорії доріг, складу та інтенсивності транспортних потоків, що перетинаються, типу розв'язки в одному рівні, системи організації дорожнього руху, середніх швидкостей руху, маневрів автомобілів, погодних умов та кількості автомобілів, які виконують ліві повороти [4].

Метод коефіцієнтів безпеки

Коефіцієнт безпеки визначають як відношення максимальної, безпечної швидкості руху на ділянці дороги до швидкості, на якій автомобілі в'їжджають на цю ділянку дороги. Для визначення швидкостей руху на існуючих дорогах використовують графік швидкостей, який будують за результатами експерименту. Метод коефіцієнтів безпеки враховує рух окремого автомобіля, що є характерним для умов руху на дорогах із невеликою інтенсивністю руху.

Для визначення коефіцієнтів безпеки при побудові теоретичного графіка швидкостей руху по дорозі в методику вносять зміни, які пов'язані з врахуванням небезпечних ситуацій. До уваги не приймають загальні обмеження швидкості руху, наприклад: у населених пунктах, на залізничних переїздах, на перехрестях і примиканнях з автомобільними дорогами, на кривих з малими радіусами, у зоні дії відповідних знаків тощо.

У кінці кожної ділянки автомобільної дороги визначають максимально можливу швидкість руху, без врахування умов руху на інших ділянках. Максимально можливу швидкість руху на кривих у плані визначають з врахуванням граничного значення коефіцієнта поперечного зчеплення, який забезпечує стійкість автомобіля проти заносу. Вважається, що швидкість руху зростає до тих пір, поки геометричні параметри дороги можуть забезпечити дану швидкість руху. За даними графіків швидкостей руху в двох напрямках визначають відношення швидкостей руху на початку кожного елемента дороги з допустимими швидкостями руху, які забезпечуються геометричними параметрами дороги.

Відповідно до [3], ділянки доріг за ступенем небезпеки для руху визначають за наступною градацією коефіцієнтів безпеки:

- до 0,4 вважаються дуже небезпечними для руху;
- від 0,4 до 0,6 — небезпечні ділянки;
- від 0,6 до 0,8 — малонебезпечні.

За результатами визначення коефіцієнтів безпеки будують графік зміни їх значень по довжині дороги. На графіку виділяють ділянки за ступенем небезпеки, особливу увагу приділяють ділянкам з коефіцієнтом безпеки менше ніж 0,4. Під час розроблення проєктів реконструкції та капітального ремонту автомобільної дороги необхідно перепланувати ділянки дороги з коефіцієнтом безпеки 0,6 і менше.

Даний метод аналізує рух одиночного автомобіля та не враховує зміну швидкості руху транспортних засобів та їх маневри пов'язаних зі збільшенням інтенсивності руху. У зв'язку з чим,

метод коефіцієнтів безпеки доцільно використовувати на дорогах з невеликою інтенсивністю, або в періоди її спаду.

Метод коефіцієнтів аварійності

Аналіз автомобільної дороги за даним методом дозволяє визначити небезпечні ділянки дороги на основі проектних документів. Ступінь небезпечності ділянки визначають загальним коефіцієнтом аварійності, який є добутком коефіцієнтів аварійності, що характеризують і враховують вплив окремих елементів автомобільної дороги. Кожен окремий коефіцієнт визначають як відношення кількості ДТП при фактичних геометричних параметрах автомобільної дороги до кількості ДТП на еталонній прямій горизонтальній ділянці дороги з шириною проїзної частини 7,5 м із твердим узбіччям [3].

Коефіцієнт розраховують у табличній формі для кожної ділянки дороги, де змінюється хоч один показник, який впливає на безпеку дорожнього руху. Результати визначення коефіцієнтів аварійності оформлюються у вигляді лінійного графіка, на якому видно місця підвищеної безпеки, ступінь якої визначається конкретними показниками. Небезпечними вважаються ділянки із загальним коефіцієнтом аварійності більше ніж 20 на рівнинній одноманітній місцевості та 40 і більше — в умовах пересіченої місцевості, де водії їздять з більшою обережністю [3].

Окремі коефіцієнти аварійності не в змозі охарактеризувати багатоваріантність дорожніх умов, тому за результатом аналізу ДТП, у тому числі й архівних даних, загальний коефіцієнт може уточнюватися за рахунок введення нових коефіцієнтів. У цілому ж даний метод є достатньо загальним і теоретичним та не дозволяє достатньо повно врахувати фактичну кількість дорожньо-транспортних пригод та їх причину.

Висновки

Розглянуті методи, один чи комплексно, використовують при обґрунтуванні комплексу робіт з реконструкції дороги чи її ділянки. При цьому не аналізуються та не враховуються технічні параметри дороги, які не відповідають нормативним вимогам, але забезпечують фактичні експлуатаційні властивості дороги (наприклад, ширина дороги, кількість смуг руху, тощо).

Основним критерієм під час вибору проектних і технологічних рішень, обсягів виконання будівельно-ремонтних робіт у дорожньому будівництві в умовах українського сьогодення, є раціональне розподілення коштів. Ефективність використання бюджетних коштів при проведенні ремонтно-будівельних робіт визначається економічним ефектом за результатом виконаних робіт. Доцільність експлуатації дороги без покращення певних її техніко-експлуатаційних показників, при умові забезпечення дорогою безпечного та безперервного руху транспортних засобів є актуальним питанням. Вирішення цього питання потребує проведення детальних наукових досліджень автомобільної дороги як суцільного комплексу.

Змінюючи лише незадовільні транспортно-експлуатаційні показники (без зміни показників, які забезпечують вимоги транспортного потоку) можливо раціоналізувати витрати коштів при реконструкції автомобільної дороги. Перелік параметрів, які забезпечують безперервний та безпечний рух транспортних засобів з нормативною швидкістю може бути визначений після комплексного аналізу всіх показників із врахуванням періоду ефективного функціонування дороги без зміни параметрів. Враховуючи вищенаведене, актуальною та необхідною науково-технічною задачею є розроблення узагальненого методу для обґрунтування реконструкції автомобільних доріг.

Список літератури

1. Білятинський О.А., Старовойда В.П., Хом'як Я.В. Проектування автомобільних доріг : підручник. Київ, 1998. 416 с.
2. Бируля А.К. Влияние интенсивности автомобильного движения на его скорость. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. Харьков, 1975. Вып. 9. С. 5-14.
3. Сильянов В.В., Домке Э.Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц : учебник для студ. высш. учеб. заведений. Москва, 2008. 352 с.
4. Пальчик А.М. Транспортні потоки : монографія. Київ, 2010. 171 с.
5. Пальчик А.М., Заворицький Ю.Е., Макаренко Е.С. Відповідність дорожніх умов вимогам транспортного потоку. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2001. Вип. 62. С. 316-318.
6. Пальчик А.М., Кунда Н.Т. Визначення коефіцієнтів завантаження автомобільних доріг. *Безпека дорожнього руху України*. Київ, 2001. Вип. 3. С. 30-33.
7. Пальчик А.М., Петрова О.Г., Рахуба О.І. Розрахунок екологічно-допустимої інтенсивності руху автомобільного транспорту. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 1998. Вип. 55. С. 18-20.
8. Пальчик А.М., Старовойда В.П. Критерії визначення необхідності реконструкції автомобільних доріг. *Безпека дорожнього руху України*. Київ, 2001. Вип. 1. С. 57-60.

References

1. Biliatynskiy O. A., Starovoida V. P., Khomiak Ya. V. Proektuvannia avtomobilnykh dorih (Design of motor roads) : textbook. Kyiv, 1998. 416 p. [in Ukrainian].
2. Byrulia A.K. Vlyaniye yntensyvnostry avtomobylnoho dvyzhenyia na eho skorost (Influence of traffic volume on its speed). *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorožnogo universiteta*. Kharkov, 1975. Iss. 9. P. 5-14. [in Russian].
3. Sylianov V.V., Domke Э.R. Transportno-ekspluatatsionnye kachestva avtomobylnykh doroh i horodskikh ulyts (Riding qualities of motor roads and city streets) : textbook for students higher institutions. Moscow, 2008. 352 p. [in Russian].
4. Palchyk A.M. Transportni potoky (Traffic flows) : monograph. Kyiv, 2010. 171 p. [in Ukrainian].
5. Palchyk A. M., Zavorytskyi Yu. E., Makarenko E. S. Vidpovidnist dorozhnikh umov vymoham transportnoho potoku (Compliance of road conditions with traffic flow requirements). *Avtomobil'ni dorogi i dorozhne budivnictvo*. Kyiv, 2001. Iss. 62. P. 316-318. [in Ukrainian].
6. Palchyk A.M., Kunda N.T. Vyznachennia koefitsientiv zavantazhennia avtomobilnykh dorih (Determination of motor roads loading factors). *Traffic safety of Ukraine*. Kyiv, 2001. Iss. 3. P. 30-33. [in Ukrainian].
7. Palchyk A. M., Petrova O. H., Rakhuba O. I. Rozrakhunok ekolohichno-dopustymoi intensyvnostry rukhu avtomobilnoho transportu (Calculation of ecologically permissible traffic volume of motor transport. Motor roads and road construction). *Avtomobil'ni dorogi i dorozhne budivnictvo*. Kyiv, 1998. Iss. 55. P. 18-20. [in Ukrainian].
8. Palchyk A. M., Starovoida V. P. Kryterii vyznachennia neobkhidnosti rekonstruktsii avtomobilnykh dorih (Criteria for determining the necessity of road reconstruction). *Traffic safety of Ukraine*. Kyiv, 2001. Iss. 1. P. 57-60. [in Ukrainian].

Sergii Neizvestnyi,¹ <https://orcid.org/0000-0002-8888-313X>

Anatolii Palchyk,² Ph.D., Prof., <https://orcid.org/0000-0002-7658-6066>

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

²National Transport University, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF THE METHODS USED FOR JUSTIFICATION OF HIGHWAYS RECONSTRUCTION

Abstract

Introduction. The analysis of the methods used at the stage of making design decisions for the reconstruction of highways is carried out.

The problem statement. The high cost of road construction and limited resources determine the rational allocation of them to provide maximum cost-effectiveness. This issue can be resolved within the partial reconstruction of the highway. By means of only reconstruction of sections that reduces the riding quality of road or the number of black spots compared to «complete» highway reconstruction (bringing all road elements in compliance with current regulatory requirements), it is possible to significantly save resources. At that, it is necessary to apply a comprehensive approach when adopting the project of complete or partial reconstruction taking into account the actual traffic conditions on the existing road, a detailed analysis of the causes of road accidents and environmental impact with a mandatory consideration of the future consumer impact of the forecasted work complex implementation on the highway as a whole.

Purpose. The purpose of the work is to study the methods used in Ukraine for justification of the highways reconstruction and for the analysis of their performance.

Materials and methods. Analyzing and research methods used in Ukraine for justification of the highways reconstruction.

Results. The expediency of the methods used in Ukraine for justification of the highways reconstruction is determined. The «weaknesses» of each method are identified.

Conclusions. The methods used in Ukraine include the implementation of a complex of works on reconstruction, bringing the technical and geometric parameters of the highway in accordance with the designated technical category. Herewith the technical parameters of the road which do not meet the regulatory requirements but provide the actual operational properties of the road are not taken into account.

Keywords: road, traffic volume, accident rate coefficient, safety coefficient, traffic capacity, reconstruction.

УДК 625.7/.8

Ярошук О. С., <https://orcid.org/0000-0003-1550-0131>

Харитоновна Н. М., <https://orcid.org/0000-0001-5732-3407>

Лозова Т. М., <https://orcid.org/0000-0002-6615-5932>

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ НА БЕЗПЕКУ ДИКОЇ ПРИРОДИ ТА ШЛЯХИ ЇЇ ВИРІШЕННЯ

Анотація

Вступ. У результаті розвитку дорожнього комплексу України та розширення мережі перевезень виникає необхідність прокладання автомобільних доріг поряд із місцями проживання і міграції диких тварин. Внаслідок чого існує небезпека скоєння дорожньо-транспортних пригод (ДТП) з наїздом на тварин. З метою захисту тварин і підвищення рівня безпеки руху на автомобільних дорогах загального користування необхідним є влаштування інженерних споруд, які б забезпечували безпечну міграцію тварин.

Проблематика. Країни Європи та інші країни мають великий досвід вирішення питань з конструювання, будівництва, облаштування переходів для міграції тварин через автомобільні дороги. Але в українській практиці питання влаштування цих інженерних споруд висвітлені недостатньо. Таким чином, виникла необхідність у дослідженнях і розробленні рекомендацій проектування та влаштування біопереходів в умовах природного середовища України.

Мета. З метою роботи є комплекс рекомендацій для влаштування інженерних споруд для забезпечення безпечного проходу тварин через автомобільні дороги, а також визначення місць, де першочергово необхідно будувати біопереходи.

Матеріали та методи. Вихідними матеріалами для роботи послужили результати виконаного моніторингу ДТП з наїздом на тварин на дорогах державного значення за останні 5 років.

Результати. Результатом роботи є комплекс рекомендацій, які з урахуванням чинного законодавства і нормативно-правових актів забезпечать влаштування інженерних споруд для проходу тварин через автомобільні дороги. Ці інженерні споруди пропонується влаштовувати в місцях максимальної кількості скоєння ДТП за участю тварин. Місця небезпечних ділянок можна побачити на карті автомобільних доріг України при використанні інтерактивного посилання, яке надається в розроблених рекомендаціях.

Висновки. У результаті виконаних досліджень було встановлено небезпечні, з точки зору зіткнення з тваринами, ділянки автомобільних доріг, створено інтерактивну карту їх розташування. Розроблені рекомендації, які покликані зменшити кількість таких ДТП, зберегти природний ландшафт, рослинність, різноманіття тваринного світу нашої країни.

Ключові слова: автомобільна дорога, біоперехід, міграція тварин, навколишнє природне середовище.

Вступ

Швидкий розвиток автодорожньої галузі сприяє покращенню життєвих умов людей, але водночас створює ряд проблем, оскільки автомобільні дороги поділяють місця проживання диких тварин, змінюють ландшафт, гідрологічні умови.

Дорожня екологія прагне краще розуміти взаємозв'язок автомобільних доріг і навколишнього середовища, вплив автомобільних доріг на безпеку дикої природи й учасників руху, середовище проживання тварин, цілісність природних територій.

У країнах Європи та Америки проблема безпечного існування тваринного світу на територіях, через які проходять автомобільні дороги звучить все нагальніше.

Вплив автомобільної дороги на популяцію диких тварин є предметом багатьох досліджень і зростаючого занепокоєння [1–4]. Цей вплив може бути різним: від втрати фрагментації місць проживання диких тварин до перешкод переміщенню тварин і їх загибелі.

У теперішній час багато доріг у світі є перешкодою збереження та виживання популяцій деяких рідкісних видів диких тварин, і ця проблема носить світовий характер.

Для зменшення зіткнень диких тварин і транспортних засобів влаштовуються різні інженерні споруди для міграції тварин. Ці споруди допомагають адаптуватися тваринам до змін в природних ареалах, пом'якшити вплив автомобільних доріг на тваринний світ.

Основна частина

Розширення мережі автомобільних доріг є об'єктивним і необхідним наслідком розвитку промисловості. Проте, дороги перетинають місця проживання багатьох місцевих видів дикої природи, що є причиною багатьох зіткнень у більшій кількості, ніж це усвідомлює більшість людей.

Зіткнення дикої природи та транспортних засобів — це зростаюча проблема на європейських та американських дорогах. Це представляє реальну небезпеку для людини і для тварин. Таке становище турбує, тому вже давно науковці шукають шляхи задоволення потреб подорожуючих, підтримання безпеки людини та збереження дикої природи.

Не всі водії повідомляють про зіткнення з тваринами, і не всі правоохоронні, природоохоронні та транспортні органи мають ресурси для збору детальної інформації про ДТП з наїздом на тварин. Крім того, багато постраждалих тварин відходять від дороги, перш ніж вони загинуть, і їх ніколи не знайдуть. Якщо ДТП за участю крупної тварини призводить до значних наслідків у першу чергу для здоров'я водіїв і пасажирів, може завдати шкоду самому транспортному засобу, то наїзд на тварин невеликого розміру можуть навіть не помітити.

У нашій країні також це питання набуває актуальності [5].

Україна має вигідне територіальне розташування з багатим різноманіттям рослинного та тваринного світу. Загальна площа лісового фонду України (землі лісгосподарського призначення) становить 10,4 млн га, з яких вкритих лісовою рослинністю — 9,6 млн га. Лісистість території країни становить 15,9 %. За оцінками експертів, саме ця категорія земель займає майже 2/3 площі природних і напівприродних територій, що складають 20–22 % від площі України. Таким чином, основним резервом для розширення природно-заповідного фонду є саме ліси. Сьогодні загальний відсоток заповідності лісів становить 15,7 %, завдяки чому 44,8 % природно-заповідного фонду України знаходиться на землях лісгосподарського призначення [6].

Основними принципами охорони природного світу країни є збереження просторової та

видової різноманітності та цілісності природних об'єктів і комплексів. Особливій державній охороні підлягають території та об'єкти природно-заповідного фонду України.

В Україні існує біля 8 500 територій та об'єктів, які складають природно-заповідний фонд (ПЗФ) країни. Вони відносяться до різних категорій: біосферні та природні заповідники, національні природні парки (НПП), регіональні ландшафтні парки (РЛП), заказники, заповідні урочища, пам'ятки природи, парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва, дендропарки, ботанічні сади та зоопарки.

Основним способом запобігання негативних впливів автомобільних доріг на тварин, що особливо потребують охорони, є прокладання траси в обхід місць відстою, розмноження тварин, що охороняються. Обхід, що не проходить через охоронні ліси здійснюється на максимально можливій відстані (не менше 1,5 км), у тому числі по узлісся або на його околиці. Якщо це не можливо, необхідно влаштовувати інженерні споруди для забезпечення проходу диких тварин з максимальним збереженням ландшафту й умов для звичних шляхів міграції тварин.

Переходи для тварин дозволяють диким тваринам безпечно переходити дороги та інші небезпечні ділянки ландшафту. Це допоможе уникнути загибелі тварин на дорогах під час міграцій і необхідних для виживання переміщень, а учасникам дорожнього руху уникнути ДТП.

Питання як організувати міграційні переходи, як вони повинні бути облаштовані, які вони повинні бути — ці питання недостатньо опрацьовані у вітчизняній практиці. Тому під час проектування інженерних споруд для міграції тварин необхідно звертатися до досвіду вирішення цих питань країнами Європи, США та Канади.

Для визначення місця, де необхідно в першу чергу будувати біопереходи для тварин, був проведений моніторинг ДТП з встановленням ДТТ з наїздом на диких тварин, земноводних, рептилій тощо. Характерною особливістю зіткнень із тваринами є зосередження їх на невеликих ділянках за протяжністю автомобільних доріг (від 0,6 км до 0,8 км), побудованих на сформованих шляхах міграції.

Для визначення ділянок концентрації ДТТ з наїздом на тварин на автомобільних дорогах державного значення загального користування виконано аналіз даних ДАІ ГУ МВС України за останні п'ять років [7]. У результаті було побудовано діаграми для кожної із автомобільних доріг України, які дозволили виділити ділянки з найбільшою кількістю ДТТ з наїздом на тварин на кожній автомобільній дорозі. Приклади побудованих діаграм наведені на рисунку 1.

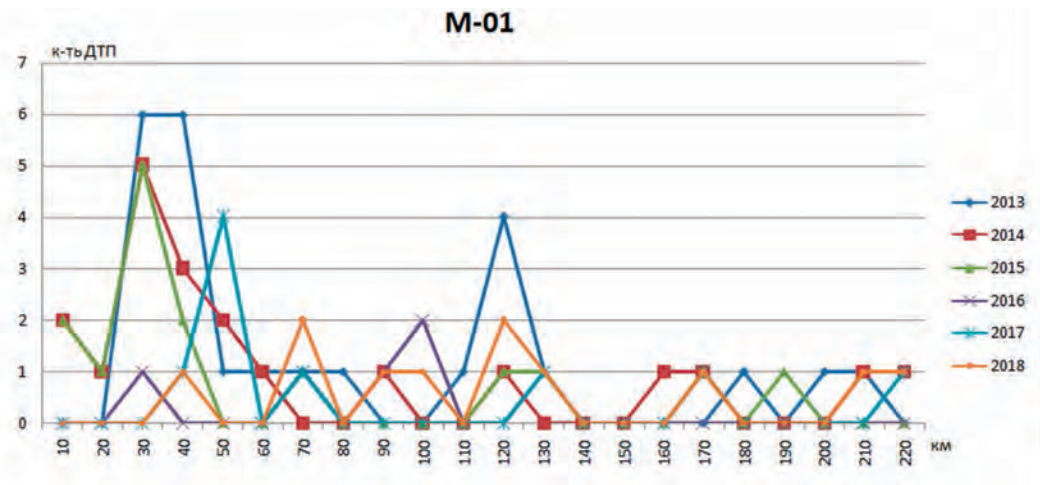


Рисунок 1, аркуш 1 — Діаграма кількості ДТП з наїздами на тварин

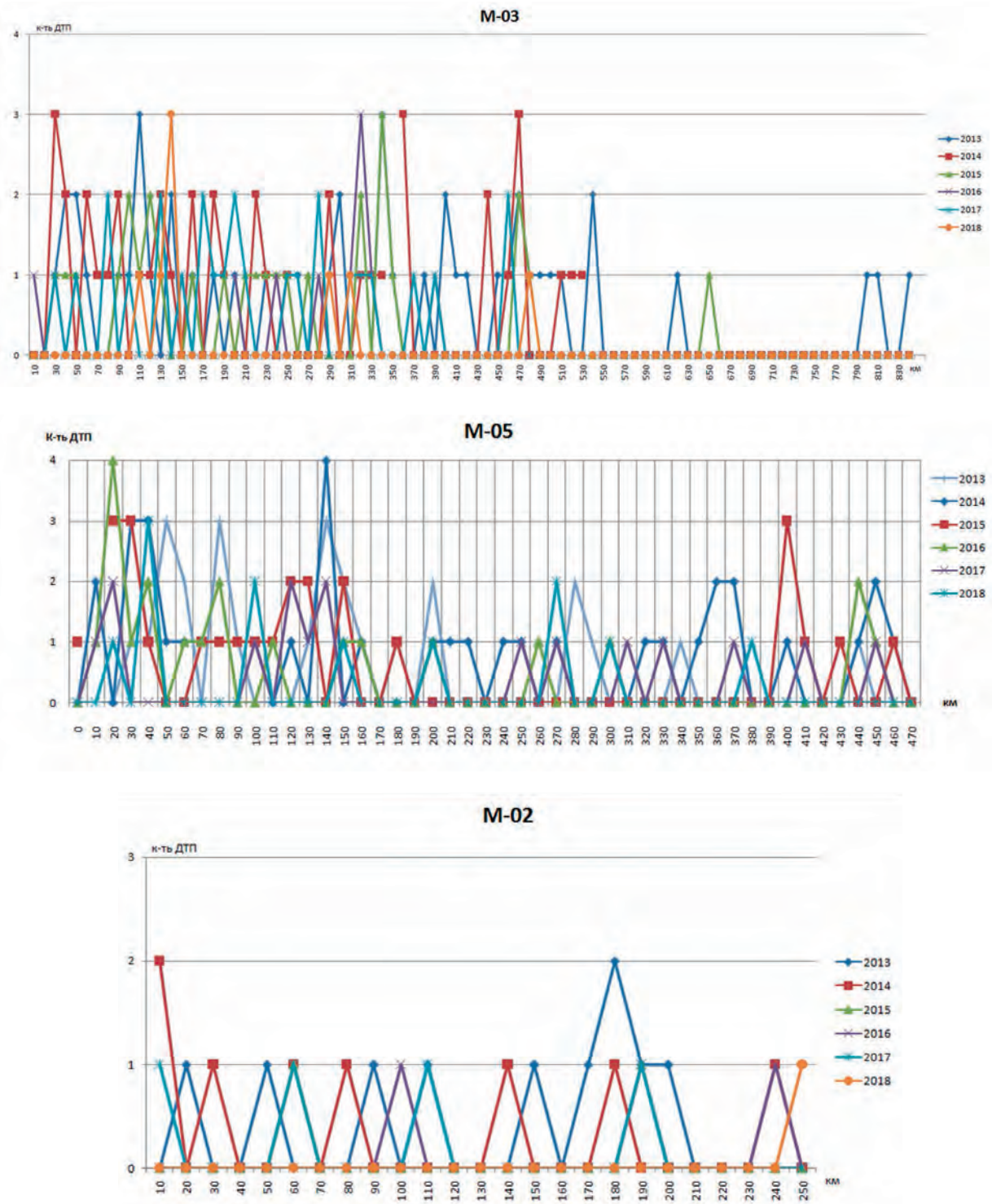


Рисунок 1, аркуш 2

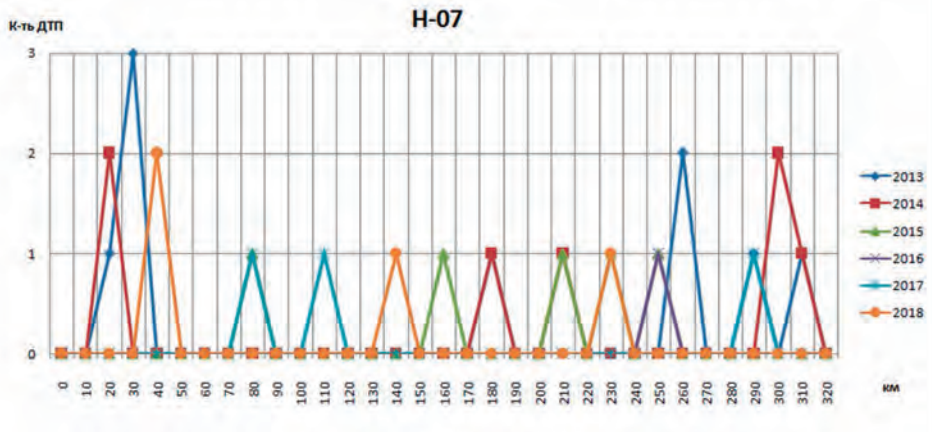
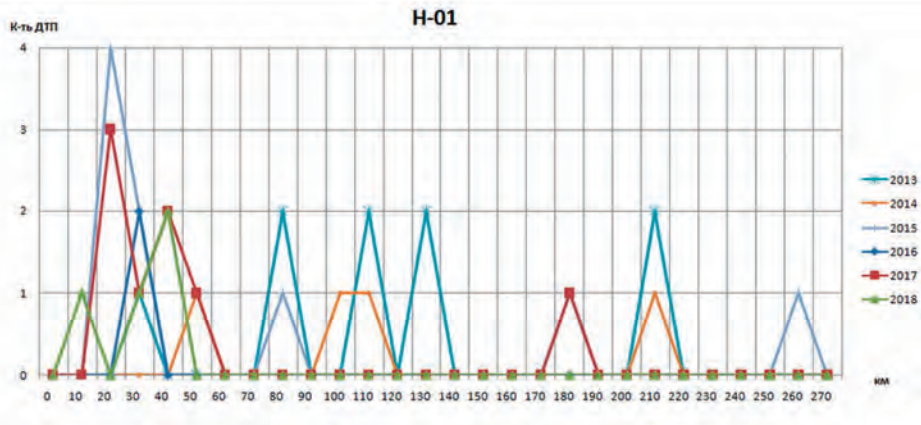


Рисунок 1, аркуш 3

Для відображення в географічній площині зазначені ділянки, через просторові координати та за допомогою програмного забезпечення Arc GIS, були переформатовані та адаптовані для завантаження в Google Map.

На основі цих даних було побудовано маршрути небезпечних ділянок автомобільних доріг загального користування.

За допомогою програми Google Earth отриманим маршрутам було присвоєно кольори згідно ступеня концентрації ДТП:

- жовтий колір (від 0 випадків до 4 випадків ДТП) — малонебезпечні ділянки;
- синій колір (від 5 випадків до 8 випадків ДТП) — небезпечні ділянки;
- червоний колір (9 випадків і більше ДТП) — дуже небезпечні ділянки.

Карта розміщення небезпечних ділянок була завантажена в програму Google Map. Інтерактивне посилання дасть можливість користувачам бачити всю мережу автодоріг України з проблемними ділянками (рис. 2 і рис. 3).

Інтерактивне посилання на карту:

<https://bitly.su/ZpNu4VqR>

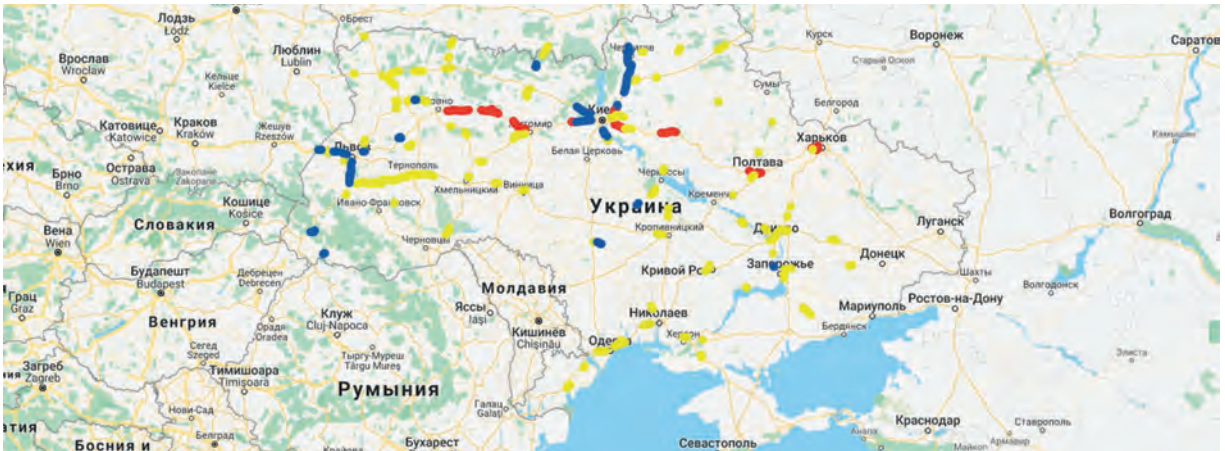


Рисунок 2 — Карта автодоріг України з ділянками скоєння ДТП за участю тварин

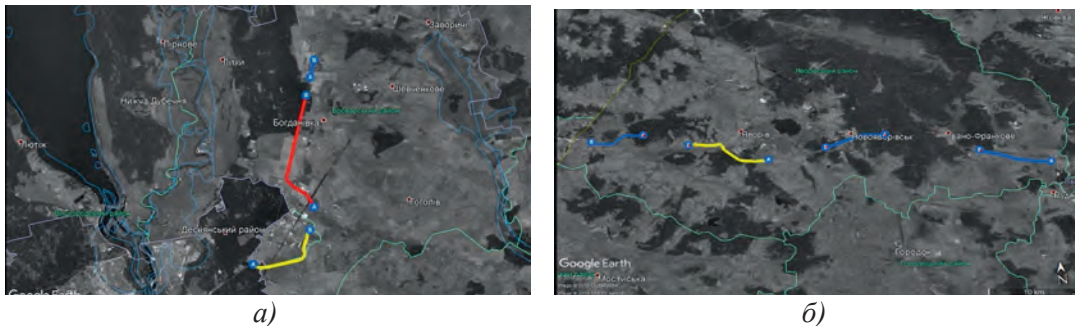


Рисунок 3 — Ділянки скоєння ДТП: а) автомобільна дорога М-01, б) автомобільна дорога М-10

До небезпечних ділянок автомобільних доріг можна віднести:

- ділянка автомобільної дороги М-01, яка проходить по Національному парку «Залісся», де відбувається міграція тварин, що є підставою для влаштування біопереходу;
- ділянки автомобільних доріг М-03 і М-05, що проходять по лісовим масивам, де рекомендовано влаштування біопереходів;
- ділянки автомобільних доріг М-03, М-05, М-06, які проходять через поле, де рекомендовано влаштування сітки-огорожі.

На малонебезпечних і небезпечних ділянках доріг пропонується встановлення попереджувальних знаків.

Які біопереходи найбільш ефективні?

Правильне трасування доріг та їх проектування неможливе без урахування особливостей поведінки і повадок тварин.

Більшість уваги звертається на моніторинг, який направлений на спостереження за окремими видами тварин, це може не враховувати інші види та популяції в районі, який розглядається. Тому треба врахувати всі види тварин, які проживають на даній території.

Не існує єдиного рішення. Успішна стратегія пом'якшення існування дикої природи поряд з автомобільною дорогою вимагає детального, конкретного локального аналізу питання та часто передбачає поєднання різних видів пом'якшувальних заходів. Тим не менш, зі світового досвіду можемо бачити, що біопереходи значно зменшують кількість ДТП (до 80 %) [3].

Інженерні споруди для захисту тварин поділяють на надземні і підземні (рис. 4).



а)



б)

Рисунок 4 — Інженерні споруди для міграції тварин: а) екодук; б) вхід у тунель для проходу дрібних тварин через автомобільну дорогу

Огорожі призначені безпосередньо як для захисту водіїв від раптової появи тварин на проїзній частині, так і для направлення тварин до місць переходів через дорогу підземного або надземного типів.

За умовами розташування огорожі для тварин бувають:

- для виключення потрапляння тварин на проїзну частину (встановлюють на ландшафтних шляхопроводах, екодуках і вздовж дороги);
- напрямні, які розташовувані на підходах до транспортних споруд для переходу тварин через дорогу в різних рівнях.

За способом затримування проходу тварин огорожі поділяють на:

- утримуючі;
- відлякуючі (з електропроводів, запахом тощо).



а)



б)

Рисунок 5 — Влаштування огорожі: а) захисна огорожа для захисту малих і середніх ссавців б) захисна огорожа та канал підземного переходу для дрібних тварин

Висновки

Відповідно до природоохоронного законодавства інтереси охорони природи та ландшафту повинні враховуватися на всіх етапах життєвого циклу автомобільної дороги. Особливо важливо це на етапі проектування автомобільних доріг, що проходять через лісові масиви, національні парки, інші екологічно вразливі території, а також при подоланні водних перешкод. Автомобільна дорога загрожує диким тваринам у двох відношеннях: погіршенням якості середовища існування

та небезпекою зіткнення тварини з транспортним засобом або наїзду на тварину.

Дослідження шляхів міграції тварин, а також аналіз місць скоєння дорожньо-транспортних пригод із наїздом на тварин є необхідним при проєктуванні нових і реконструкції існуючих автомобільних доріг загального користування.

Основний принцип заходів із захисту диких тварин на дорозі — максимальне збереження природного ландшафту та виключення безпосередніх впливів дороги на середовище існування тварин.

Список літератури

1. Damian Beben Crossings Construction as a Method of Animal Conservation. *6th Transport Research Arena* (April 18-21, 2016). Opole, 2016. P. 18-21.
2. Documents for the mitigation of habitat fragmentation caused by transport infrastructure. Technical prescriptions for wildlife crossing and fence design (second edition, revised and expanded). Madrid, 2016. 123p. URL: http://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/technical_prescriptions_wildlife_crossing_tcm7-437077.pdf (дата звернення: 20.04.2020).
3. Huijser M.P., P. McGowen, J. Fuller, A. Hardy, A. Kociolek, A.P. Clevenger, D. Smith and R. Ament. Wildlife-vehicle collision reduction study. Report to Congress. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Washington, 2008. URL: <http://www.tfhr.gov/safety/pubs/08034/index.htm> (дата звернення: 20.04.2020).
4. Wildlife crossing structure handbook. Design and Evaluation in North America. No. FHWA-CFL/TD-11-003. Lakewood, 2011. 211 p. URL: https://roadecology.ucdavis.edu/files/content/projects/DOT-FHWA_Wildlife_Crossing_Structures_Handbook.pdf (дата звернення: 20.04.2020).
5. Шаповалов А.Л., Бондар Т.В. Обґрунтування організації біопереходів для тварин. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків, 2011. N 52. С. 182-185.
6. Василюк О., Драпалюк А., Парчук Г., Ширяєва Д. За заг. редакцією Кравченко О. Виявлення територій, придатних для оголошення об'єктами природно-заповідного фонду. Львів, 2015, 80 с. URL: http://epl.org.ua/images/pdf/people/1767_EPL_Posibnyk_Fond_Zapovidnuk.pdf (дата звернення: 20.04.2020).
7. Дані Галузевої бази даних обліку ДТП (RMS) Укравтодора.

References

1. Damian Beben Crossings Construction as a Method of Animal Conservation. *6th Transport Research Arena* (April 18-21, 2016). Opole, 2016. P.18-21. [in Polish].
2. Documents for the mitigation of habitat fragmentation caused by transport infrastructure. Technical prescriptions for wildlife crossing and fence design (second edition, revised and expanded). Madrid, 2016. 123p. URL: http://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/technical_prescriptions_wildlife_crossing_tcm7-437077.pdf (Last accessed: 20.04.2020) [in English].
3. Huijser M.P., P. McGowen, J. Fuller, A. Hardy, A. Kociolek, A.P. Clevenger, D. Smith and R. Ament. Wildlife-vehicle collision reduction study. *Report to Congress. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration*. Washington, 2008. URL: <http://www.tfhr.gov/safety/pubs/08034/index.htm> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].
4. Wildlife crossing structure handbook. Design and Evaluation in North America. No. FHWA-CFL/TD-11-003. Lakewood, 2011. 211 p. URL: https://roadecology.ucdavis.edu/files/content/projects/DOT-FHWA_Wildlife_Crossing_Structures_Handbook.pdf (Last accessed: 20.04.2020) [in English].
5. Shapovalov A.L., Bondar T.V. Obgruntuvannia orhanizatsii bioperekhodiv dlia tvaryn

(Rationale for the organization of biotransitions for animals). *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorožnogo universiteta*. Kharkiv, 2011. N 52. P. 182-185. [in Ukraine].

6. Vasyliuk O., Drapaliuk A., Parchuk H., Shyriaieva D., under the general edition Kravchenko O. *Vyivlennia terytorii, prydatnykh dlia oholoshennia ob'ektamy pryrodno-zapovidnoho fondu* (Identification of areas suitable for declaring objects of nature reserve fund). L'viv, 2015, 80 p. URL: http://epl.org.ua/images/pdf/people/1767_EPL_Posibnyk_Fond_Zapovidnuk.pdf (Last accessed: 20.04.2020). [in Ukraine].

7. Dani Haluzevoi bazy danykh obliku DTP (RMS) Ukravtodora (Data of the Sectoral Accounting Database of road accident (RMS) of Ukravtodor (Dani Haluzevoi bazy danykh obliku DTP (RMS) Ukravtodora) [in Ukraine].

Olesia Yaroshchuk, <https://orcid.org/0000-0003-1550-0131>

Nataliia Kharytonova, <https://orcid.org/0000-0001-5732-3407>

Tetiana Lozova, <https://orcid.org/0000-0002-6615-5932>

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

RESEARCH OF THE IMPACT OF THE ROAD ON WILDLIFE SAFETY AND WAYS TO SOLVE IT

Abstract

Introduction. As a result of the development of the road complex of Ukraine and the expansion of the transportation network, it is essential to construct motor roads near the places of habitation and migration of wild animals. As a result, there is a risk of wildlife-vehicle collisions. In order to protect animals and increase traffic safety on public roads, it is necessary to construct engineering structures to ensure animal migration.

Issue statement. European and other countries have a great expertise in issues such as the organization of ecoducts, how they should be equipped, and their design. But in Ukrainian practice, the issues of the engineering structures construction for animal migration are not sufficiently covered. Thus, there was a necessity in investigations and development of recommendations for design and construction of ecoducts for animals in conditions of Ukrainian natural environment.

Objective. The aim of the work is a series of guidelines for the construction of engineering structures to ensure the passage of animals across the roads, as well as to identify places where it is necessary to construct ecoducts first and foremost.

Materials and methods. In order to identify the places where it is necessary to primarily construct ecoducts for animals, monitoring of accidents has been conducted over the past 5 years for the identification of wildlife-vehicle collisions for the main motor roads of Ukraine.

Based on these data, routes of dangerous sections of public roads have been established.

Results. The result of the work is a series of guidelines, taking into account the current legislation and regulatory acts, which will ensure the construction of engineering structures for the passage of animals across the roads. It is proposed that these engineering structures should be constructed at the areas with the maximum number of accidents involving animals. Black spots can be seen on the map of motor roads of Ukraine using an interactive link which is provided in the developed guidelines.

Conclusions. The developed guidelines will ensure reduction of the number of road accidents, promote environmental protection, preservation of the natural landscape, vegetation, diversity of animal life in our country.

Key words: motor road, ecoduct, migration of animals, natural environment.

УДК 624.21/.8:504.055

Матус С. А.,¹ координатор з питань екологічної політики, <https://orcid.org/0000-0003-3678-0283>

Морозов А. В.,² аспірант, <https://orcid.org/0000-0001-5596-6193>

Морозова Т. В.,² канд. біол. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0003-4836-1035>

Рутковська І. А.,² канд. техн. наук, проф., <https://orcid.org/0000-0001-7832-4222>

Хрутьба В. О.,² д-р. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-8121-2042>

¹ГС «Всесвітній фонд природи Україна», м. Київ, Україна

²Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ІНТЕГРАЦІЇ ЕКОДУКІВ В ДОРОЖНЮ МЕРЕЖУ УКРАЇНИ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРИЗНОМАНІТТЯ

Анотація

Вступ. Одним із основоположних принципів сталого розвитку є передбачення та запобігання шкоди довкіллю, а також ліквідація наслідків і запобігання шкоди довкіллю, згідно з яким у випадку унеможливлення уникнути шкоди — збиток необхідно мінімізувати, стримати його поширення і якнайшвидше його усунути.

Проблематика. Фрагментація ландшафтів на відокремлені ділянки при будівництві автомобільних доріг створює одну з найбільших загроз для збереження біорізноманіття. Результатом зміни використання земель, зокрема, інтеграції дорожньої інфраструктури в ландшафт, є втрата та деградація ареалів існування, забруднення на прилеглих територіях, змінений мікроклімат і гідрологічні умови, посилення активності людини на суміжних територіях, смертність диких тварин на дорогах. Крім того автомобільні дороги створюють бар'єри для вільної міграції тварин, призводить до ізоляції популяції та значного скорочення чисельності тварин. У той самий час інтеграція національної транспортно-дорожньої мережі України в європейську вимагає вирішення цих проблем і влаштування екодуків (біопереходів) при будівництві нових чи реконструкції існуючих автомобільних доріг.

Отже, існує необхідність формування методичних підходів, які з урахуванням сучасних тенденцій та зарубіжного досвіду, забезпечать мінімізацію негативного впливу дорожньої інфраструктури на дику природу.

Мета. Імплементация екодуків, через які представники фауни можуть перетинати дороги без ризику смертності у дорожню інфраструктуру. Це дозволяє деяким особинам розширювати свої ареали та переміщуватися між секторами, в яких вони можуть отримати життєво необхідні ресурси, а також полегшує розповсюдження чи міграцію особин між різними популяційними центрами певного виду.

Матеріали та методи. Основними методами дослідження є застосування теоретичних загальнонаукових підходів для вивчення містобудівних об'єктів: аналіз і синтез міжнародних та вітчизняних науково-теоретичних робіт, документації ЄС (хартій, вимог до проектування), української нормативно-правової бази, літературних джерел; збір та аналіз статистичних даних для виявлення небезпеки впливу дорожньої інфраструктури на біорізноманіття та визначення цінності природного ландшафту території побудови екодуку.

Результати. Результатом роботи є основні положення методичних підходів та практичних рекомендацій, які з урахуванням інтеграції вимог дикої природи на етапі планування розвитку

дорожньої інфраструктури є найкращим і найпростішим способом розроблення рішень про кост-ефективність, що сприятиме дефрагментації середовищ існування видів і збереження біорізноманіття.

Висновки. Влаштування екодуків (біопереходів) для об'єктів дикої природи на автомагістралях України є одним з інструментів запобігання надмірної фрагментації ландшафту дорожньою інфраструктурою. При вірному проектуванні, плануванні, облаштуванні в необхідних місцях, урахуванні потреб всіх без виключення вразливих видів, органічному вплетанні у ландшафт вони сприяють дефрагментації ареалів, що в свою чергу сприяє їх релевантності. Ці споруди є елементами «зеленої інфраструктури», розширення якої рекомендується Директивою Європейського Союзу 92/43/ЄС від 21 травня 1992 «Про збереження природних оселищ та видів природної фауни і флори».

Ключові слова: автомобільна дорога, біорізноманіття, дорожня інфраструктура, екодук, ландшафт, фрагментація.

Вступ

Отримання екологічно стійкої дорожньої інфраструктури та пом'якшення несприятливих наслідків її діяльності для дикої природи передбачає цілісний підхід, який інтегрує економічні, соціальні й екологічні чинники ландшафту. Отже, одним із викликів для фахівців дорожньої галузі, проєктувальників автомобільних доріг, інженерів та екологів є розроблення необхідних інструментів для оцінки, попередження та пом'якшення наслідків дорожнього будівництва для екологічних систем, формування новітнього підходу до проектування автомобільних доріг, який поєднує інженерні та екологічні рішення щодо збереження біорізноманіття.

Пом'якшення наслідків фрагментації природних ареалів дорожньою інфраструктурою є відносно новим науковим напрямом, який потребує різностороннього аналізу. Це обумовлюється перш за все тим, що існують суттєві відмінності між країнами щодо культурного, політичного та наукового рівня розвитку дорожньої інфраструктури на місцевому, регіональному та національному рівнях. Рішення однієї країни може бути мало ефективним або недоцільним для іншої. Необхідно адаптовувати та пристосовувати заходи до географічного контексту, а також до конкретних потреб і можливостей місця розташування автомобільної дороги, знайти баланс між загальним рішенням, з одного боку, і детальними місцевими або регіональними, з іншого.

Щоб зберегти середовище існування дикої фауни та запобігти дорожньо-транспортним пригодам за участі тварин в транспортній інфраструктурі європейських країн, з'явився новий об'єкт — екодук (Кошлятий, 2018). Він є частиною більш широкого поняття — *wildlifecrossing* і є спеціально побудованою конструкцією, яка дозволяє тваринам, птахам і навіть комахам безпечно перетинати створені людиною технічні бар'єри. Таким чином, екодуки з'єднують середовища існування диких тварин і дозволяють уникати їх фрагментації.

Основна частина

Дорожня мережа поділяє природні середовища існування біоти на невеликі ділянки та створює бар'єри між ними. Фрагментація місць існування загрожує біорізноманіттю (Оселищна концепція, 2012), першочергово це впливає на мобільні види, на трав'яні тварини, на екологічні функції зоохорів, на міграційні процеси. Це може призвести до негативних наслідків, зокрема, невеликі ареали не зможуть підтримувати життєздатність популяції, фрагменти будуть настільки

ізолювані один від одного, що унеможливиться обмін генетичною інформацією між популяціями. Це, у свою чергу призведе до ізоляції відокремлених популяцій та підвищення вразливості видів (місцеве та регіональне вимирання). Саме тому, фрагментація середовища існування та її наслідки стали однією з найсерйозніших глобальних загроз біологічному різноманіттю.

Екодук є технічною спорудою (міст або тунель), яка побудована з метою забезпечити перехід тварин через автомобільну дорогу. Вони дозволяють зберегти єдність середовища існування тварин і знижують ймовірність їх появи на дорозі, що могло б призвести до дорожньо-транспортної транспортної пригоди (ДТП). Екодук вбудовується у природний ландшафт, екосистему, біоценоз, які об'єднані у єдину систему, для збереження потоків речовини, енергії та інформації для міграції тварин та забезпечення функції відтворення, динамічної рівноваги в умовах взаємодії соціосфери, біосфери та техносфери. До складу такої системи також входять штучні ландшафти, що мають особливу цінність для збереження біорізноманіття, підтримки геосистемного балансу та з погляду науки й естетики. Отже, головна роль екодуків — підтримка екологічного балансу, досягнення біогеоценологічної рівноваги та збереження біорізноманіття.

Основним принципом сталого розвитку транспортної інфраструктури є максимальне збереження природного ландшафту і виключення безпосередніх впливів дороги на середовище існування тварин [5]. Правильне трасування і проєктування доріг у місцях існування диких тварин неможливе без урахування їх етологічних особливостей. При проведенні інженерно-екологічних вишукувань необхідно розробляти ситуаційні схеми, на яких відображати шляхи міграції тварин. Залежно від виду тварини вони переміщуються поодиноці, невеликими групами або великими стадами, що необхідно враховувати при конструюванні спеціальних переходів для них.

У літературі наведено принципи проєктування і розміщення конструкцій мостових переходів для тварин (Jędrzejewski, 2006; ОДМ 218.6.023-2017; COST 341, 2003). У цілому, споруди для захисту дикої природи від дорожньої інфраструктури та зменшення фрагментації середовищ існування можна розділити на дві групи: споруди для безпосередньої дефрагментації, що забезпечують зв'язок між ареалами, які порушені дорожньою інфраструктурою (шляхопроводи, підземні переходи) та споруди, які забезпечують підвищення безпеки дорожнього руху. Однак, відмінність між групами споруд розмита, оскільки в кожному випадку наявні супутні негативні наслідки. Наприклад, огорожі є спорудами для зменшення кількості зіткнень тварин з автомобілями, водночас вони збільшують фрагментацію середовища. Отже, огорожі можуть розглядатися як міра пом'якшення роздрібненості лише в поєднанні з *wildlifecrossing*, які компенсують їх негативний бар'єрний ефект. Споруди, які спрямовані на зменшення смертності тварин, передбачають адаптацію інженерних споруд (водостоки, канали та яри поряд із дорогами), які можуть бути смертельними пастками, особливо для дрібних тварин. Модифікація інженерних споруд найчастіше зменшує бар'єрний ефект доріг, більшість з них не є дорогами, але можуть дефрагментувати природне середовище.

Екодуки розробляють спеціально для тварин, з іншого боку, шляхопроводи, мости, водостоки також можуть бути модифіковані для перетину автошляхів тваринами. Усі з'єднувальні елементи (тунелі, віадуки, потокові та річкові переходи, водостоки та проходи), розроблені спеціально для тварин розглядаються ізолювано, а повинні бути інтегровані в «концепцію проникності», для підтримання взаємодії всередині та між популяціями. Ця концепція підкреслює зв'язок між ареалами, принаймні, на регіональному рівні та враховує не лише дорожню інфраструктуру, а й шляхи міграції, розподіл місць існування та потенційних бар'єрів. Екодуки можна розглядати як невеликі, але важливі елементи, які використовуються для з'єднання фрагментів ландшафту

шляхом сприяння переміщенню тварин по транспортній інфраструктурі.

Основними пріоритетами для будівництва екодуків на автошляхах є:

- втрата місць існування тварин і значні негативні наслідки;
- смертність на дорогах і чутливість тварин до бар'єрів;
- погіршення загальної проникності ландшафту (особливо у сільській місцевості зв'язок між ареалами значно погіршується з розвитком інфраструктури).

Вибір найбільш оптимального типу проходу об'єктів фауни вимагає врахування ландшафту, місць існування та цільових видів. Все це необхідно оцінювати на місцевому, регіональному, національному та міжнародному рівнях як компонент оцінки впливу на довкілля. До прикладу, великий ландшафтний міст може бути єдиною спорудою для підтримання функціонального зв'язку, якщо міжнародно-важливий екокоридор переміщення ссавців перерізаний автомагістраллю. Натомість, невеликий водосток може бути достатнім для підтримки міграційного коридору для місцево важливої популяції земноводних.

Водночас, наявність лише однієї споруди в більшості випадків є недостатньо ефективним способом нівелювання наслідків фрагментації ареалів. Зазвичай, необхідний комплекс заходів, який вирішує проблеми як на конкретних ділянках автомобільної дороги, такі для дорожньої мережі в цілому. Комбінація різноманітних споруд, придатних для різних груп тварин, часто буває найкращим рішенням. Інженерний підхід частково визначається топографією, зокрема, на горбистій місцевості — надземні або підземні шляхи, тоді як на рівнинних ландшафтах підземні переходи побудувати простіше, якщо дозволяє рівень ґрунтових вод.

Вибір типу конструкції екодуку залежить від пов'язаних між собою місць існування та цільових видів. Перевагою надземних переходів є кращі умови для формування фітоценозів, що сприяє охопленню більш широкого спектру видів. Проте, якщо кліматичні умови посушливі, то для гідрофілів краще підходять підземні переходи. У ході моніторингових досліджень (COST 341, 2003) встановлено, що при близькому розміщенні переходів і проходів, лосі та олені віддають перевагу шляхопроводам, норні тварини — проходам.

Щільність розміщення біопереходів щодо забезпечення ефективного досягнення екологічних цілей, недостатньо вивчена, і потребує подальших досліджень. У переважній більшості, вибір місця влаштування переходів здійснюється на основі виявлення аварійно-небезпечних ділянок доріг (концентрації ДТП) і місць перетинів шляхів міграції з дорогою. Зазвичай перехід може розташовуватися над або під дорогою в заліснених територіях чи в цілісних природно-територіальних комплексах. Прийняття рішення щодо кількості та типу необхідних споруд залежить від видів та розподілу типів середовищ існування на даній території. Як орієнтир можна використовувати поведінку цільових видів. Площа міграції тварин обмежена навіть для рухливих видів, а для більшості безхребетних вона становить 200–300 м, для великих тварин селітебні зони можуть обмежувати цей діапазон. Отже, щільність розміщення екодуків є визначальним моментом прийняття рішень при плануванні цих споруд і має відповідати природному потенціалу місцевості.

Рекомендований крок встановлення біопереходу: для великих ссавців — 2 км, для середніх — 1 км, для дрібних — 0,5 км, для земноводних — 100 м (Drogi a srodowisko, Бобрун, 2015). Відстань між послідовно розміщеними переходами є величиною змінною від 1,5 км до 15 км (ОДМ218.6.023-2017), але не частіше, ніж через 3 км. В особливих випадках при певному поєднанні ландшафту, рельєфу місцевості і місць існування тварин інтервал між надземними переходами може становити 200–300 м, якщо неможливо чітко визначити переважаючу популяцію — інтервал 3 км. Інтервали між переходами залежать від виду тварин та природоохоронного статусу території:

природні заповідники 3–5 км (лось, олень), 1,5–2,5 км (косуля, кабан), 1 км (лисиця, заєць); національні парки 5–8 км (лось, олень), 2–4 км (косуля, кабан), 1 км (лисиця, заєць); природні парки 8–15 км (лось, олень), 3–5 км (косуля, кабан), державні заказники 5 км (косуля, кабан), пам'ятки природи — 1–3 км (лисиця, заєць).

Визначаючи частоту встановлення біопереходу, слід враховувати всі можливості для переходу тварин через дорожню інфраструктуру, включаючи вже існуючі. Загалом щільність екодуків має бути вищою у природних районах (ліси, водно-болотні угіддя та на територіях із традиційним землеробством), ніж у регіонах інтенсивного сільськогосподарського виробництва та щільно забудованих районах. У випадках, коли екодуки необхідні для підтримки загальної проникності ландшафту (у районах, де існує багато штучних бар'єрів через дорожню інфраструктуру або забудовані території), необхідно приймати інтегровані рішення з урахуванням усіх відкритих коридорів. У цілому при плануванні будівництва біопереходів або для формування рекомендацій щодо щільності їх влаштування, необхідно враховувати: фактичні та потенційні коридори розповсюдження та переміщення великих і середніх ссавців; провести ранжування значення регіонів; оцінити використання екодуків та етологію. На підставі отриманих даних здійснити категоризацію території для вразливих видів.

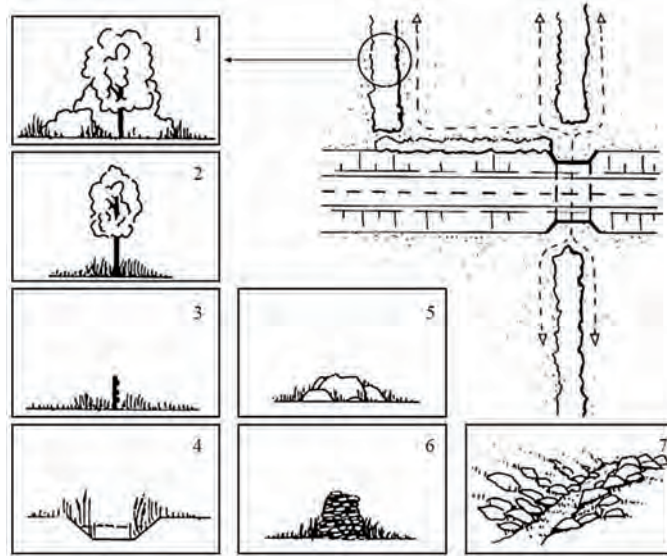
Місце розташування екодуків обґрунтовують на основі наявних даних щодо шляхів міграції тварин і розподілу ареалів видів. У місцях виявлення слідів існування тварин — якомога ближче до них. Найчастіше вивчення орографічних особливостей та ландшафтної структури може допомогти визначити ймовірні міграційні маршрути, зокрема, дно долини, струмки, живоплоти та густі ліси. Спеціальні методики дослідження дозволяють визначити коридори міграції тварин, наприклад, фото пастки, екскременти, сліди зубів тощо.

У випадку, якщо біоперехід будується з метою з'єднати/зв'язати фрагменти ландшафту, то він повинен забезпечувати сполучення з обох боків запланованої структури. Також необхідно враховувати вже існуючі бар'єри, щоб забезпечити доступ до біопереходу та суцесійні процеси на даній території та можливі кліматичні зміни. Перш за все при визначенні місця спорудження екодуків, необхідно оцінити і врахувати всі відомі «конфліктні точки». У випадку малої щільності розміщення біопереходів доцільно визначити додаткові місця їх розташування, враховуючи специфіку регіону.

Екодуки повинні відповідати існуючому ландшафту та зв'язувати фрагменти за допомогою «направляючих» структур, що збільшує ймовірність їх використання тваринами. Для цього необхідно усунути/пом'якшити бар'єри, що перешкоджають тваринам пересуватися. За наявності інших інфраструктурних елементів, необхідно забезпечити комплексний підхід до дефрагментації території.

Ефективність використання тваринами біопереходів залежить від орієнтації на вхід. В якості додаткових екологічних чинників рекомендовано використовувати лінійні структури, що їх спрямовують та забезпечують укриття (рис. 1).

У конфліктних зонах екопереходи забезпечують тісний зв'язок між біотопами, з метою охоплення достатньо великих територій або більшості популяцій (GreenBridges, 2018), що забезпечує збереження генофонду популяцій та відповідний рівень їх генетичної мінливості. Нарешті екодуки забезпечують форичні зв'язки у біоценозах, до прикладу, зоохори можуть розповсюджувати насіння рослин (консортивні взаємозв'язки).



1 — живопліт; 2 — ряд дерев; 3 — огорожа для великої рогатої худоби; 4 — канава;
5 — каміння; 6 — кам'яна стіна; 7 — невеликий струмок

Рисунок 1 — Додаткові екологічні чинники (лінійні структури) (за Oord 1995)

З метою нівелювання бар'єрного ефекту лісової зони на відкритій місцині, рекомендовано формувати фітоценоз вздовж або по діагоналі, ширина щілин 3–5 м. Велике значення має затінення території на переходах та у проходах, тому при проектуванні допоміжних споруд і підходів до екодуків необхідно враховувати сонячні та тіністі сторони. Деревя в силу аменсалізму значно затіняють територію, тому у кожному конкретному випадку вони розміщуються по-різному. А також в зоні досяжності тварин мають бути місця випадкового випасу (луки, пустки). Переважно використовують «мозаїчні конструкції» та зони проникнення.

Оскільки багато видів фауни уникають темряви, то на виході і на вході портал повинен достатньо освітлюватися. Ця вимога тісно корелює з наявністю рослинності в проходах, оскільки рослини переважно геліофіти. Отже, яскраво освітлені підземні проходи з постійним фітоценозом — найкращі для переходу тварин. Рекомендовано насипи біля екодуків очищати від дерев і відсипати із субстрату з низьким вмістом поживних речовин. Наявність кущів, заростей не повинна затіняти проходи. За необхідності ширина полоси трав'янистої рослинності в середині проходу або на вузьких мостах може бути збільшена. У деяких випадках доречні отвори для невеликих тварин у захисних стінах (отвори біля землі, у заглибленнях), як наприклад гравійні габіони, які проєктуються так, щоб були проникними для дрібних тварин. Захист від подразнення об стіни, якщо вони мають шершаву поверхню (дошки з корою) також може слугувати елементом життєвого простору тварин.

У деяких випадках під біопереходи можуть бути пристосовані існуючі інженерні споруди. Це можуть бути два потоки руху, наприклад, одна дорога, що перетинає іншу з естакадою. Дорожні мости або водостоки здебільшого не використовуються тваринами для перетину дороги оскільки вони не забезпечують відповідність вимогам фауни. Однак, за умови врахування потреб тварин, їх можна адаптувати. Такі шляхи, що поєднують потоки фауни та дорожнього руху або фауни та води, називаються проходами спільного користування.

Для віадуків та інших великих споруд часто потрібна незначна адаптація, щоб вони були справжньою альтернативою для конкретних видів. Модифіковані структури можуть допомогти підвищити проникність інфраструктури за невеликих додаткових витрат.

Багато дизайнерських рішень, що стосуються конкретних проходів для представників фауни застосовуються і для модифікованих та спільних проходів. Потрібно знати як екологічні, так і технічні вимоги та визначати можливі конфлікти. Більші розміри конструкцій полегшують їх спільне використання. Пониження кількості руху постійно або в певний час (наприклад, вночі) може збільшити їх використання тваринами. Однак, антропогенний потік (рух транспорту) та природний потік (міграція тварин), за можливості, повинні бути максимально розділені.

Отже, плануючи адаптаційні заходи для існуючої інфраструктури, необхідно враховувати вищезазначені загальні принципи, а не лише конкретну місцеву ситуацію. Особливо це стосується випадків, коли встановлюються огорожі для зменшення кількості зіткнень транспортних засобів з тваринами. Оскільки огорожі посилюють бар'єрний ефект, їх не доцільно встановлювати без супутніх заходів. У цілому, принципи роботи з існуючою дорожньою інфраструктурою можна узагальнити таким чином:

- будівництво нових інженерних дорожніх конструкцій може бути дорожчим, але більш ефективним;
- адаптація існуючих інженерних споруд є дешевшою, проте не завжди є оптимальним рішенням;
- велика кількість адаптованих споруд в деяких випадках може дати кращі результати, ніж будівництво одного нового конкретного біопроходу за тією ж ціною;
- модифікація існуючих споруд може значно покращити ситуацію.

Висновки

Екодуки (біопереходи) для дикої природи є одним із інструментів запобігання надмірної фрагментації ландшафту дорожньою інфраструктурою. При вірному плануванні, облаштуванні в необхідних місцях, урахуванні потреб всіх без виключення вразливих видів (від жуків до оленів), органічному вплітанні у ландшафт, вони сприяють дефрагментації ареалів, що в свою чергу сприяє їх релевантності. Отже, ці заходи забезпечують збереження біорізноманіття та відповідають положенням, відображеним у Директиві Європейського Союзу 92/43/ЄЕС від 21 травня 1992 «Про збереження природних оселищ та видів природної фауни і флори» та є елементами «зеленої інфраструктури», розширення якої рекомендується Європейським Союзом.

Список літератури

1. Бобрун Н.В. Принципи розвитку територій в зонах впливу міжнародних транспортних коридорів: дис. ... канд. архітектури. Львів, 2015. 232 с.
2. Кошлатий О.Б. Екодуки – переходи для диких тварин. *Екологічний вісник*. Київ, 2018. № 2 (108). С. 10–12. URI: <http://reposit.pntu.edu.ua/handle/PoltNTU/3831> (дата звернення: 09.04.2020).
3. ОДМ 218.6.023-2017 Методические рекомендации по обеспечению безопасности дорожного движения на участках пересечения с автомобильными дорогами путей миграции животных. Москва, 2017. 37 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456090606> (дата звернення: 10.08.2019) (Інформація та документація).
4. Проць Б.Г., Кагало О.О. Оселищна концепція збереження біорізноманіття: базові документи Європейського Союзу. Львів, 2012. 278 с. URL: https://hd_manual_eu_documents_1_.pdf (дата звернення: 08.04.2020).

5. Трофименко Ю.В. Защита животных от негативного воздействия автомобильных дорог. *Наука и техника в дорожной отрасли*. Москва, 2011. № 1. URL: http://lib.madi.ru/nitdo/pdf/nitdo_2011_1.pdf (дата звернення: 30.08.2019).
6. COST 341 Habitat Fragmentati on due to Transportation Infrastructure Wild life and traffica European Hand book for Identifying Conflicts and Designing Solutions, URL: <https://handbookwildlifetraffic.info/handbook-wildlife-traffic/> (дата звернення: 09.04.2020).
7. Drogi a srodowisko. URL: <http://siskom.waw.pl/nauka-srodowisko.htm> (дата звернення: 20.08.2019).
8. Green Bridges, Wild life Tunnels and Fauna Culverts The Biodiversity Approach. URL: https://handbookwildlifetraffic.info/wp-content/uploads/2018/01/Fauna-Passages_BiodiversityApproach_English-German_Version_of_Skipten465-2.pdf (дата звернення: 09.04.2020).
9. Jędrzejewski W., Nowak S., Kurek R., Mysłajek R. W., Stachura K., Zawadzka B. Zwierzęta a drogi. Metody ograniczania negatywnego wpływu dróg na populacje dzikich zwierząt. Białowieża, 2006. 94 p. URL: <https://ibs.bialowieza.pl/sprzedaz-ksiazek/zwierzeta-a-drogi-metody-ograniczania-negatywnego-wplywu-drog-na-populacje-dzikich-zwierzat> (дата звернення: 20.08.2019).

References

1. Bobrun N.V. Pryntsypy rozvytku terytorii v zonakh vplyvu mizhnarodnykh transportnykh korydoriv (Principles of development of territories in the zones of influence of international transport corridors). PhD. Lviv, 2015. 232 p. [in Ukrainian].
2. Koshlatyi O.B. Ekoduky – perekhody dlia dykykh tvaryn. *Ekolohichnyi visnyk*. Kyiv, 2018. N 2 (108). P. 10–12. URL: <http://reposit.pntu.edu.ua/handle/PoltNTU/3831> (Last accessed: 09.04.2020) [in Ukrainian].
3. ODM 218.6.023-2017 Metodycheskye rekomendatsyy po obespecheniyu bezopasnosti dorozhnoho dvyzheniya na uchastkakh peresecheniya s avtomobyl'nyy dorohamy putei myhratsyy zhyvotnykh (Guidelines for Traffic Control and Safety Barriers at Road Construction Sites). Moscow, 2017. 37 p. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456090606> (Last accessed: 10.08.2019) [in Russian].
4. Kahalo O.O., Prots B.H. Oselyshchna kontseptsii zberezhennia bioriznomanittia: bazovi dokumenty Yevropeiskoho Soiuzu (Habitat concept of biodiversity conservation: basic documents of the European Union). Lviv, 2012. 278 p. URL: https://hd_manual_eu_documents_1_.pdf (Last accessed: 08.04.2020) [in Ukrainian].
5. Trofymenko Yu.V. Zashchyta zhyvotnykh ot nehatyvnoho vozdeistviya avtomobyl'nykh doroh. *Наука і техніка в дорожній отраслі*. Москва, 2011. N 1. URL: http://lib.madi.ru/nitdo/pdf/nitdo_2011_1.pdf (Last accessed: 30.08.2019) [in Russian].
6. COST 341 Habitat Fragmentati on due to Transportation Infrastructure Wild life and traffica European Hand book for Identifying Conflicts and Designing Solutions URL: <https://handbookwildlifetraffic.info/handbook-wildlife-traffic/> (Last accessed: 09.04.2020) [in English].
7. Drogi a srodowisko. URL: <http://siskom.waw.pl/nauka-srodowisko.htm> (Last accessed: 20.08.2019) [in Polish].
8. Green Bridges, Wild life Tunnels and Fauna Culverts The Biodiversity Approach URL: https://handbookwildlifetraffic.info/wp-content/uploads/2018/01/Fauna-Passages_BiodiversityApproach_English-German_Version_of_Skipten465-2.pdf (Last accessed: 09.04.2020) [in English].
9. Jędrzejewski W., Nowak S., Kurek R., Mysłajek R. W., Stachura K., Zawadzka B. Zwierzęta a drogi Metody ogranic zania negatywnego wpływu dróg na populacje dzikich zwierząt. Bilovezha, 2006. 94 p. URL: <https://ibs.bialowieza.pl/sprzedaz-ksiazek/zwierzeta-a-drogi-metody-ograniczania-negatywnego-wplywu-drog-na-populacje-dzikich-zwierzat> (Last accessed: 20.08.2019) [in Polish].

Svitlana Matus,¹ *Environmental Policy Coordinator*, <https://orcid.org/0000-0003-3678-0283>

Anatolii Morozov,² *Postgraduate*, <https://orcid.org/0000-0001-5596-6193>

Tetiana Morozova,² *Ph.D., Associate Prof.*, <https://orcid.org/0000-0003-4836-1035>

Inessa Rutkovska,² *Ph.D., Prof.*, <https://orcid.org/0000-0001-7832-4222>

Viktoriia Khrutba,² *D.Sc., Associate Prof.*, <https://orcid.org/0000-0002-8121-2042>

¹ *Global Fund for Nature Ukraine, Kyiv, Ukraine*

² *National Transport University, Kyiv, Ukraine*

INTEGRATION OF ECODUQUES IN ROAD NETWORK OF UKRAINE FOR BIODIVERSITY CONSERVATION

Abstract

Introduction. One of the fundamental environmental principles — prevention and remedy of environmental damage. According to the principle, in case if the environmental damage cannot be eliminated, it should be mitigated (or *minimized*), restrained and eliminated as soon as possible.

Problem statement. Landscape fragmentation is one of the biggest threats to biodiversity conservation. It is the result of a change in land use, in particular the integration of transport infrastructure into the landscape, that leads to loss and degradation of habitats, pollution, changed microclimate and hydrological conditions, increased human activity in adjacent territories, animal mortality (or *kills*) on roads. In addition, roads create barriers that can isolate (*wildlife*) populations and lead to significant reduction in numbers of wildlife populations. Thus, there is a need for analysis of methodological approaches that, with taking into account current trends and foreign experience, will minimize the anthropopressing (or *negative impact*) of transport infrastructure on the wildlife.

Purpose. Implementation of ecoducts in transport infrastructure through which fauna can cross roads without risk of killing (*або mortality*). This allows some representatives of fauna to expand their areas and move between sectors where they can obtain vital necessary resources, and also supports the distribution and migration of individuals between different population centers.

Materials and methods. The main research methods are the application of theoretical general scientific approaches for the study of urban development objects: analysis and synthesis of international and domestic scientific and theoretical works, EU documentation (charters, design requirements), Ukrainian regulatory framework, literary sources; collecting and analyzing statistics to identify the dangers of the impact of road infrastructure on biodiversity and to determine the value of the natural landscape of an eco-education area.

Results. The results of the work are the main methodological approaches and practical recommendations. They are, if we consider the integration of wildlife requirements at the planning stage of infrastructure development, — the best and easiest way to develop cost-effectiveness solutions. This will contribute to the defragmentation of habitats and biodiversity conservation.

Conclusion. Ecoducts (wildlife crossing) are one of the tools to prevent excessive landscape fragmentation caused by transport infrastructure. They contribute to defragmentation of habitats in case of correct planning, installation in the right places, considering the needs of all vulnerable species, organic interference in the landscape. All this in turn contributes to their relevance. The measures are the elements of green infrastructure, the extension of which is recommended by the European Union.

Keywords: road, biodiversity, landscape fragmentation, transport infrastructure, ecoduct, landscape, fragmentation.

УДК 625.745.1:691

Гаврищук В. В.,¹ <https://orcid.org/0000-0003-3164-4426>

Каськів В. І.,² *кан.техн. наук, доц.*, <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

¹ ТОВ «АКО Будівельні Елементи Лтд», м. Київ, Україна

² Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ ПОВЕРХНЕВОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ, ЯК СКЛАДОВОЇ КОМПЛЕКСУ ОЧИСНИХ СПОРУД НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

Анотація

Вступ. Надано аналіз останніх досліджень щодо забруднення поверхневих стічних вод з проїзної частини автомобільних доріг. Визначено перспективу застосування в Україні систем поверхневого водовідведення у складі комплексу з очищення забрудненого стоку.

Проблематика. Однією з передумов ефективного функціонування заходів щодо мінімізації впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище є застосування ефективного водовідведення з проїзної частини автомобільних доріг. Мінімізація винесення забруднюючих речовин на ґрунтові поверхні за рахунок застосування сучасних систем водовідведення у комплексі санітарно-технічних заходів.

Мета. Провести аналіз доцільності проєктування систем поверхневого водовідведення, як складової комплексу очисних споруд на автомобільних дорогах загального користування. Провести аналіз існуючих методів очищення поверхневого стоку.

Матеріали та методи. Аналіз інформаційних джерел щодо застосування систем поверхневого водовідведення на автомобільних дорогах. Аналітичні дослідження ефективності заходів щодо мінімізації впливів автомобільного транспорту на навколишнє середовище.

Результати. Визначено перспективні напрямки підвищення ефективності природоохоронних заходів. Вивчено питання мінімізації впливу на навколишнє середовище забрудненого поверхневого стоку з проїзної частини. Досліджено основні переваги впровадження сучасних рішень із водовідведення. Визначено фактичну величину впливу транспорту на навколишнє середовище.

Висновки. Аналіз інформаційних джерел щодо застосування систем поверхневого водовідведення показав економічну та технічну доцільність, при впровадженні комплексних санітарно-технічних заходів можливо суттєво зменшити негативний вплив автомобільного транспорту на ґрунтове та водне середовища. Ефективний збір поверхневого стоку є першим з кроків для зниження забруднення навколишнього середовища.

Ключові слова: автомобільна дорога, автомобільний транспорт, важкі метали, водовідвідний канал, гранично-допустима концентрація, забруднення, нафтопродукти, очисна споруда.

Вступ

Актуальність поставленої проблеми. Проектування автомобільних доріг складний процес, сновною задачею якого є вирішення технічних, економічних та екологічних завдань пов'язаних із будівництвом та експлуатацією доріг. Проектні рішення щодо забезпечення екологічної безпеки та запобігання негативним наслідкам впливів автомобільної дороги на навколишнє середовище приймають на основі порівняння техніко-економічних варіантів будівництва, у тому числі витрат на впровадження природоохоронних заходів і компенсацію екологічних збитків. Автомобільна дорога та автомобільний транспорт є джерелом забруднення навколишнього середовища нафтопродуктами, важкими металами, завислими речовинами, пилом, який утворюється при зносі автомобільних шин або покриття, протижелезними матеріалами тощо. Традиційні методи не зменшують небезпеку впливу забруднюючих речовин, а лише локалізують максимальну концентрацію забруднення в умовній смузі відведення. Переважна кількість автомобільних доріг прокладені через сільськогосподарські угіддя, забруднення ґрунтів та рослинності в придорожній смузі буде мати негативні наслідки для людей та тварин. Частина продуктів згоряння палива в двигунах не розкладаються в навколишньому середовищі, інша частина випаровується та випадає разом з опадами, для яких є характерним зміна рівня рН.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технічні рішення щодо проектування автомобільних доріг регламентуються будівельними нормами [1], також регламентуються і екологічні вимоги [2–12]. Проте, вищенаведені нормативні документи не регламентують водовідведення як комплекс інженерно-санітарних заходів, які впливають на мінімізацію негативного впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище.

Мета роботи. Провести аналіз доцільності проектування систем поверхневого водовідведення, як складової комплексу очисних споруд на автомобільних дорогах загального користування. Визначити вплив на мінімізацію затрат при розрахунку смуги відведення автомобільної дороги. Провести аналіз існуючих методів очищення поверхневого стоку.

Основна частина

Водовідведення — сукупність санітарно-технічних заходів, які забезпечують відведення стічних вод із територій населених пунктів або промислових підприємств. Фактично поверхневе водовідведення на автомобільній дорозі є складовою комплексу з очищення забрудненого поверхневого стоку.

Питання водовідведення з покриття автомобільних доріг в інженерній практиці України не є вирішеним. Лише при заміні традиційних рішень на сучасні можливо досягти високих показників у вирішенні питань:

- зменшення величини поперечного профілю, за рахунок відсутності потреби у влаштуванні кювету чи відкритого лотка;
- зниження забруднення укосів земляного полотна та інфільтрації забрудненого поверхневого стоку при потраплянні на водонепроникну поверхню;
- підвищення ефективності очищення стічних вод, найбільш забрудненими є перші порції поверхневого стоку, але при потраплянні їх в кювет саме вони будуть максимально всмоктуватись в ґрунт;
- водовідведення з покриття та унеможливлення потрапляння поверхневого стоку в основу дорожнього одягу, що забезпечує міцність конструкції;

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

– розрахунковий строк експлуатації суттєво збільшений порівняно з традиційними рішеннями.

Під час будівництва автомобільної дороги у насипі поверхневе застосування лінійного водовідведення у вигляді каналів з решітками дає можливість зменшити величину поперечного профілю автомобільної дороги за рахунок відсутності потреби у влаштуванні каналів (рис. 1) [1, 13].

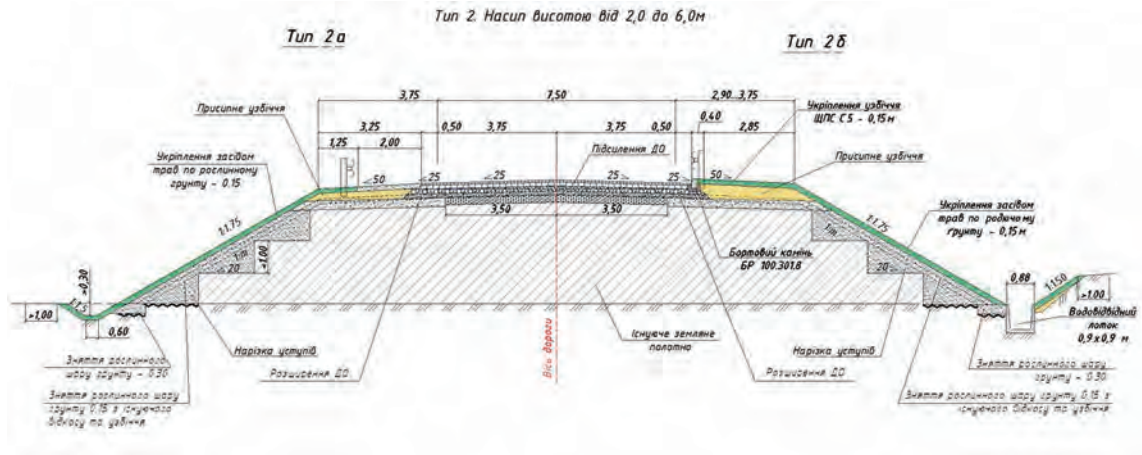


Рисунок 1 — Типовий поперечний профіль автомобільної дороги (II категорія)

Зокрема, застосування водовідвідних каналів впливає на (рис. 2):

- відсутність потреби у використанні бордюрного каменю;
- зменшення тривалості знаходження стоку на покритті і, як наслідок, зниження можливості виникнення аквапланування.

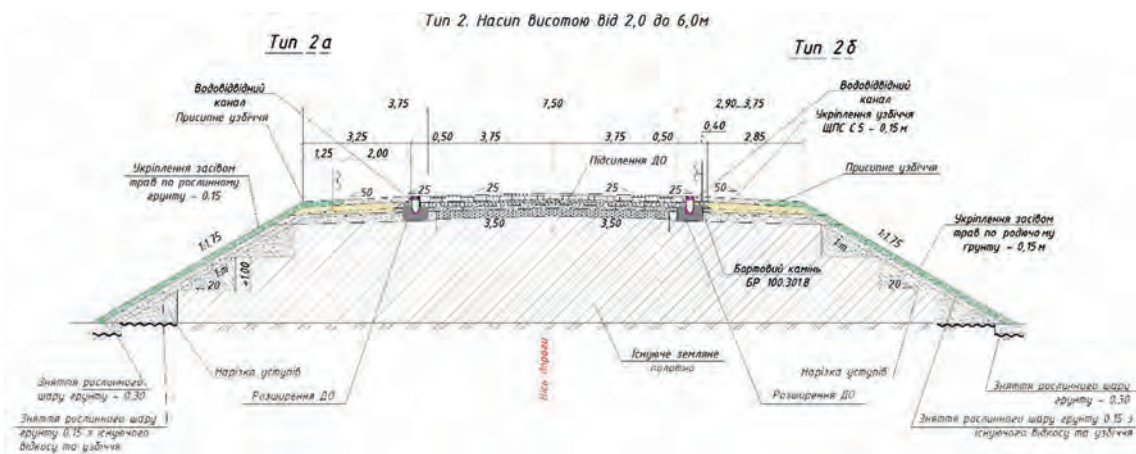


Рисунок 2 — Поперечний профіль автомобільної дороги із застосуванням водовідвідних каналів (II категорія)

У виїмці ситуація з водовідведенням є складнішою. Стандартна схема проектування дороги у виїмці має суттєвий вплив на ефективність роботи очисних споруд. Забруднені нафтопродуктами та важкими металами поверхневі стоки з автомобільних доріг після

відведення з проїзної частини відводяться у лоток, який одночасно приймає стоки з укосу виїмки — забрудненого лише завислими речовинами та сміттям (рис. 3).

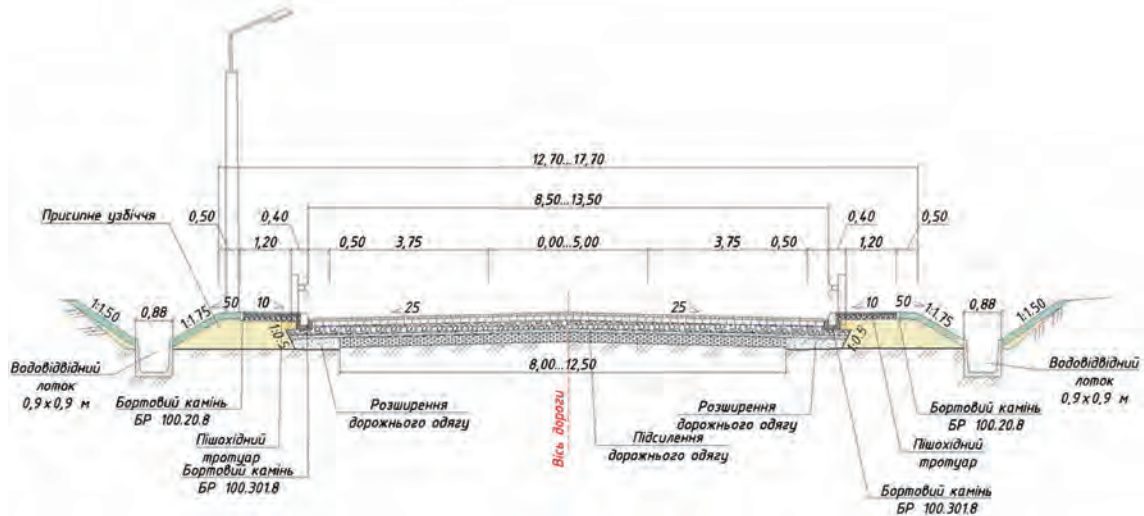


Рисунок 3 — Типовий поперечний профіль автомобільної дороги (II категорія)

Очисні споруди [4, 14, 15] працюють на очищення найбільш забрудненої частини стоку від завислих речовин у нафтопродуктів. Фактично отримуємо з укосів виїмки органічні рештки, які очистити традиційними методами для дощової каналізації не можливо. Тому, дані стоки потрібно розділяти: поверхневий стік із поверхні проїзної частини відводити на очисні споруди дощового стоку, а стоки з укосів виїмки відводити дорожньою канавою (рис. 4).

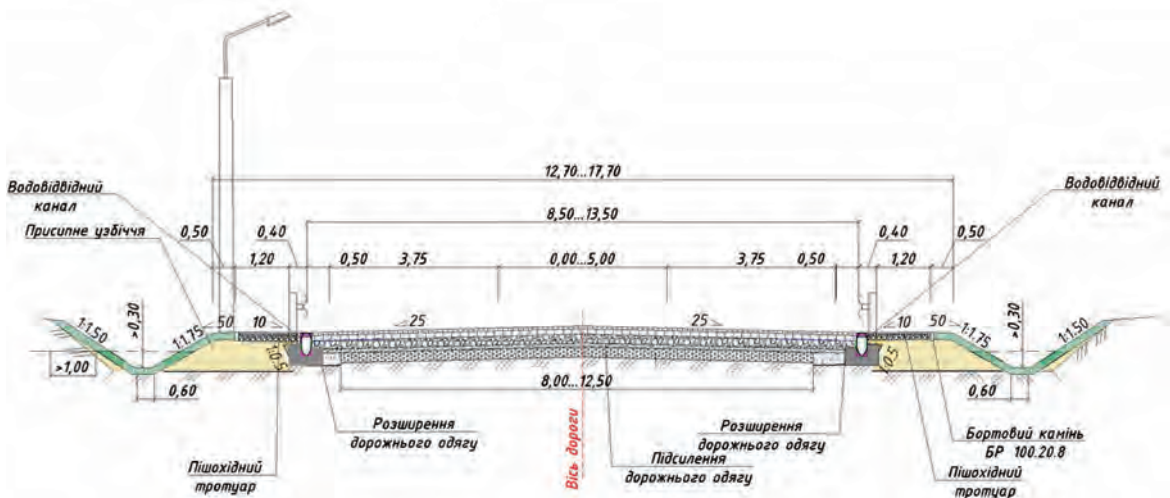


Рисунок 4 — Поперечний профіль автомобільної дороги із застосуванням водовідвідних каналів (II категорія)

Для доріг II категорії та при висоті насипу або глибині виїмки 3 м, економія на землевідведенні складатиме 8–17 %.

Оцінка величини забруднення навколишнього середовища автомобільним транспортом

Вирішення питання мінімізації забруднень ґрунтового та водного середовищ смуги відведення автомобільної дороги складається з ефективного збору забрудненого стоку з водонепроникних покриттів їх транспортування, очищення та утилізації очищеного стоку. Автомобільний транспорт в Україні використовується для транспортування майже $\frac{3}{4}$ всіх вантажних перевезень [16] (рис. 5).

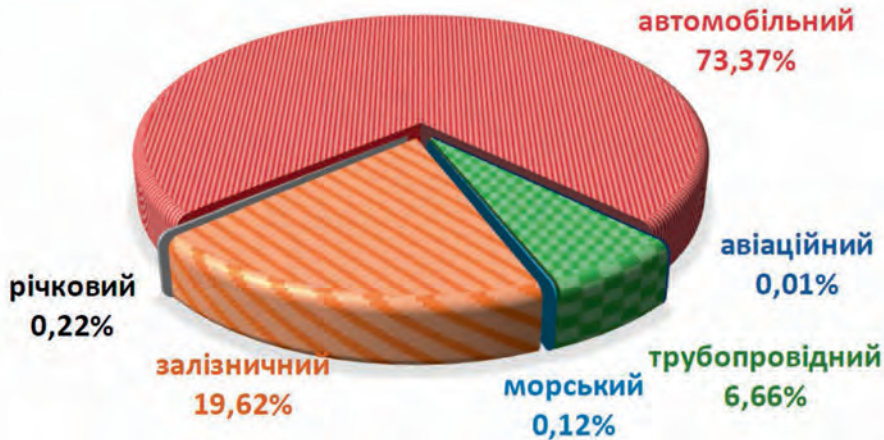


Рисунок 5 — Питома вага видів транспорту в перевезенні вантажів у 2018 році

Згідно з статистичними даними вантажообіг на автомобільному транспорті 24 010,2 млн ткм [16] (рис. 6).

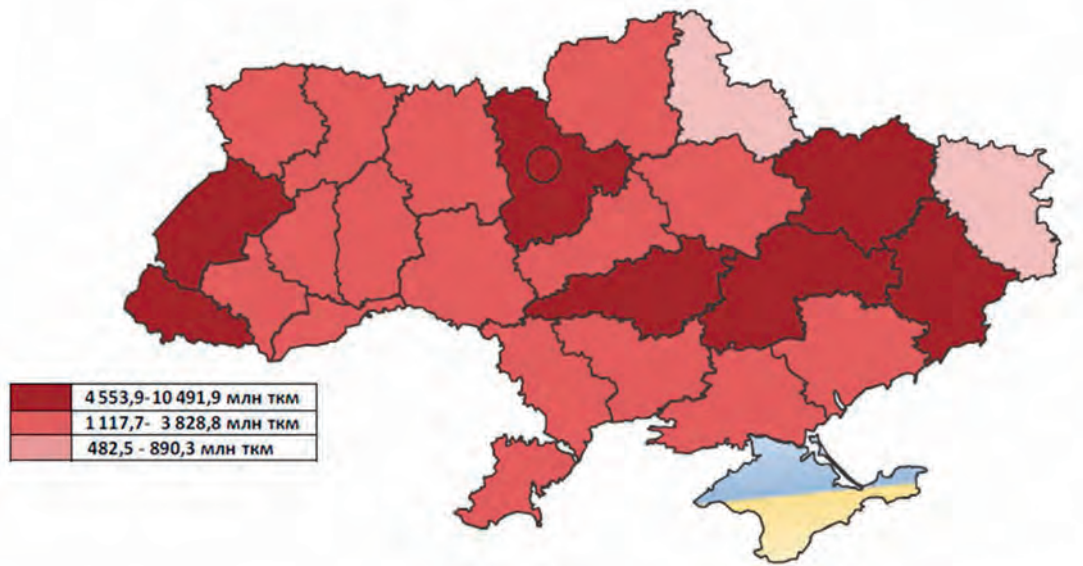


Рисунок 6 — Перевезення вантажів автомобільним транспортом у 2018 році

Щодо пасажирських перевезень, то за статистичними даними [16] він становить біля 43 % від загальної кількості (рис. 7).

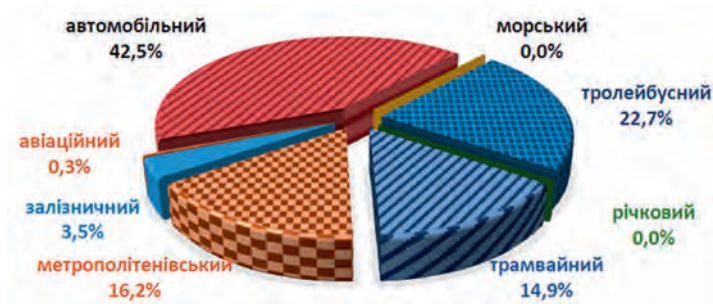


Рисунок 7 — Питома вага видів транспорту в перевезенні пасажирів у 2018 році

Загальна величина пасажирських перевезень в межах України у 2018 році — 34 560 млн пас. км з урахуванням розподілу по регіонам (рис. 8).

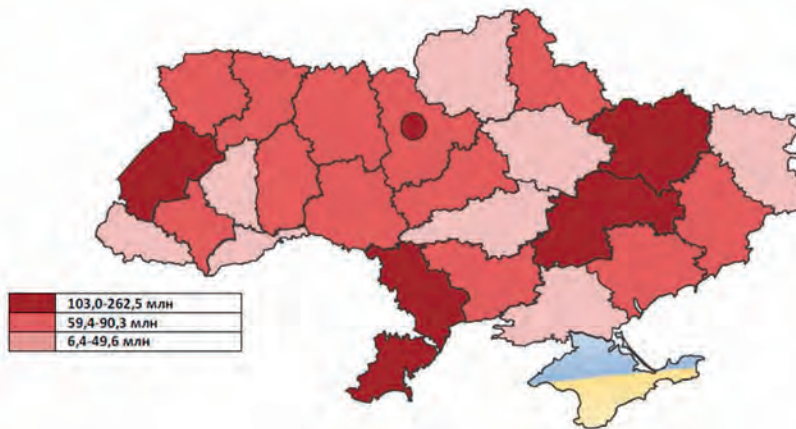


Рисунок 8 — Перевезення пасажирів автомобільним транспортом у 2018 році

Враховуючи статистичні дані [16] та методику розрахунку забруднюючих речовин [17], без урахування легкових автомобілів, які знаходяться у приватному користуванні маємо наступні дані забруднення за 2018 рік (табл. 1).

Таблиця 1
Величина забруднення від вантажного та пасажирського транспорту за 2018 рік в тоннах

Групи автомобілів	Вид палива	СО	НМЛОС	СН ₄	NO ₂	С	N ₂ O	NH ₃	CO ₂	SO ₂	Рb	Бензопірен
А	Б	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вантажні автомобілі	бензин	70 240,9	5 953,3	240,6	4 060,8	-	7,3	0,8	664 892,9	208,9	2,7	-
	ДП	8 389,7	1 260,8	54,1	4 608,9	1 070,7	18,5	-	484 838,7	664,4	-	4,6
	Газ скр.	5 046,0	705,3	-	291,7	-	-	-	-	15,0	-	-
	Газ стис.	2 237,3	340,6	-	370,1	-	-	-	-	-	-	-

Кінець таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Пасажирські автобуси	бензин	1 750,7	142,8	5,8	92,5	-	0,2	0,0	15 950,6	5,0	0,1	-
	ДП	207,9	30,2	1,3	109,2	25,7	0,4	-	11 631,2	15,9	-	0,1
	Газ скр.	125,8	17,7	-	6,6	-	-	-	-	0,4	-	-
	Газ стис.	54,2	8,8	-	8,6	-	-	-	-	-	-	-

При розрахунку не врахований технічний стан та вік автомобільного транспорту, так як дана інформація в офіційних джерелах відсутня.

CO — оксид вуглецю; NH₃ — аміак; CH₄ — метан; N₂O — оксид азоту; C — сажа; NO₂ — діоксид азоту; SO₂ — діоксид сірки; Pb — свинець; CO₂ — вуглекислий газ (двоокис вуглецю); НМЛОС — неметанові леткі органічні сполуки.

Оксид вуглецю (CO₂) утворюється в результаті спалювання викопних видів палива, це основна компонента, що є причиною «парникового ефекту». У результаті неповного згоряння виділяється також монооксид вуглецю CO — токсичний газ, який шкідливо впливає на серцево-судинну систему людини. Діоксид сірки SO₂ — один з найбільш токсичних газоподібних викидів енергоустановок, який складає більше 90 % викидів сірчистих сполук із димовими газами котлоагрегатів (решта — SO₃). Діоксид сірки впливає на окислення, руйнує матеріали, шкідливо впливає на здоров'я людини. Тривалість його перебування в атмосфері відносно невелика: у порівняно чистому повітрі — 15–20 діб, у присутності великої кількості аміаку й інших речовин — декілька годин. При наявності кисню SO₂ переходить в SO₃ і, взаємодіючи з водою, утворює сірчану кислоту. Кінцеві продукти зазначених реакцій розподіляються таким чином: у вигляді опадів на поверхню літосфери — 43 %, на поверхню гідросфери — 13 %; поглинається: рослинами — 12 %, поверхнею гідросфери — 13 %. Накопичення сірковмісних сполук в основному відбувається у Світовому океані. Вплив цих продуктів на людей, тварини, рослини та інші речовини різноманітний і залежить від їх концентрації та багатьох факторів навколишнього середовища. Оксиди азоту (NO_x) утворюються при спалюванні палива, що містять азотні сполуки, а також тих, що не містять, за рахунок окислення азоту повітря. Азот утворює з киснем ряд сполук (N₂O, NO, N₂O₃, NO₂, N₂O₄ і N₂O₅), властивості яких, активність і тривалість існування різні та слабо залежать від виду і складу палива. Сумарну кількість оксидів азоту зводять до NO₂. Їх концентрація визначається режимом та організацією процесів горіння палива. Оксиди азоту шкідливо впливають на здоров'я людини, є одним із чинників утворення парникового ефекту та руйнуванню озонового шару. Крім того, оксиди азоту викликають «вимирання лісів», кислотні дощі тощо. Метан (CH₄) утворюється в результаті згоряння нафтопродуктів. Метан є також одним із газів, які впливають на виникнення парникового ефекту. Оподи та кислотні дощі також пов'язані з наявністю в атмосфері аерозолів та оксидів SO₂, NO₂. Кліматичний цикл випадіння опадів має життєво важливе значення для всього людства та великомасштабні впливи на цей процес можуть призвести до дуже серйозних негативних наслідків. Проявом подібних впливів, що отримав досить широке поширення, є кислотні дощі, що мають низькі значення рН. Зміна значення рН опадів може викликати багато проблем, пов'язаних із біосферою; аналіз цих проблем на кількісному рівні становить у теперішній час область інтенсивних досліджень.

Враховуючи легкові автомобілі з імовірністю пробігу біля 15 тис. км/рік забруднення мережі автомобільних доріг лише свинцем сягатиме біля 4 т/рік.

Згідно з Законом України «Про заборону ввезення і реалізації на території України етилованого бензину та свинцевих добавок до бензину» у чинній редакції від 07.06.2013 на території України забороняється реалізація на етилованого бензину. Між тим, постанова Кабінету міністрів України від 1 серпня 2013 року № 927 «Про затвердження Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив» регламентує концентрацію свинцю у бензині для екологічних класів Євро 3 – Євро 5 не більше 5 мг/дм³. Крім того, як свідчать результати торгів на електронній системі державних закупівель «Prozorro» [32] — етилований бензин реалізується (використовують термін — «етильований бензин» із вмістом свинцю не більше ніж 0,15 г/л, тому забруднення свинцем придорожньої смуги потрібно враховувати.

У роботі [18] досліджено, що викиди відпрацьованого палива від автомобільного транспорту окрім вищенаведених містять: формальдегід, кадмій, нікель, хром, мідь тощо. Дані забруднення осідають на покритті, біля 30 %, 40 % — в атмосфері [19, 20].

Згідно з інформацією Міністерства інфраструктури України [21] 79 % автомобільних доріг становлять покриття капітального та удосконаленого перехідного типу (рис. 9), які є водонепроникними покриттями [22]. Водонепроникні покриття характеризуються великим показником стоку від загальної кількості опадів в межах 80–95 %.



Рисунок 9 — Розподіл автомобільних доріг за типами покриття

На прикладі забруднення свинцем доцільно стверджувати про потребу ефективної системи водовідведення, як санітарного заходу щодо унеможливлення потрапляння забруднень автотранспорту у водне та ґрунтове навколишнє середовище.

Забруднення водного середовища. Водні ресурси є стратегічним, життєво важливим природним ресурсом, що має особливе значення. Україна належить до держав з недостатнім забезпеченням водними ресурсами. Україна — одна з найменш водозабезпечених країн Європи. Водні об'єкти України вкривають 24,2 тис. км², що становить 4,0 % від її загальної території (603,7 тис. км²). До цих об'єктів належать річки, озера, водосховища, ставки, канали тощо. Територія України має не дуже густу річкову мережу (середнє значення — 0,34 км²). Традиційно вода розглядається та використовується тільки як господарський ресурс для промислового і сільськогосподарського виробництва, отримання електроенергії, а також для скидання стічних вод [23].

Здійснення водогосподарської політики в нашій країні протягом десятиліть

розглядається як основа життєзабезпечення природних екосистем і людини, що зрештою і призвело до вичерпання природно-екологічного потенціалу водних ресурсів. Нині майже у всіх розвинених країнах світу охорона навколишнього природного середовища та раціональне використання природних ресурсів стали пріоритетами стратегії державотворення. Впровадження ефективних рішень, щодо мінімізації забруднень є основним критерієм будь-якого проєкту.

В Україні найбільше досліджують вплив автомобільних доріг і транспорту на забруднення атмосферного повітря. Саме у цьому напрямку проведено наукові фундаментальні дослідження, щодо зменшення техногенного навантаження на повітряний басейн автомобільним транспортом. Одними з перших проблему забруднення повітря м. Києва, можливі зміни його складу, під дією викидів автотранспорту досліджували науковці: Берлянд М. Е., Тищенко Н. Ф., Стольберг Ф. В. Роботи Денисова В. Н. та Рогалева В. А дозволили дати більш якісну оцінку в області забруднення атмосферного повітря відпрацьованими газами автомобільного транспорту. Вплив рельєфу і типу місцевості на процеси розсіювання сполук детально досліджено в працях Скопецького В. В., Хруща В. К. та ін. У Національному транспортному університеті питання впливу автомобільної дороги на придорожнє середовище відображені в роботах Гутаревича Ю. Ф., Зеркалова Д. В., Корпача А. О., Матейчика В. П. Впливи процесів будівництва, ремонту та експлуатації автомобільних доріг вивчені такими науковцями: Савенко В. Я., Славінська О. С., Скорченко В. Ф., Мозговий В. В., Проник О. Ю. та ін. Кафедра екології та безпеки життєдіяльності займається моделюванням і прогнозуванням рівня забруднення придорожнього середовища транспортними потоками [24].

Будівництво та експлуатація автомобільних доріг супроводжується прямим та опосередкованим впливом на водні об'єкти. Забруднення відбувається внаслідок надходження дощового стоку та талих вод з поверхні покриття. [2, 4–6, 8, 14, 15, 18, 25–28]. Токсичні компоненти відпрацьованих газів і пари палива утворюють в атмосфері смог, який, насичуючись парами води, осідає у вигляді туманів або випадає з опадами (дощ, сніг), потрапляючи таким чином до водойм чи у ґрунт [26, 27]. Допустимі концентрації забруднення залежно від типу водного об'єкта наведені у табл. 2. [9].

Таблиця 2

Допустимі величини показників якості стічних вод і води водойм

Ч. ч.	Найменування речовини	ГДК шкідливих речовин у воді водних об'єктів (г/м ³)	
		господарсько-питного водопостачання	рибогосподарського призначення
1	2	3	4
1	Бензопірен	0,000005	—
2	Кадмій	0,001	0,005
3	Мідь	0,1	0,005
4	Метанол	3	0,100
5	Нафта та нафтопродукти	0,3	0,050
6	Нікель	0,1	0,010
7	Свинець	0,03	0,100
8	Формальдегід	0,05	0,010

Кінець таблиці 2

1	2	3	4
9	Хром	0,05	0,001
10	Цинк	1	0,010

Загальна кількість штучних споруд на автомобільних дорогах загального користування становить 16 156 шт., з них через водні об'єкти — 5 977 шт. з урахуванням обстежених на кінець 2017 року, загальна протяжність мостів складає 151 978,73 метрів погонної довжини (75 % від загальної кількості) [29]. Протяжність мостів, з яких здійснюється відведення поверхневого стоку у водойми у співвідношенні до протяжності автомобільних доріг з капітальними чи удосконаленими типами покриттів становить менше 0,5 %. Тому, санітарно-технічні заходи для забезпечення ГДК водних об'єктів (табл. 2) повинні стати пріоритетними.

Забруднення ґрунтового середовища. Техногенний вплив автомобільної дороги та транспорту на ґрунтове середовище в Україні нормується лише частково. Характерними впливами в нормативних документах [8, 10, 12, 21] є забруднення свинцем та вплив будівництва на стійкість ґрунтів, їх ерозію та ін.

Очищення поверхневих стічних вод описане в [4–6, 9, 12, 14, 15, 22, 25, 26, 28] не має підтверженої ефективності. Рішення для очищення наведені вище не можуть дати потрібного результату, який би забезпечив ступені очищення регламентовані [9]. Фактично очисні споруди, які застосовуються на ринку України направлені на очищення 2-х показників залишків нафти та нафтопродуктів (бензин та дизельне паливо) та важких речовин. Очищення від важких металів фактично не нормується, дослідження в даному напрямку в Україні не проводяться. Ступінь очищення поверхневих стічних вод для відведення на рельєф чи інфільтрацію в ґрунт в Україні не нормується. Очищення від важких металів не забезпечуються традиційними рішеннями: гравітаційними, коалесцентними чи механічними. Величина забруднення нормується залежно від подальшого використання стоку, відповідно до з [31] очисні споруди поділяють на 2 класи за ступенем очищення:

- 1 — забезпечує ступінь очищення до вимог відведення в каналізаційну мережу;
- 2 — забезпечує ступінь очищення при якому можливе їх застосування, як першого ступеню очищення в комплексних очисних спорудах.

Ступінь очищення поверхневих стоків з автомобільних доріг, які потрапляють в ґрунти: на поверхню або шляхом фільтрації повинні відповідати ступеню очищення не меншому ніж дані таблиці 2. Ці стоки фактично є одним із основних джерел живлення верхнього горизонту ґрунтових вод, які можуть використовуватись як джерело водопостачання.

Висновки

У роботі проведено аналіз доцільності проєктування систем поверхневого водовідведення, як складової комплексу очисних споруд на автомобільних дорогах загального користування. На основі аналізу вантажного та пасажирського транспортних переміщень виконано аналіз техногенного впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище. Сучасні рішення з водовідведення дають можливість: зменшення величини поперечного профілю, землевідведення, за рахунок відсутності потреби у влаштуванні дорожньої канами чи відкритого лотка на 8–17 %, при висоті насипу чи глибині виїмки до 3 м. Зниження забруднення укосів земляного полотна та мінімізації інфільтрації забрудненого поверхневого стоку; унеможливають всмоктування забруднюючих речовин у кюветах.

Виконано аналіз вимог до локальних очисних споруд, оцінено недоліки та неефективність традиційних методів очищення дощового стоку. Рекомендується для фільтрації стоків у ґрунт або відведення на рельєф застосовувати ГДК, які регламентуються для водойм.

Список літератури

1. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина I. Проектування Частина II. Будівництво. Київ, 2015. 104 с. (Інформація та документація).
2. ГБН В.2.3-218-007:2012. Споруди транспорту. Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування. Київ, 2012, 25 с. (Інформація та документація).
3. ГБН В.2.3-218-540:2012 Споруди транспорту. Охорона довкілля при будівництві, ремонті та експлуатаційному утриманні автомобільних доріг. Київ, 2012, 17 с. (Інформація та документація).
4. ДСТУ 3013-95 Система стандартів у галузі охорони навколишнього середовища та раціонального використання ресурсів. Гідросфера. Правила контролю за відведенням дощових і снігових стічних вод з територій міст і промислових підприємств. Київ, 1995, 17 с. (Інформація та документація).
5. ДСТУ-Н Б В.2.5-71:2013 Споруди для очищення поверхневих стічних вод. Настанова з проектування (СН 496-77, MOD). Київ, 2014, 30 с. (Інформація та документація).
6. ДСТУ 8691:2016 Стічні води. Настанови щодо встановлення технологічних нормативів відведення дощових стічних вод у водні об'єкти Київ, 2016. 28 с. (Інформація та документація).
7. М 218-02070915-254-2004 Методика екологічних вишукувань при проектуванні автомобільних доріг. Київ, 2004. 8 с.
8. МП 218-03449261-610:2006 Методичний посібник з охорони навколишнього природного середовища та раціонального використання земельних ресурсів. Київ, 2006, 29 с. (Інформація та документація).
9. Правила приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України : Наказ Держбуду від 19.02.2002 N 37 // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0403-02> (дата звернення: 20.04.2020).
10. М 218-02071168-626:2007 Методика оцінки екологічного впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище. Київ, 2007, 20 с. (Інформація та документація).
11. М 218-02070915-630:2007 Методика комплексної оцінки будівництва та реконструкції автомобільних доріг з урахуванням соціально-економічної та екологічної ефективності. Київ, 2007, 16 с. (Інформація та документація).
12. Р Б.2.2-218-03450778-310-2004. Рекомендації по запобіганню забруднення довкілля поверхневими стоками з автомобільних доріг. Київ, 2004, 10 с. (Інформація та документація).
13. Р В.2.3-218-02070915-206-2003 Рекомендації по призначенню розмірів смуги відведення для доріг різних категорій. Київ, 2003, 14 с. (Інформація та документація).
14. Дикаревский В.С., Курганов А.М., Нечаев А.П., Алексеев М.И. Отведение и очистка поверхностных сточных вод: Учеб. пособие для вузов. Л., 1990. 224 с.
15. Р В.2.3-218-03450778-783:2011 Рекомендації з вибору та застосування технологічних схем відведення та очищення стоків з поверхні автомобільних доріг і штучних споруд. Київ, 2011, 37 с. (Інформація та документація).
16. Транспорт і зв'язок України. Статистичний збірник / Державна служба статистики України. Київ, 2019. 153 с.

17. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів. URL: http://ukrstat.org/uk/metod_polog/metod_doc/2008/452/metod.htm (дата звернення: 20.04.2020).
18. Першегуба Я.В. Оцінка забруднення атмосферного повітря основних автомагістралей м. Києва за критерієм неканцерогенного ризику. *Екологічний моніторинг. Метрологія. Стандартизація і сертифікація*. Крим, 2009. Вип. 4. С. 99-103.
19. Забруднення атмосферного повітря викидами від транспорту. URL: <http://www.gpp.in.ua/transport/zabrudnennya-atmosfernogo-povitrya-vikidami-vid-transportu.html> (дата звернення: 20.04.2020).
20. Забруднення автотранспортом. URL: <http://www.eco-live.com.ua/content/blogs/zabrudnennya-avtotransportom> (дата звернення: 20.04.2020).
21. Технічний стан автомобільних доріг загального використання. URL: <https://mtu.gov.ua/content/tehnichniy-stan-avtomobilnih-dorig-avtomobilnih-dorig-zagalnogo-vikoristannya.html> (дата звернення: 20.04.2020).
22. ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Київ, 2013, 219 с. (Інформація та документація).
23. Водні ресурси України. URL: <http://www.nbu.gov.ua/node/3972> (дата звернення: 20.04.2020).
24. Рутковська І.А. Аналіз методик оцінювання забруднення придорожнього середовища/ Рутковська І.А. Федій І.С. *Науково-технічний збірник «Вісник Національного транспортного університету»*. № 1 (34). Київ, 2016. С. 414-423.
25. Китаєв А.Л. Акумулявання, очистка та використання поверхнево-зливового стоку з територій промислових підприємств: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Харків, 1997. 18 с.
26. Мельнікова О.Г. Підвищення екологічної безпеки замських об'єктів дорожньої інфраструктури: дис. ... кан. техн. наук. Харків, 2017. 191 с.
27. М 218-02070915-694:2011 Методика оцінювання інгредієнтного і параметричного забруднення придорожнього середовища системою транспортний потік-дорога. Київ, 2011. 28 с. (Інформація та документація).
28. М 42.1-37641918-766:2017 Методика розрахунку гідроботаничних майданчиків при здійсненні очищення стічних вод із поверхні автомобільних доріг і мостових споруд. Київ, 2017. 41 с. (Інформація та документація).
29. Боднар Л.П., Степанов С.М., Коваль П.М. Обстеження мостів та вдосконалення критеріїв планів з обстежень. *Дороги і мости*. № 17. 2017. С. 42-53.
30. М 218-02070915-254-2004 Методика екологічних вишукувань при проектуванні автомобільних доріг. Київ, 2004, 8 с. (Інформація та документація).
31. ДСТУ EN 858-1:2019 Сепараторні системи для легких рідин (наприклад, нафти та бензину). Частина 1. Принципи проектування, робочі характеристики та випробування, маркування та контролювання якості (EN 858-1:2002, IDT). Київ, 2019. 55 с. (Інформація та документація).
32. Prozzoro. Публічні закупівлі. URL: <https://prozorro.gov.ua/tender/UA-2020-04-22-000100-b> (дата звернення: 22.04.2020).

References

1. State Building Norms (DBN V.2.3-6:2009) Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennia i vyprobuvannia (Transport facilities. Bridges and pipes. Inspection and testing). Kyiv, 2010. 48 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
2. Departmental Building Norms (GBN V.2.3-218-007:2012) Sporudy transportu. Ekolohichni vymohy do avtomobilnykh dorih. Proektuvannia (Structures of transport. Ecological requirements for

roads. Design). Kyiv, 2012. 25 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

3. Departmental Building Norms (GBN V.2.3-218-540:2012) Sporudy transportu. Okhorona dovkillia pry budivnytstvi, remonti ta ekspluatatsiinomu utrymanni avtomobilnykh dorih (Structures of transport. Environmental protection during construction, repair and maintenance of roads). Kyiv, 2012. 17 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

4. State Standard of Ukraine (DSTU 3013-95) Systema standartiv u haluzi okhorony navkolyshnoho seredovyscha ta ratsionalnoho vykorystannia resursiv. Hidrosfera. Pravyta kontroliu za vidvedenniam doshchovykh i snihovykh stichnykh vod z terytorii mist i promyslovykh pidpriemstv (System of standards for environmental protection and rational use of resources. Hydrosphere. Regulations on control over drainage of rainwater and snow-water from territories of cities and industrial enterprises). Kyiv, 1995. 17 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

5. National standard of Ukraine (DSTU-N B.2.5-71:2013) Sporudy dlia ochyshchennia poverkhnevyykh stichnykh vod. Nastanova z proektuvannia (SN 496-77, MOD) (Wastewater treatment facilities. Design Manual (CH 496-77, MOD)). Kyiv, 2014. 30 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

6. National standard of Ukraine (DSTU 8691:2016) Stichni vody. Nastanovy shchodo vstanovlennia tekhnolohichnykh normatyviv vidvedennia doshchovykh stichnykh vod u vodni ob'ekty (Wastewater. Guidance on establishing technological standards for the disposal of rainwater into water facilities). Kyiv, 2016. 28 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

7. Metodyka (M 218-02070915-254-2004) Metodyka ekolohichnykh vyshukuvan pry proektuvanni avtomobilnykh dorih (Methodology of ecological investigations in the design of roads). Kyiv, 2004. 8 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

8. Metodychnyi posibnyk (MP 218-03449261-610:2006) Metodychnyi posibnyk z okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha ta ratsionalnoho vykorystannia zemelnykh resursiv (Methodology of ecological investigations in the design of roads). Kyiv, 2006. 29 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

9. Pravyta pryimannia stichnykh vod pidpriemstv u komunalni ta vidomchi systemy kanalizatsii naselennykh punktiv Ukrainy : Order of State Construction of 19.02.2002 N 37 // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0403-02> (Last accessed: 20.04.2020).

10. Metodyka M 218-02071168-626:2007 Metodyka otsinky ekolohichnoho vplyvu avtomobilnoi dorohy na navkolyshnie seredovyshe (Methodology for assessing the environmental impact of the motor road). Kyiv, 2007/ 20 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

11. Metodychnyi posibnyk (MP 218-03449261-610:2006) Metodychnyi posibnyk z okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha ta ratsionalnoho vykorystannia zemelnykh resursiv (Handbook on environmental protection and rational use of land resources). Kyiv, 2006. 29 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

12. Rekomendatsii (R V.2.2-218-03450778-310-2004) Rekomendatsii po zapobihanni zabrudnennia dovkillia poverkhnevymy stokamy z avtomobilnykh dorih (Recommendations for prevention of environmental pollution by surface runoff from motor roads). Kyiv, 2004. 10 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

13. Rekomendatsii (R V.2.3-218-02070915-206-2003) Rekomendatsii po pryznachenni rozmiriv smuhy vidvedennia dlia dorih riznykh katehorii (Recommendations on the designation of right-of-way dimensions for roads of different categories). Kyiv, 2003. 14 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

14. Dikarevskiy V.S., Kurganov A.M., Nechayev A.P., Alekseev M.I. Otvedenye y ochystka poverkhnostnykh stochnykh vod (Surface water drainage and treatment) : Manual for Higher Educational Institutions. 1990. 224 p. [in Russian].

15. Rekomendatsii (R V.2.3-218-03450778-783:2011) Rekomendatsii z vyboru ta zastosuvannia tekhnolohichnykh skhem vidvedennia ta ochyshchennia stokiv z poverkhni avtomobilnykh dorih i shtuchnykh sporud (Recommendations for the selection and application of technological schemes for removal and treatment of runoff from the surface of roads and artificial structures). Kyiv, 2011. 37 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
16. Transport i zviazok Ukrainy. Statystychnyi zbirnyk (Transport and communication of Ukraine. Statistical collection). Kyiv, 2019. 153 p. [in Ukrainian].
17. Metodyka rozrakhunku vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn ta parnykovykh haziv u povitria vid transportnykh zasobiv (Methodology of calculation of pollutant and greenhouse gas emissions from vehicles). URL: http://ukrstat.org/uk/metod_polog/metod_doc/2008/452/metod.htm (Last accessed: 20.04.2020) [in Ukrainian].
18. Otsinka zabrudnennia atmosferного povitria osnovnykh avtomahistranei m. Kyieva za kryteriiem nekantserohennoho ryzyku (Assessment of the atmospheric air pollution of the main motor roads of Kyiv by non-carcinogenic risk criterion). *Ecological monitoring. Metrology. Standardization and certification. Extract 4*. Crimea, 2009. P. 99-103. [in Ukrainian].
19. Zabrudnennia avtotransportom (Pollution by vehicles). *Ecological monitoring. Metrology. Standardization and certification. Extract 4*. Crimea, 2009. P. 99-103. URL: <http://www.gpp.in.ua/transport/zabrudnennya-atmosferного-povitrya-vikidami-vid-transportu.html> (Last accessed: 20.04.2020) [in Ukrainian].
20. Zabrudnennia avtotransportom (Motor vehicle pollution). URL: <http://www.eco-live.com.ua/content/blogs/zabrudnennya-avtotransportom> (Last accessed: 20.04.2020) [in Ukrainian].
21. Tekhnichniy stan avtomobilnykh dorih zahalnoho vykorystannia (Technical condition of public roads). URL: <https://mtu.gov.ua/content/tehnichniy-stan-avtomobilnih-dorig-avtomobilnih-dorig-zagalnogo-vikoristannya.html> (Last accessed: 20.04.2020) [in Ukrainian].
22. State Building Norms (DBN V.2.5-75:2013) Kanalizatsiia. Zovnishni merezhi ta sporudy. Osnovni polozhennia proektuvannia (Sewerage. External networks and structures. Basic Design Provisions). Kyiv, 2013. 219 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
23. Vodni resursy Ukrainy (Water resources of Ukraine). URL: <http://www.nbu.gov.ua/node/3972> (Last accessed: 20.04.2020) [in Ukrainian].
24. Rutkovska I.A. Analiz metodyk otsiniuvannia zabrudnennia prydorozhnoho seredovyshcha (Analysis of methods for assessing roadside pollution). *T Visnik (Nacional'nij transportnij universitet)*. N 1 (34). Kyiv, 2016. P. 414-423. [in Ukrainian].
25. Kytaiev A.L. Akumuluvannia, ochystka ta vykorystannia poverkhnevo-zlyvovoho stoku z terytorii promyslovykh pidpriemstv (Accumulation, treatment and use of surface runoff from the territories of industrial enterprises). PhD. Thesis. Kharkiv, 1997. 18 p. [in Ukrainian].
26. Melnikova O.H. (Improving the environmental safety of suburban road infrastructure): PhD. Kharkiv, 2017. 191 p. [in Ukrainian].
27. Metodyka (M 218-02070915-694:2011) Metodyka otsiniuvannia inhrediiennoho i parametrychnoho zabrudnennia prydorozhnoho seredovyshcha systemoiu transportnyi potik - doroha. (Methodology for assessing the ingredient and parametric pollution of the roadside environment by the system of traffic flow-road). Kyiv, 2011, 28 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
28. Metodyka (M 42.1-37641918-766:2017) Metodyka rozrakhunku hidrobotanichnykh maidanchykyv pry zdiisnenni ochyshchennia stichnykh vod iz poverkhni avtomobilnykh dorih i mostovykh sporud (Methods of calculation of hydrobotanical sites in the implementation of wastewater treatment from the surface of roads and bridges). Kyiv, 2017. 41 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
29. Bodnar L.P. Stepanov S.M. Koval P.M. Obstezhennia mostiv ta vdoskonalennia kryteriiv planiv z obstezhen (Inspection of bridges and improvement of criteria for inspection plans). *Dorogi i mosti*. N 17. 2017. P. 42-53. [in Ukrainian].

30. Metodyka (M 218-02070915-254-2004) Metodyka ekolohichnykh vyshukuvan pry proektuvanni avtomobilnykh dorih (Methods of ecological research in the design of roads). Kyiv, 2004. 8 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

31. State Standard of Ukraine (DSTU EN 858-1:2019) Separatorni systemy dlia lehkykh ridyn (napryklad, nafty ta benzynu). Chastyna 1. Pryntsypy proektuvannia, robochi kharakterystyky ta vyprobuvannia, markuvannia ta kontroliuvannia yakosti (EN 858-1:2002, IDT) (Separator systems for light liquids (e.g. oil and petrol). Part 1. Principles of product design, performance and testing, marking and quality control (EN 858-1:2002, IDT). Kyiv, 2019. 55 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

32. Prozzoro. Public procurement. URL: <https://prozorro.gov.ua/tender/UA-2020-04-22-000100-b> (Last accessed: 22.04.2020).

Vladyslav Havryshchuk,¹ <https://orcid.org/0000-0003-3164-4426>

Volodymyr Kaskiv,² Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

¹ACO Building Materials Ltd., Kyiv, Ukraine

²M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

JUSTIFICATION OF EXPEDIENCY OF DESIGNING THE SURFACE DRAINAGE SYSTEMS AS A COMPONENT OF A COMPLEX OF TREATMENT FACILITIES ON ROADS

Abstract

Introduction. The analysis of recent studies on surface wastewater pollution from roadways is provided. The prospect of application of surface drainage systems in the composition of the complex for treatment of contaminated runoff is determined in Ukraine.

Problem statement. One of the prerequisites for the effective functioning of measures to minimize the impact of road transport on the environment is the use of efficient drainage from the roadway. Minimization of pollutants removal on the soil surface due to the use of modern drainage systems in the complex of sanitary measures.

Objective. Define an analysis of the feasibility of designing surface drainage systems as a component of a complex of sewage treatment plants on public roads. Determine the impact on minimizing costs when calculating a lane. Analyze existing methods for surface runoff treatment.

Materials and methods. Analysis of information sources on the application of surface water drainage systems on highways. Analytical studies of the effectiveness of measures to minimize the effects of road transport on the environment.

Results. Prospective directions of increase of efficiency of nature protection measures are defined. The issue of minimizing the environmental impact of polluted surface runoff from the travel time has been studied. The main advantages of implementation of modern solutions for drainage are investigated. The actual magnitude of the environmental impact of transport is determined.

Conclusions. The analysis of information sources on the use of surface drainage systems has shown economic and technical feasibility, while the implementation of complex sanitary solutions can significantly reduce the impact of road transport on soil and aquatic environment. Effective collection of surface runoff is the first step in reducing pollution.

Keywords: road, motorway transport, heavy metals, drainage channel, limits and allowables concentration, pollution, oil, treatment plant.

УДК 625.168

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

Желтобрюх А. Д., <https://orcid.org/0000-0003-0764-8793>

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

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

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

ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ПРОМИСЛОВОСТІ В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

Анотація

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

Проблематика. В умовах ринкової економіки та недостатнього фінансування дорожньої галузі, екологічних проблем та виснаження природних ресурсів, першочерговим завданням є використання відходів промисловості в будівництві доріг при цьому забезпечивши експлуатаційну надійність шарів дорожніх одягів, а також здійснення заходів спрямованих на ресурсо- та енергозбереження. В Україні передбачається можливим поряд з природними матеріалами в якості сировини використовувати відходи промисловості, до яких відносять металургійні шлаки, золу-винесення з ТЕС, вторинний поліетилен і гумову крихту.

Мета. Виконати аналіз існуючого досвіду використання відходів промисловості в дорожньому будівництві для подальшого впровадження і підвищення екологічної безпеки та експлуатаційних характеристик дорожніх одягів за рахунок нових дорожньо-будівельних матеріалів.

Матеріали і методи. Аналіз інформаційних джерел і досвіду щодо використання відходів промисловості в дорожньому будівництві та дослідження вимог до матеріалів та їх складу.

Результати. Проведено аналітичний огляд досвіду використання відходів промисловості в дорожньому будівництві. Вивчено та проаналізовано різні матеріали, встановлені вимоги до матеріалів, їх гранулометричного складу, вмісту в бітумі та асфальтобетонній суміші.

Висновки. Аналізом інформаційних джерел щодо використання відходів промисловості в дорожньому будівництві встановлено, що їх використовують у повному обсязі в різних країнах світу і в більшості випадків у дорожньому будівництві. Було встановлено, що використання різних відходів під час будівництва автомобільних доріг є життєздатним варіантом, який потребує подальшого вивчення.

Ключові слова: асфальтобетонна суміш, бітум, вторинний поліетилен, гумова крихта, зола-винесення, шлак.

Вступ

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

Утилізація вторинних матеріалів у дорожньому будівництві є поширеною практикою у більшості країн. У Європейському Союзі велика кількість вторинних матеріалів була використана в дорожніх проектах, це такі матеріали як: доменний і сталеплавильний шлак, зола від теплових електростанцій, матеріали від зносу будівель або ремонту доріг, гумова крихта — продукт переробки автомобільних шин, вторинний поліетилен — будь-який матеріал із широкого спектру синтетичних або напівсинтетичних речовин тощо.

Слід зазначити, що попри лояльне відношення багатьох держав до використання відходів промисловості деякі матеріали не знаходять місце в дорожньому будівництві.

У Данії сталеплавильні шлаки та золу-винесення повністю використовують під час виробництва асфальтобетонних сумішей. Аналогічної політики також дотримується Фінляндія. У США лише 10 % щорічного виробництва шлаків викидається в навколишнє середовище, більшість із них використовують у всіх сферах дорожнього будівництва. В Японії відходи промисловості утилізують у дорожньому та цивільному будівництві, а в деяких випадках і створюють новий матеріал для подальшого використання.

Найбільша перешкода для використання вторинних матеріалів у будівництві пов'язана із негативними властивостями деяких матеріалів, які потенційно можуть негативно впливати на довкілля, наприклад: доменний шлак та золошлак може бути радіоактивний. Але це не є сталим показником для більшості вторинних матеріалів.

В Україні на теперішній час не вирішено питання утилізації відходів промисловості, тому більше 90 % знаходяться у відвалах та несуть в собі великий ризик для екології, і тільки до 10 % утилізується в будівельних проектах, хоча вже існує «Державна цільова економічна програма розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018–2022 роки», яка регламентує використання місцевих матеріалів, включаючи відходи виробництва промисловості в будівництві.

Основна частина

Використання золи-винесення

Зола-винесення — один із залишків, що утворюються при спалюванні вугілля. Складається з мікродисперсних часток, що піднімаються разом із димовими газами. Один з основних забруднювачів, які походять від горіння.

Дослідженням можливості використання золи-винесення займалися різні дослідники [1–3]. Кар отримав результати, що засвідчили більшу стабільність асфальтобетонних зразків при поєднанні золи-винесення з цементом [1].

У роботі [2] вапняковий порошок було замінено на золу виносу в кількості 50 % та 100 %. У результаті було отримано результати, що засвідчили поліпшення стійкості асфальтобетону до постійної деформації.

У роботі [3] було показано, що часткова заміна мінерального порошку золою-винесення дозволяє на 7,5 % зменшити оптимальний вміст бітуму в щільних щебневих сумішах, оброблених бітумом («бітумний макадам»).

У 2015 році Н. Ж. Маданбеков та Б. Ж. Осмонова провели дослідження з використання золи-винесення для заміни мінерального порошку в асфальтобетонній суміші [4]. За результатами проектування суміші відповідно до AASHTO T 245 було встановлено, що міцність асфальтобетону із золою-винесення не відрізняються від асфальтобетону з традиційним мінеральним порошком. Експериментальні дослідження показали доцільність використання цього матеріалу в складі асфальтобетону, що дозволяє створити реальні умови для економії таких дефіцитних матеріалів, як мінеральний порошок.

Використання вторинного поліетилену

Вторинний поліетилен є дешевим продуктом переробки відходів виробів з поліетилену: сільськогосподарської плівки, плівкової тари, оболонки телефонного кабелю тощо.

В Іспанії та інших західноєвропейських країнах для підвищення температури розм'якшеності та еластичності бітумів, що вміщують термопласти на основі поліетилену (ЕВА) використовують більш дорогі термоеластоласти типу СБС.

У роботі [5] було вивчено можливість використання сумішей різних відходів полімерів для модифікації бітумів. Перевірялась лише зміна в'язкості та температури розм'якшеності. Встановлено, що модифікація бітуму 6 % суміші вторинного поліетилену та полімеру ЕВА (2:4) дозволяє отримати в'язуче, з penetрацією за температури 25 °С — 95·0,1 мм та температурою розм'якшеності 70 °С, що наближається до бітуму, модифікованого 5 % СБС. При модифікації бітуму сумішшю полімерів, яка складається з 4 % СБС та 3 % вторинного поліетилену було отримано в'язуче, що при тій же в'язкості має температуру розм'якшеності, яка не поступається температурі розм'якшеності бітуму, модифікованого 5 % СБС (72 °С).

Професор Веренько А. А. [6] з метою зниження вартості модифікованого бітуму досліджував можливість використання кондиційного термопласту на основі поліетилену для часткової заміни більш дорогого термоеластопласту. Замість 5 % термоеластопласту було запропоновано вводити у бітум 5 % суміші термоеластопласту та вторинного поліетилену у співвідношенні 1:3. При цьому висловлено думку, що ефект від суміщення в якому-небудь середовищі двох полімерів буде значно вищим, ніж цього можна очікувати за правилами сумішей. Це відбувається за рахунок утворення міжфазних переходів в шарах, які обумовлюють особливі властивості сумішей. У Білорусі також проводились дослідження з метою визначення доцільності використання порошкоподібних відходів переробки старих кабелів — суміші вторинного поліетилену та каучуків для модифікації асфальтобетонів. Асфальтобетон на основі бітуму, модифікованого 5 % та 7 % відходів, мав у 2 рази більшу міцність на стиск за температури 50 °С, ніж звичайний без зниження опору низькотемпературному розтріскуванню. При введенні відходу в кількості 1 % від маси мінеральної частини безпосередньо в асфальтобетонну суміш отримано збільшення міцності на стиск за температури 50 °С у 1,7 рази. Аналіз наведеної інформації свідчить про можливість зниження вартості модифікованих бітумів шляхом використання вторинного поліетилену.

У роботі [7] при дослідженні впливу вторинного поліетилену на властивості асфальтобетону було встановлено, що при введенні поліетилену зменшується пористість і водонасичення асфальтобетону, покращуються міцнісні показники. Аналогічні результати було отримано в роботі [8]. Дослідженнями [9] встановлено, що вторинний поліетилен в кількості від 5 % до 11 % може бути використано для модифікації бітуму марки 60/70.

При дослідженні впливу вторинного поліетилену в кількості від 1,0 % до 5,0 % було встановлено, що найкращі результати отримано при вмісті вторинного поліетилену 4 %, про що

засвідчили результати визначення стабільності асфальтобетонних зразків за Маршалом [10].

Рокдей [11] показав що, вторинний поліетилен збільшує температуру розм'якшеності бітуму, а також дозволяє збільшити строк експлуатації дорожнього покриття із використанням його в якості в'язучого.

Проведені випробування з визначення міцності за Маршалом для різного вмісту бітуму та вторинного поліетилену засвідчили зменшення пористості та водонасичення, а результати підвищеної міцності та теплостійкості дозволяють прогнозувати збільшення довговічності за рахунок меншого старіння [12–17].

Використання гумової крихти

Гумову крихту отримують шляхом подрібнення автомобільних шин до розміру від 0,63 мм до 1,0 мм. Її можна використовувати під час будівництва автомобільних доріг та для заміни звичайних будівельних матеріалів, серед переваг її використання відмічають покращені дренажні властивості та хорошу теплоізоляцію [18, 19].

Найбільш економічно-ефективні розробки було виконано із застосуванням асфальтобетонних сумішей, модифікованих гумовою крихтою [20]. Додавання гумової крихти можна виконувати безпосередньо в гарячий бітум (вологий процес) або в суміш (сухий процес). Наприклад, у [21] показано значне поліпшення в'язкопружних характеристик і в'язкості бітуму в порівнянні з вихідним бітумом, як результат, отримано кращу стійкість до постійної деформації. Будівництво дороги повинно бути швидким, оскільки може відбутися осідання частинок гумової крихти у в'язучому.

Позитивний досвід використання гумової крихти ліг в основу створення Мандату законодавчого органу штату Каліфорнія щодо використання асфальтобетонних сумішей, модифікованих гумовою крихтою у кількості 35 % від маси бітуму. Міністерство транспорту Каліфорнії вирішило використовувати асфальтобетонні суміші, модифіковані гумовою крихтою, для влаштування шару покриття. Використання гумової крихти дозволяє зменшити товщину шару вдвічі. Це пояснюється покращеними характеристиками втоми та тріщиностійкості асфальтобетону, що, у свою чергу, приводить до значного зменшення викидів CO₂ під час будівництва та на етапі технічного обслуговування впродовж строку служби автомобільної дороги. Додатковою перевагою використання гумової крихти в покритті є зниження шуму. Використання гумової крихти приводить до приглушення генерованих коливань від взаємодії шин і дорожнього покриття, які є домінуючими механізмами шуму від взаємодії шина-дорога [22].

У роботі [23] показано, що додавання гумової крихти в асфальтобетонну суміш зменшує обсяг дрібного заповнювача та збільшує гнучкість і міцність на вигин шару покриття автомобільних доріг. Гумову крихту було використано для заміни дрібного заповнювача аналогічного розміру, щоб зберегти заданий гранулометричний склад. За результатами випробування було встановлено, що найкращі результати мають суміші з 5 % та 10 % гумової крихти.

Під час введення гумової крихти зменшується penetрація бітуму тим більше, чим більше вміст гумової крихти. Зменшення penetрації свідчить про збільшення в'язкості бітуму, надаючи додаткової міцності дорозі та зменшує пористість. Найбільшою перевагою використання бітуму, модифікованого гумовою крихтою, є те, що тривалість експлуатації дороги збільшується порівняно зі звичайним бітумом, тоді як зростання витрат на експлуатацію дороги зменшуються [24].

Використання шлаків

Шлак — металургійний розплав, що зазвичай покриває поверхню рідкого металу при металургійних процесах — плавці сировини, обробці розплавлених проміжних продуктів і рафінуванні металів. Є сплавом оксидів змінного складу; головні компоненти шлаку — кислотний

оксид SiO_2 і основні оксиди CaO , FeO , MgO , а також нейтральні Al_2O_3 і ZnO .

Шлак з успіхом використовують у дорожньому будівництві. Наприклад, шари дорожнього покриття, що складаються з шлаку доменної печі (BF) та киснево-конвертерного сталеплавильного шлаку (BO) зазвичай застосовують у таких країнах Європи як Англія та Франція, також широко використовують шлаки з електричної дугової печі (EAF), які отримують після певного промислового виробничого процесу [25–29].

У роботі [30] оцінено експлуатаційні характеристики асфальтобетонів із шлаком EAF, які продемонстрували задовільні показники щодо зчеплення та шорсткості поверхні.

Проведені дослідження щодо часткової та повної заміни природних заповнювачів на шлаки у складі пористих та щобенево-мастикових асфальтобетонів показали, що асфальтобетонні суміші, виготовлені зі шлаком, придатні для влаштування асфальтобетонних покриттів. [31, 32].

В Україні застосування щобеневих матеріалів із шлаків металургійних визначається їх властивостями. Відповідно до пункту 11.1 ДСТУ Б В.2.7-30 щобеневі матеріали може бути використано під час влаштування покриття, шарів основи, додаткових шарів основи, вирівнювання поверхні шарів основи дорожнього одягу на автомобільних дорогах загального користування методом заклинки або із сумішей. При цьому, влаштування покриття із щобеневих матеріалів можливе на автомобільних дорогах IV–V категорії, а шарів основи — I–V категорії.

Висновки

Використання різних відходів під час будівництва автомобільних доріг є життєздатним варіантом, який потребує подальшого вивчення. Рівень технічної готовності серед досліджуваних матеріалів сильно відрізняється.

Характерним прикладом є застосування гумової крихти, а також законодавчо, наприклад, у Каліфорнії США, де ця технологія є технічно розвинутою та підтримана законодавчо на відміну від Франції, Італії та Іспанії, де є перешкода у її використанні через місцеве національне законодавство, а іноді і недостатню довіру до наукових досліджень. Хоча результати досліджень свідчать, що додавання гумової крихти в асфальтобетонні суміші зменшує кількість природного заповнювача за об'ємом і збільшує міцність на згин. Це не тільки мінімізує забруднення навколишнього середовища, але й зменшує використання природних заповнювачів.

Вторинний поліетилен покращує властивості бітуму та асфальтобетону, підвищує його стійкість, а також зменшує пористість і водонасичення. Золу-винесення використовують, зокрема для заміни мінеральному порошку в асфальтобетонних сумішах. Властивості отриманих асфальтобетонів такі як і в традиційних асфальтобетонах при збільшенні густини та зменшенні водонасичення.

Також перспективним матеріалом для влаштування як незв'язних шарів дорожнього одягу, так і оброблених в'язчими, є металургійний шлак. Використання шлаку дозволить значно знизити використання природних заповнювачів і зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Список літератури

1. Kar Debashish et al. Influence of Fly Ash as a Filler in Bituminous Mixes. *ARPN Journal of Engineering and applied sciences*. 2014. N 9. P. 895-900. URL: http://www.arpnjournals.com/jeas/research_papers/rp_2014/jeas_0614_1117.pdf (дата звернення: 20.04.2020).
2. Kumar Ajoy & Kumar Chhotu Anil. Experimental Investigation of Bituminous Mixes Using Fly Ash as Filler Material. *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*. 2016. N 1. P. 4-6.
3. Misty Raja & Kumar Roy tapas. Effect of Using Fly Ash as Alternative Filler in Hot Mix

Asphalt. *Perspectives in science*. 2016. P. 307-309. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.04.061> (дата звернення: 20.04.2020).

4. Маданбеков Н.Ж., Осмонова Б.Ж. Минеральные порошки из вторичных продуктов ТЭЦ г. Бишкек в составе асфальтобетонных покрытий. *Известия национальной академии наук Кыргызской Республики*. 2012. № 4. С. 64-66.

5. Merfy M., O'Mahony M. C. Lycet, I. Jamieson. Bitumens modified with recycled polymers. *Materials and Structures*. 2000. № 33. P. 438-444. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02480663> (дата звернення 20.04.2020).

6. Веренько В.А. Новые материалы в дорожном строительстве: учеб. пособ. Минск, 2004. 170 с.

7. Soni Kapil & Punjabi K.K. Improving the Performance of Bituminous Concrete Mix by Waste Plastic. *International Journal of Engineering Research and Application*. 2013. N 3. P. 863-868. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.644.7797&rep=rep1&type=pdf> (дата звернення: 20.04.2020).

8. Santosh Yadav et al. Performance Evaluation of Waste Plastic and Bitumen Concrete mix in Flexible Pavements. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. Chhattisgarh, 2013. N 4 (10). P. 398-406.

9. Kazami Sukaina & Govardhana Rao Dubasi. Utilization of Waste Plastic Material as Bitumen - Blends for Road Construction in Oman. *Scholars Journal of Engineering and Technology*. 2015. P. 9-13.

10. Soyal Pradeep Use of Waste Polythene in Bituminous Concrete Mixes. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2015. N 2. P. 1114-1116.

11. Rokdey Shweta N et al. Use of Plastic Waste in Road Construction. *International conference on Quality Up- gradation in Engineering Science and Technology*. P 27-29.

12. Dawale S.A. Use of Waste Plastic Coated Aggregate in Bituminous Road Construction. *International Journal of Advancement in Engineering Technology Management and Applied Science*. 2016. N 3. P. 118-126.

13. Rajput Pratiksha Singh & Yadav R. K. Use of Plastic Waste in Bituminous Road Construction. *International Journal of Science Technology & Engineering*. 2016. N 2. P. 509-513.

14. Hassani A., Ganjidoust H., Maghanaki A.A. Use of plastic waste (poly-ethylene terephthalate) in asphalt concrete mixture as aggregate replacement. *Waste Management & Research*. 2005. N 23. P. 322-327. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X05056739> (дата звернення 20.04.2020).

15. Moghaddam T.B., Karim M.R., Syammaun T. Dynamic properties of stone mastic asphalt mixtures containing waste plastic bottles. *Construction and Building Materials*. 2012. N 34. P. 236-242.

16. Moghaddam T.B., Soltani M., Karim M.R. Evaluation of permanent deformation characteristics of unmodified and Polyethylene Terephthalate modified asphalt mixtures using dynamic creep test. *Mater. Des.* 2014. N 53. P. 317-324.

17. Rahman, W.M.N.W.A., Wahab, A.F.A. Green pavement using recycled polyethylene terephthalate (PET) as partial fine aggregate replacement in modified asphalt. *Malaysian Technical Universities Conference on Engineering & Technology 2012, MUCET 2012*. 2013. P. 124-128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.018> (дата звернення 20.04.2020).

18. F. Canestrari, E. Pasquini, F. A. Santagata, I. Antunes *Asphalt Conference*. Portugal, 2000. P. 978-989.

19. Sousa J.B. *Editor of the Proceedings of the Asphalt Rubber 2012 Conference*. Germany. 2012. P. 978-989.

20. Dondi G., Tataranni P., Pettinari M., Sangiorgi C., Simone A., Vignali V. Crumb rubber in cold recycled bituminous mixes: comparison between traditional crumb rubber and cryogenic crumb rubber. *Construction and Building Materials*. 2014. 68. P. 370-375.

21. Liang M., Xin X., Fan W., Luo H., Wang X., Xing B. Investigation of the rheological properties and storage stability of CR/SBS modified asphalt. *Construction and Building Materials*. 2015. N 74. P. 235-240. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.022> (дата звернення 20.04.2020).
22. Bueno M., Luong J., Teran F., Vinuela U., Paje S.E. 2014. Macrotecture influence on vibrational mechanisms of the tyre/road noise of an asphalt rubber pavement. *Int. J. Pavement Eng.* 2015. N 15. P. 606-613. DOI: <https://doi.org/10.1080/10298436.2013.790547> (дата звернення: 20.04.2020).
23. Baraiya Niraj D. Use of Waste Rubber Tyres in Construction of Bituminous Road - An Overview. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*. 2013. N 2. P. 108-110. URL: <https://www.ijaiem.org/volume2issue7/IJAIEM-2013-07-10-028.pdf> (дата звернення: 20.04.2020).
24. Deshmukh Nitu H. & Kshirsagar Prof. D. Y. Utilization of Rubber Waste in Construction of Flexible Pavement. *International Journal of Advance Research and Development*. 2017. N 2 (7). URL: <https://www.ijarnd.com/manuscripts/v2i7/V2I7-1170.pdf> (дата звернення: 20.04.2020).
25. Dunster A.M. The use of blastfurnace slag and steel slag as aggregates. *Proceedings of the Fourth European Symposium on Performance of Bituminous and Hydraulic Materials in Pavements, Bitmat 4*. Nottingham, 2017. P. 257-260
26. Rockliff D., Moffett A., Thomas N. Recent developments in the use of steel slag aggregates in asphalt mixtures in the UK. *Proceedings of the 4th European Symposium on Performance of Bituminous and Hydraulic Materials in Pavements*. Nottingham, 2002. 5 p.
27. Pascal S., Jan-Erik L., Maria A., Paul F.K. Reproducing ten years of road ageing - accelerated carbonation and leaching of EAF steel slag. *International Journal of Highway Engineering*. 2009. N 17 (1). P. 25-33 DOI : <https://doi.org/10.7855/IJHE.2015.17.1.025> (дата звернення: 20.04.2020).
28. Morone M., Costa G., Poletini A., Pomi R., Baciocchi R. Valorization of steel slag by a combined carbonation and granulation treatment. *Mineral Engineering*. 2014. N 59. P. 82-90.
29. Ellis C. Performance and durability aspects of asphalts incorporating electric arc furnace steel slag aggregates designed for use in thin pavement surfaces. *Proceedings of the 3rd European Symposium on Performance and Durability of Bituminous Materials and Hydraulic Stabilized Composites*. Leeds, 1999. P. 221-238.
30. Liapis I., Likoydis S. Use of electric arc furnace slag in thins skid-resistant surfacing. Transport research areana. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2012. N 48, P. 907-918. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1068> (дата звернення: 20.04.2020).
31. Cannone Falchetto A., Moon K.H. Remarks on the use of electric arc furnace (EAF) steel slag in asphalt mixtures for flexible pavements. *International Journal of Highway Engineering*. 2015. 17 (1), P. 25-33.
32. Grönniger J., Wistuba M.P., Cannone Falchetto A. Reuse of Linz-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. URL: https://pdfs.semanticscholar.org/3760/a08d57d8058cd7d6c24e42da1cb5e553c38c.pdf?_ga=2.220735583.638416509.1589892831-1047910380.1589892831 (дата звернення: 20.04.2020).

References

1. Kar Debashish et al. Influence of Fly Ash as a Filler in Bituminous Mixes. *ARPJ Journal of Engineering and applied sciences*. N 9. 2014, P. 895-900. URL: http://www.arpnjournals.com/jeas/research_papers/rp_2014/jeas_0614_1117.pdf (Last accessed: 20.04.2020) [in English].
2. Kumar Ajoy & Kumar Chhotu Anil. Experimental Investigation of Bituminous Mixes Using

Fly Ash as Filler Material. *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*. 2016. N 1. P. 4-6.

3. Misty Raja & Kumar Roy tapas. Effect of Using Fly Ash as Alternative Filler in Hot Mix Asphalt. *Perspectives in science*. 2016. P. 307-309. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.04.061> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

4. Madanbekov N.Zh., Osmonova B.Zh. Mineralnyye poroshki iz vtorychnykh produktov TETs g. Bishkek v sostave asfaltobetonnykh pokrytiy (Mineral powders from the secondary products of Bishkek thermal power plants in the composition of asphalt concrete coatings). *Kyrgyz SSR ilimder akademiâsynyn kabarlary*. 2012. № 4. P. 64-66. [in Russian].

5. Merfy M., O'Mahony M. C. Lycet, I. Jamieson. Bitumens modified with recycled polymers. *Materials and Structures*. 2000. № 33. P. 438-444. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02480663> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

6. Verenko V.A. Novyye materialy v dorozhnom stroitelstve (New materials in road construction): tutorial. Minsk. 2004. 170 p. [in Russian].

7. Soni Kapil & Punjabi K.K. Improving the Performance of Bituminous Concrete Mix by Waste Plastic. *International Journal of Engineering Research and Application*. 2013. N 3. P. 863-868. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.644.7797&rep=rep1&type=pdf> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

8. Santosh Yadav et al. Performance Evaluation of Waste Plastic and Bitumen Concrete mix in Flexible Pavements. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. Chhattisgarh, 2013. N 4 (10). P. 398-406. [in English].

9. Kazami Sukaina & Govardhana Rao Dubasi. Utilization of Waste Plastic Material as Bitumen - Blends for Road Construction in Oman. *Scholars Journal of Engineering and Technology*. 2015. P. 9-13. [in English].

10. Soyal Pradeep Use of Waste Polythene in Bituminous Concrete Mixes. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2015. N 2. P. 1114-1116. [in English].

11. Rokdey Shweta N et al. Use of Plastic Waste in Road Construction. *International conference on Quality Up- gradation in Engineering Science and Technology*. P 27-29. [in English].

12. Dawale S.A. Use of Waste Plastic Coated Aggregate in Bituminous Road Construction. *International Journal of Advancement in Engineering Technology Management and Applied Science*. 2016. N 3. P. 118-126. [in English].

13. Rajput Pratiksha Singh & Yadav R. K. Use of Plastic Waste in Bituminous Road Construction. *International Journal of Science Technology & Engineering*. 2016. N 2. P. 509-513. [in English].

14. Hassani A., Ganjidoust H., Maghanaki A.A. Use of plastic waste (poly-ethylene terephthalate) in asphalt concrete mixture as aggregate replacement. *Waste Management & Research*. 2005. N 23. P. 322-327. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X05056739> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

15. Moghaddam T.B., Karim M.R., Syammaun T. Dynamic properties of stone mastic asphalt mixtures containing waste plastic bottles. *Construction and Building Materials*. 2012. N 34. P. 236-242.

16. Moghaddam T.B., Soltani M., Karim M.R. Evaluation of permanent deformation characteristics of unmodified and Polyethylene Terephthalate modified asphalt mixtures using dynamic creep test. *Mater. Des.* 2014. N 53. P. 317-324. [in English].

17. Rahman, W.M.N.W.A., Wahab, A.F.A. Green pavement using recycled polyethylene terephthalate (PET) as partial fine aggregate replacement in modified asphalt. *Malaysian Technical Universities Conference on Engineering & Technology 2012, MUCET 2012*. 2013. P. 124-128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.018> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

18. F. Canestrari, E. Pasquini, F. A. Santagata, I. Antunes *Asphalt Conference*. Portugal, 2000. P. 978-989. [in English].

19. Sousa J.B. *Editor of the Proceedings of the Asphalt Rubber 2012 Conference*. Germany. 2012. P. 978-989. [in English].
20. Dondi G., Tataranni P., Pettinari M., Sangiorgi C., Simone A., Vignali V. Crumb rubber in cold recycled bituminous mixes: comparison between traditional crumb rubber and cryogenic crumb rubber. *Construction and Building Materials*. 2014. 68. P. 370-375. [in English].
21. Liang M., Xin X., Fan W., Luo H., Wang X., Xing B. Investigation of the rheological properties and storage stability of CR/SBS modified asphalt. *Construction and Building Materials*. 2015. 74. P. 235-240. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.022> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].
22. Bueno M., Luong J., Teran F., Vinuela U., Paje S.E. 2014. Macrotecture influence on vibrational mechanisms of the tyre/road noise of an asphalt rubber pavement. *Int. J. Pavement Eng.* 2015. 15. P. 606-613. DOI: <https://doi.org/10.1080/10298436.2013.790547> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].
23. Baraiya Niraj D. Use of Waste Rubber Tyres in Construction of Bituminous Road - An Overview. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*. 2013. N 2. P. 108-110. URL: <https://www.ijaiem.org/volume2issue7/IJAIEM-2013-07-10-028.pdf> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].
24. Deshmukh Nitu H. & Kshirsagar Prof. D. Y. Utilization of Rubber Waste in Construction of Flexible Pavement. *International Journal of Advance Research and Development*. 2017. N 2 (7). URL: <https://www.ijarnd.com/manuscripts/v2i7/V2I7-1170.pdf> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].
25. Dunster A.M. The use of blastfurnace slag and steel slag as aggregates. *Proceedings of the Fourth European Symposium on Performance of Bituminous and Hydraulic Materials in Pavements, Bitmat 4*. Nottingham, 2017. P. 257-260. [in English].
26. Rockliff D., Moffett A., Thomas N. Recent developments in the use of steel slag aggregates in asphalt mixtures in the UK. *Proceedings of the 4th European Symposium on Performance of Bituminous and Hydraulic Materials in Pavements*. Nottingham, 2002. 5 p. [in English].
27. Pascal S., Jan-Erik L., Maria A., Paul F.K. Reproducing ten years of road ageing - accelerated carbonation and leaching of EAF steel slag. *International Journal of Highway Engineering*. 2009. N 17 (1). P. 25-33 DOI : <https://doi.org/10.7855/IJHE.2015.17.1.025> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].
28. Morone M., Costa G., Poletini A., Pomi R., Baciocchi R. Valorization of steel slag by a combined carbonation and granulation treatment. *Mineral Engineering*. 2014. N 59. P. 82-90. [in English].
29. Ellis C. Performance and durability aspects of asphalts incorporating electric arc furnace steel slag aggregates designed for use in thin pavement surfaces. *Proceedings of the 3rd European Symposium on Performance and Durability of Bituminous Materials and Hydraulic Stabilized Composites*. Leeds, 1999. P. 221-238. [in English].
30. Liapis I., Likoydis S. Use of electric arc furnace slag in thins skid-resistant surfacing. Transport research areana. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2012. N 48, P. 907-918. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1068> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].
31. Cannone Falchetto A., Moon K.H. Remarks on the use of electric arc furnace (EAF) steel slag in asphalt mixtures for flexible pavements. *International Journal of Highway Engineering*. 2015. 17 (1), P. 25-33. [in English].
32. Grönniger J., Wistuba M.P., Cannone Falchetto A. Reuse of Linz-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. URL: https://pdfs.semanticscholar.org/3760/a08d57d8058cd7d6c24e42da1cb5e553c38c.pdf?_ga=2.220735583.638416509.1589892831-1047910380.1589892831 (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

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

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

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

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

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

USE OF INDUSTRIAL WASTE IN ROAD CONSTRUCTION

Abstract

Introduction. Recycling of secondary production materials is intended to conserve natural resources and reduce the amount of waste that must be disposed of in special landfills. Recycling is very much encouraged in many European Union countries, which have relevant provisions in all waste management directives. A key element in the promotion of waste recycling is the ‘polluter pays’ principle, which has been incorporated into all Community directives on the management of safe and hazardous waste. In order to promote recycling, many Member States have adopted specific environmental legislation, in particular the payment of waste tax.

Problem statement. In a market economy and underfunding of the road industry, environmental problems, including industry and depletion of natural resources, are of primary importance for the use of industrial wastes in road construction, while ensuring the operational reliability of layers of road clothing, as well as implementing resource- and energy-efficient measures. In Ukraine, along with natural materials, industrial waste is used as raw materials, which include metallurgical slag, TPP ash, plastic and rubber crumbs.

Purpose. Perform an analysis of existing experience in the use of industrial waste in road construction for the further introduction and improvement of operational safety and operational characteristics of road surfaces of Ukraine at the expense of new road construction materials.

Materials and methods. Analysis of information sources and experience on the use of industrial waste in road construction and study of material requirements and composition of such mixtures.

Results. An analytical review of the experience of using industrial waste in road construction has been carried out. Various materials have been studied and analyzed, requirements for the use of materials, particle size, bitumen content and asphalt mix have been established.

Conclusions. The analysis of information sources on the use of waste in the road construction industry shows that industrial waste is used in full in various countries of the world and in most cases in road construction. The use of various wastes on the roads has been found to be a viable option that needs further study.

Keywords: asphalt concrete mix, bitumen, recycled polyethylene, rubber crumb, fly ash, slag.

UDC 625.7/.8

Zsolt Bencze,¹ Ph.D., <https://orcid.org/0000-0003-2130-7864>

László Gáspár,² D.Sc., Prof., <https://orcid.org/0000-0002-0574-4100>

¹ Ferrobeton Private Limited Liability Company, Dunaújváros, Hungary

² KTI Institute for Transport Sciences Non-Profit Ltd., Budapest, Hungary

ROLLER COMPACTED CEMENT CONCRETE (RCC) PAVEMENT

Abstract

Introduction. Construction of Roller Compacted Concrete or Rolling Compacted Concrete (RCC) road pavements is well-spread in many countries all over the world. (Its name comes from the heavy steel drum rollers, which compact the concrete into final form).

Problem statement. It has several advantages but its technique is different from that of „traditional” cement concrete pavement.

Purpose. The article presents the specialities of RCC techniques and the international application experiences emphasizing the Hungarian ones in order to support the introduction of the technology in other countries.

Materials and methods. The RCC consists of the same ingredients as conventional concrete does, but it has a higher percentage of fine aggregates and is stiff enough to remain stable under compaction having sufficient water for distributing the paste without segregation. RCC pavements can be constructed without forms, dowels or reinforcing steel. The article will supply with an introduction to and updated review of RCC and its many paving applications. Previous relevant research works and the results of laboratory test series will be summarized which were done partly in Hungary and partly in other countries. The importance of the following of strict technological rules in producing high-quality material is also emphasized. Besides the main points of recently published Hungarian Road Technical Directives are presented. Finally, some long-term performance data of Roller Compacted Concrete experimental (test) sections are discussed.

Results. This technology gives a favourable economical alternative for several layers in rigid and semi-rigid pavement structures, pavements carrying heavy loads in low-speed areas, as well as dams. Its trial use and later the introduction of the technology into the so-called “technological choice” is recommended in every country, included Ukraine.

Keywords: pavements, concrete pavements, roller compacted concrete, trial sections, concrete mix design, concrete pavement construction.

Introduction

Roller compacted concrete (RCC) is an economical, fast-construction candidate for many pavement applications. It has traditionally been used for pavements carrying heavy loads in low-speed areas because of its relatively coarse surface. However, in recent years its use in commercial areas and for local streets and highways has been increasing. Based on current research and best practices, the paper describes RCC and how it works as a paving material, especially compared to concrete pavement, as well as its common uses and its benefits and potential limitations compared to other paving materials. It provides detailed overview of RCC properties and materials, mixture proportioning, structural design

issues, and production and construction considerations, plus troubleshooting guidelines.

The name of Roller Compacted Concrete Pavement comes from the heavy steel drum rollers which compact the concrete into final form. The RCC consists of the same ingredients as conventional concrete does, but it has a higher percentage of fine aggregates and is stiff enough to remain stable under compaction having sufficient water for distributing the paste without segregation [1].

After having shown various previous research works and the documents of completed RCC constructions, the relevant Hungarian activities will be outlined. First, an appropriate mixture recipe was planned. In the laboratory of KTI Institute for Transport Sciences Non-Profit Ltd., Budapest, Hungary numerous test cubes, cylinders and beams were made for testing the strength properties, freeze-thaw durability, water permeability, abrasion wear and air void characteristics for hardened concrete [2]. The results obtained proved that RCC can have the same properties (quality) as conventional concrete has. Using the available mixtures, a test (trial) section was planned, and organized in order to evaluate the quality of placement (laying) and compaction operations, to fine-tune eventually the mixture composition, and to bore core samples to perform testing on the constructed RCC.

It has been shown that RCC with basic ingredients and proper recipe (mixture proportions) can be made with similar strength and durability as conventional concrete, but unlike conventional pavements. This technology gives a favourable economical alternative for many types of civil engineering facilities.

Application areas

Multi-layer pavement systems for high-speed uses

For roadways carrying traffic at highway speeds, RCC is primarily used as a base under a thin asphalt wearing course for better rideability. Another option is its use under a conventional concrete pavement. This case, the roller compacted cement layer provides an excellent construction platform and allows the thickness of the final cement concrete pavement to be reduced. A separation layer between the two concrete layers is needed for separate layer movement and to create a shear plane that relieves stress and helps prevent cracks from reflecting up from the base into the concrete pavement surface. The separation layer could be an asphalt layer or a geotextile fabric layer. The RCC base is typically not sawed when used under a conventional concrete pavement. If they sawed to minimize crack spacing and improve load transfer, transvers joints should be spaced at 4.5 to 6.0 m intervals for pavements less than 20 cm thick, in other cases, the interval could be 6.0 to 9.0 m depending on the actual pavement thickness. Longitudinal joints should be spaced 6.0 to 7.5 m. This multi-layer system could be used cost-effectively in highway, airport and heavy industrial applications, and should provide excellent long-term performance.

Local streets

Speed of construction, economy and early opening to traffic are key reasons to use RCC for streets and local roads. For new residential developments provides a strong working platform during site work and construction. When traffic speeds are greater than 50 km/h, surface evenness is important. That is why high-density paver and/or diamond grinding should be applied. A thin asphalt wearing course placed on top of RCC is another option. Light traffic could be placed on top of the RCC pavement within 24 hours after construction to accommodate nearby businesses. Sawed joints may be desired to initiate crack locations or for aesthetic reasons in residential areas (see Figure 1).

Widening and shoulders

Widening roadways is a common way to meet lane and edge drop-off criteria. The strength of RCC and its speed of construction make it particularly suited to road widening applications. The material provides a stable foundation that can be surfaced with asphalt or concrete for highway traffic and that provides a long, low-maintenance life. Distressed pavement in shoulders can also be replaced with RCC. Sawed joint are typically not required for widening and shoulders.



Figure 1 — RCC pavement on a local road

Other application areas

Some other application areas where RCC pavements can be favourably constructed: ports, intermodal facilities, light and heavy industrial facilities, airport facilities (maintenance areas, parking lots, snow storage areas, etc.), logging facilities, storage yards, dams [7].

RCC properties and materials

The main characteristics (properties) of RCC are as follows:

- compressive strength (28 to 48 MPa);
- flexural strength (3.5 to 7.0 MPa);
- bond strength (usually appropriate if pavement lifts are placed within an hour of each other);
- freeze-thaw durability (minimum air void spacing factor of 250 μm is needed for a durable concrete);
- shrinkage (the volume change associated with drying shrinkage is normally less than that in comparable conventional concrete mixtures due to the lower water content of RCC);
- permeability (hardened RCC permeability is comparable to that of conventional concrete);
- the process of RCC itself will reduce your construction costs as there is no need to use rebars or forms, and the application process is very easy and can be done quickly [4, 5].

RCC contains the same basic materials as conventional concrete—coarse and fine aggregates, cementitious materials (cement, fly ash, silica fume, etc.), water, and, when appropriate, chemical admixtures — but they are used in different proportions. The cost of materials used in RCC is generally comparable to the cost of materials used in conventional concrete. RCC typically has a slightly lower cement content than conventional concrete of similar strength. The lower cement content can lead to some savings in material costs [6].

Aggregate

Aggregate grading of RCC-mixtures differs from that of traditional concretes because partly RCC mixture will be denser under paver, steel and pneumatic-tyre rollers, partly fine fraction ratio should be increased for the total saturation of concrete mixture. Figure 2 presents the selected aggregate grading compared to the upper and lower bounds coming from averaging the relevant Hungarian and some foreign boundaries.

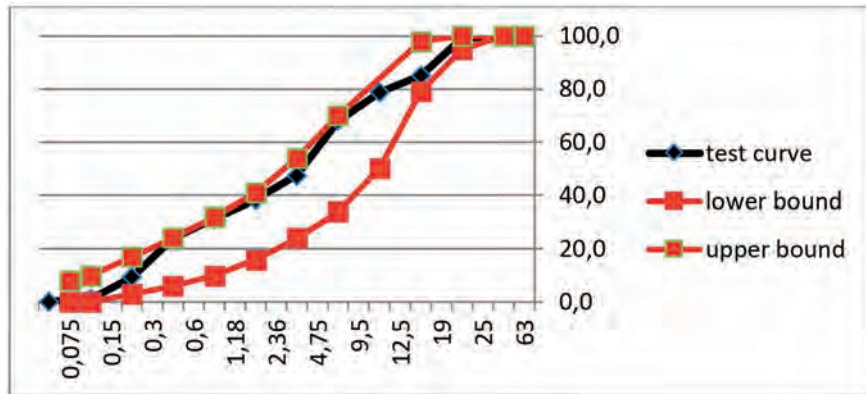


Figure 2 — The selected aggregate grading compared to boundaries obtained by averaging boundaries in Hungarian and some foreign specifications

Binders

RCC mixtures can be produced using any cement type meeting specification requirements [8] in Hungary. Selection of optimal cement type is influenced by environmental effects (sulphate resistance, resistance to thawing salts, abrasion resistance). It is advised to use cement types with limited hydration heat since the mixture uses low water content, and proper hydration does need sufficient water.

Water

Water needed for hydration is originated partly from the water content of aggregate, partly from the water added at mixing plant. Water used should meet the quality requirements of relevant standard [9]. RCC technique needs the highest possible density of concrete; that is why the optimal water content of mixture should be determined in accordance of the relevant standard [10].

Admixtures

Also the admixtures used for traditional concrete mixture (plasticizers, set retarders, accelerators, air entrainers, etc.) can be applied. Due to the limited water amount in RCC mixture, dosages of various admixtures can be multiple of the common ones. Set retarder can be needed if laying in 45–60 minutes after mixing is questionable, especially in warm time. Based on foreign experiences, two recipes were selected for the test sections with different cement contents.

Construction rules

Subgrade

Subgrade density should be min. 95 % of Proctor density. For avoiding bearing capacity loss due to eventual subgrade wetting, a granular capping layer is recommended.

Concrete mixing

Batch or continuous concrete mixing plants can be used. Batch plants are appropriate for small projects when mixture is transported by covered trucks to the site. Mixer has to be fully emptied after

each mixing cycle before mixing next batch. Continuous mixing for big projects allows the production of cement concrete mixture of constant quality. Properly homogenous concrete mixture of needed quantity and quality should arrive to the paver. Because of the dryness of RCC mixtures, the appropriate mixing at batch type production necessitates more energy reducing mixing plant capacity. The same dosage tolerances are to be used for RCC as for traditional concrete; however, it is important here to apply moisture meter for avoiding segregation.

Laboratory tests

The laboratory tests in relevant Road Technical Instructions [11, 12] and in foreign literature were carried out. For fresh concrete, aggregate moisture content, compaction [13] and water/cement ratio should be measured, and maximal wet density [14] designed. For hardened concrete, compressive strength [15], splitting tensile strength [16], density [17], distance factor [18], frost resistance [19], water permeability [20] and abrasion resistance [21] were tested.

Transportation

Generally, trucks with dump bodies are used. Concrete mixture has to be poured in 60 minutes since the mixtures with low water/cement ratio harden much quicker than the more flexible ones. Number and capacity of trucks to be applied have to ensure the continuous laying of concrete mixture. The mixture should be covered during transportation to protect it from evaporation or raining. Mixture has to be loaded directly from lorry to the finisher. For allowing to the evaporation loss during transportation, slightly increased water content can be selected.

Laying

RCC is usually laid by an asphalt paver the edge compactors of which compact the mixture, and so, rollers can move on a pre-compacted surface. Pre-compaction should reach 85 % of maximum wet density. Paver could lay min. 1.5 times output capacity of mixing plant. In order to avoid the segregation during concrete pouring, paver should not be emptied completely during laying, spreading screws are to be covered continuously by mixture. Paver speed has to be selected to ensure the continuous paving to avoid surface unevenness.

Compaction

Some general rules of RCC compaction:

- Compaction has to be commenced immediately after concrete pouring. Primary compaction should be performed using 10 ton double drum vibratory roller. Secondary compaction is to be done by static roller passes, while the even surface can be attained using pneumatic-tyre rollers. In tight places where space is limited for heavy rollers, small plate compactor or rammer (jumping jack compactor) can be applied. Compaction has to be completed in 15 minutes after laying, and 60 minutes after the end of concrete mixing.
- Ideally, no water enters from below on the surface of freshly compacted RCC course. The compaction rate of rolled compacted concrete pavement can be readily assessed by scrutinizing concrete mixture behaviour under static roller passes. Uniform deformation under compaction proves appropriate concrete consistency. If concrete is too wet for compaction, layer surface becomes pasty and shining after rolling, and it behaves elastically, even under pedestrian traffic. If concrete is too dry, surface is granular and dusty, or even cracked. In the latter cases, water content of the mixture is to be changed, grading to be checked or weighing balance calibrated.
- Freshly laid concrete layers can be compacted relatively quickly and easily, however, some special rules are to be followed. Compaction rules are rather similar to those of hot laid asphalt layers. In both cases, the most important rules are to use continuously low (about 3 km/h) rolling speed, to change directions just gradually, and to accelerate after changing directions also gradually. No turning is allowed

during roller passes. Changing rolling lanes, starting new lane or turning have to be done just at the back, on the already compacted and hardened pavement section.

- In case of RCC-layers with 151–250 mm thickness, the needed 98 % density can be reached by 4–6 passes of a 10 ton vibrating compactor. Over-compaction can reduce the density of upper layer or edges can crack.

Jointing

The joint types used are: tight, contraction and expansion joints.

The planned tight joint is built between a new cement concrete layer and an „old” concrete pavement. However, RCC pavements’ shrinkage, due to their low water contents, is just minimal, some cracking can be developed. These cracks can be fully avoided if contraction joints are formed. It is suggested to saw pavements to a depth of one-quarter of the slab thickness at 6–18 m intervals. No sealing is needed for joints below 6 mm width.

As for traditional concrete pavements, expansion joints should be placed to allow movement of the RCC pavement without damaging adjacent pavements, intersecting streets or other fixed objects (buildings, public utilities shaft, etc.).

Site tests

At the RCC construction site, pavement compaction [13], as well as density and water content [22] are to be controlled. The aim of RCC compaction test is identical with that of consistency test for conventional concrete pavements. The test results inform about if the mixture can still pored after transport, and it can be compacted appropriately. The test results of pavement density and water content after laying point towards the attained percentage of maximal laboratory dry density which was obtained using the Proctor test.

Curing and protection

Since the water content of RCC is very low, and evaporation and hydration heat quickly reduce further its water content; if water is not retrieving it, shrinkage cracking and/or lower strength could be caused. That is why curing should be started just after the completion of pavement compaction; aftercare has to be done for at least 7 days. Curing can be performed using watering-cart or fixed sprinkler.

Construction troubleshooting

Problems occurring in RCC pavements are generally related to materials and construction practices; therefore, adequate prequalification, testing, and evaluation are necessary [3]. Understanding the integration of raw and produced concrete materials with construction practices under certain weather conditions is a good starting point for assessing and pinpointing the exact origin of problems. At times, various undesirable effects are caused by the constituent materials and their interactions with climate and weather conditions. In many cases, there are several factors at play, making it challenging to isolate a specific cause.

Because RCC can be constructed in both in hot and cold weather, it is important to appreciate the differences in the behaviour of mixtures in different weather conditions. Problems can arise during production, transportation, paving, compaction, and curing and at later ages in terms of long-term performance of RCC mixtures. A general strategy to determine the cause of a problem is to look for patterns that may connect cause and effect. When a particular problem occurs frequently, individual causes can be eliminated in a step-by-step manner. Broadly, problems can be associated with weather changes, changes in the material source or consistency, and staffing-related changes. Occasionally, problems may also be associated with a combination of factors, including design, detailing, material source, batching, and construction practices. Sometimes a minor change in one factor can result in disproportionate consequences.

Hungarian Road Technical Instructions

In 2019, the e-UT 06.03.36 Road Technical Instructions (UME) entitled “Design and construction of roller compacted cement concrete pavements” was published in Hungary [23]. Some details of the specification will be presented.

Application areas and conditions

The following application areas are suggested: light and very light trafficked roads, pavement of their bus stops, roads loaded by slow, heavy vehicles, agricultural roads, cycle roads and lanes, pavement of industrial areas, pavements of storage areas, parking places, port pavements, airport service areas, paved shoulder.

Suggested RCC pavement thicknesses

Supposing 20 years of pavement life and depending on the actual traffic load, the following RCC pavement thicknesses are recommended:

- | | |
|---|--------------|
| – very light traffic (max. 30,000 equivalent 100kN-axle load repetitions) | 120 mm, |
| – light traffic (30,000–100,000 equivalent 100kN-axle load repetitions) | 160 mm, |
| – moderate traffic (100,000–300,000 equivalent 100kN-axle load repetitions) | 180 mm, |
| – cycle path, parking area, paved shoulder | 120 mm, |
| – other areas mentioned earlier | max. 200 mm. |

Underlying layer types

Roller compacted concrete pavements can be built on flexible and semi-rigid pavement structures of good condition and sufficient bearing capacity. The underlying layer can be unbound, hydraulically bound, flexible or remixed base course. In the case of hydraulically bound base course, a separation layer (bituminous emulsion, surface dressing, thin asphalt concrete layer, polyethylene foil, geotextile) is also used to avoid the so-called wild cracking of RCC.

Basic materials of RCC

Aggregate types to be used: natural sand, gravel, gravel and sand, crushed sand, crushed gravel, crushed stone, chippings. Hydraulically binder types: Portland cement, blast furnace slag cement, fly ash cement, trass cement. Admixtures (additives): air training concrete admixture, gas forming admixture, concrete plasticizer, flow additive.

Design requirements for the mixture

Two mixture types (RCC 3 and RCC 4) are specified as a function of splitting tensile strength (N/mm^2). Minimum cement content: $340 kg/m^3$, optimum water content: 5–7 %, max. w/c (water/cement) ratio: 0.35 ± 0.02 , max. aggregate size: 22 mm, air content of fresh concrete: 4–5 vol %.

Laying and compaction

The surface of underlying layer could be wetted if needed. Max. 250 mm loose thickness of concrete can be applied. The time interval between the laying of two neighbouring RCC courses should not exceed 60 minutes. Pavers of high compacting ability with one or two edge rammers and vibrating plate should be used. A rate of 90–93 % compaction degree is to be attained. The actual compaction is performed using steel or pneumatic-tyre rollers of at least 10 tons. The 30–50 m wide pavement edge should be compacted by road shoulder compactor or vibratory plate.

Trial sections

In the research work mentioned [2], various recipes were designed in order to select the most suitable one for the planned RCC trial section on the access road of gravel pit in Bugyi. The loading of the two 100 m-long sections are radically different depending upon whether the sections are used by

loaded vehicles or empty ones. KTI-institute prepared a Technological Instruction and a Sampling and Qualification Plan for the field trial, it had technical surveillance, besides carried out fresh concrete and tested cored samples taken from the pavement. The degree of compaction of the very well-compacted subgrade has reached 100 % compared to Proctor density during the several-year intensive truck loading. The Young's soil modulus measured by plate-bearing test amounted to a rather high (129.9 MP) value. That is why the trial section was designed without capping layer, just 50 mm 0/4 chippings were laid below the roller compacted concrete pavement for levelling and ensuring the planned cross fall. On the trial section with lower traffic size, RCC pavement was 150 mm thick, while its thickness on the relatively highly-trafficked section amounted to 200 mm. 50–50 % of both sections were built using two different recipes for a later comparison of their performances.

Before the field trial, among others, the Proctor-tests of the aggregates of the two mixtures were carried out, with the following results: $w_{opt} = 4.7\%$; $\rho_{dmax} = 2.39 \text{ Mg/m}^3$; $w_{opt} = 4.7\%$; $\rho_{dmax} = 2.37 \text{ Mg/m}^3$. The site quality control data of RCC were in the following ranges: water content between 4.9 and 5.8 %, dry density between 2.30 and 2.37 g/cm³, wet density between 2.43 and 2.50 g/cm³; degree of compaction between 96 % and 100 %.

The performance of the access road of gravel pit in Bugyi, the first Hungarian RCC trial section proved to be favourable after 6 years of heavy traffic.

Meanwhile other experimental sections were built, among others, a forest road in Kaposvár used also by cyclists; another forest road in Barcs-Drávaszentes, agricultural roads in Drávaszentes.

Conclusions

In many countries, Roller Compacted Concrete pavements have proved to be an efficient and environmental-friendly pavement type, especially for slow heavy traffic. Research works and laboratory test series carried out in KTI-laboratory also provided favourable results that were validated further by the good performance of trial sections constructed. The technological details given in the paper can contribute to the experimentation and then introduction of RCC technique in any country.

References

1. Roller-compacted concrete. Wikipedia URL: en.wikipedia.org/wiki/Roller-compacted_concrete (Last accessed: 20.04.2020) [in English].
2. Énekes L. (project manager): Research on and design of Roller Compacted Concrete (RCC) pavements. Research report . 2015. N 2161-001-1-4. 110 p. [in Hungarian].
3. Guide for Roller-compacted Concrete pavements. National Pavement Technology Center, Skokie, IL, United States of America, 2010. 115 p. [in English].
4. Pittman D.W., Anderton, G.L. The use of roller-compacted concrete pavements in the United States. *Sixth International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control (MAIRE PAV 6)*. Torino, 2009 [in English].
5. Rodriguez J. Benefits and costs of roller-compacted concrete. *The Balance small businesses*. 2019. URL: <https://www.thebalancesmb.com/rcc-roller-compacted-concrete-844456> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].
6. Shin K-J., Carboneau N. The Indiana Local Technical Assistance Program Roller Compacted Concrete Pavement Manual for Local Government Agencies. Purdue University School of Civil Engineering. 2010. [in English].

7. Énekes L., Bencze Zs., Gáspár L. Roller compacted concrete pavements. *CETRA 2016*, Sibenik, Croatia, 2016. 7 p. [in English].
8. MSZ EN 197-1:2011 Cement. Part 1: Composition, specification and conformity criteria for common cements (Information and documentation) [in Hungarian].
9. MSZ EN 1008:2003 Mixing water for concrete – Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete (Information and documentation) [in Hungarian].
10. MSZ EN 13286-1:2003 Unbound and hydraulically bound mixtures. Part 1. Test methods laboratory reference density and water content. Introduction, general requirements and sampling (Information and documentation) [in Hungarian].
11. e-UT 06.03.31 (ÚT 2-3.201:2006) Construction of Concrete Pavements. Specifications, Requirements (Information and documentation) [in Hungarian].
12. e-UT 06.03.51 (ÚT 2-3.206:2007) Unbound and Hydraulically Bound Base Courses. Construction Requirements (Information and documentation) [in Hungarian].
13. MSZ EN 12350-4:2009 Testing fresh concrete – Part 4: Degree of compactibility (Information and documentation) [in Hungarian].
14. MSZ EN 13286-50:2005 Unbound and hydraulically bound mixtures. Part 50: Method for the manufacture of test specimens of hydraulically bound mixtures using Proctor equipment of vibrating table compaction (Information and documentation) [in Hungarian].
15. MSZ EN 12390-3:2002 Testing hardened concrete Part 3: Compressive strength of test specimens (Information and documentation) [in Hungarian].
16. MSZ EN 12390-6:2010 Testing hardened concrete Part 6: Tensile splitting strength of test specimens (Information and documentation) [in Hungarian].
17. MSZ EN 12390-7:2009 Testing hardened concrete Part 7: Density of hardened concrete (Information and documentation) [in Hungarian].
18. MSZ EN 480-11:2006 Admixtures for concrete, mortar and grout. Test methods Part 11: Determination of air void characteristics in hardened concrete (Information and documentation) [in Hungarian].
19. MSZ 4798-1:2004 Concrete Part 1: Specification, performance, production, conformity and rules of application of MSZ EN 206-1 in Hungary (Information and documentation) [in Hungarian].
20. MSZ EN 12390-8:2001 Testing hardened concrete Part 8: Depth of penetration of water under pressure (Information and documentation) [in Hungarian].
21. MSZ EN 18290-1:1981 Testing surface properties of construction rock materials. Polishing test of sample masses (Information and documentation) [in Hungarian].
22. e-UT 09.02.11 (ÚT 2-3.103:1998) Radiometric compaction measurement. Determination of water content and density of subgrades, unbound and hydraulically bound road bases (Information and documentation) [in Hungarian].
23. e-UT 06.03.36 Design and construction of roller compacted pavements. Budapest, 2019. 32 P. (Information and documentation) [in Hungarian].

Жолт Бенце,¹ канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0003-2130-7864>

Гаспар Ласло,² д-р техн. наук, проф., <https://orcid.org/0000-0002-0574-4100>

¹ Товариство з обмеженою відповідальністю "Ферробетон", Дунаюварос, Угорщина

² Інститут транспортних наук КТІ, некомерційне ТОВ, Будапешт, Угорщина

ПОКРИТТЯ З УКОЧУВАНОВОГО ЦЕМЕНТОБЕТОНУ

Анотація

Вступ. Будівництво дорожніх покриттів з ущільненого за допомогою уочення бетону або дорожніх покриттів з уоченого бетону (Roller Compacted Concrete — RCC) є широко поширеним у багатьох країнах світу. (Його назва походить від важких сталевих барабанних котків, які ущільнюють бетон, уочуючи його до остаточної форми).

Постановка проблеми. Ця технологія має кілька переваг, але вона відрізняється від «традиційної» технології улаштування цементобетонного покриття.

Мета. У статті представлені особливості технології RCC та міжнародний досвід її застосування, з особливим акцентом на угорському досвіді, щоб підтримати впровадження цієї технології в інших країнах.

Матеріали та методи. Технологія RCC передбачає наявність тих же інгредієнтів, що і звичайний бетон, але вона передбачає також більш високий відсоток фракцій дрібного заповнювача, та таке покриття є достатньо жорстким, щоб залишатися стабільним під час ущільнення, маючи достатню кількість води для розподілення цементного тіста, уникаючи розшарування. Покриття за технологією RCC може бути укладено без використання опалубки, стрижнів або армуючої сталі. У статті буде представлено вступ до оновленого огляду технології RCC та її багатьох застосувань під час укладання. Буде представлено узагальнені попередні відповідні науково-дослідні роботи та результати лабораторних випробувань, які було виконано частково в Угорщині та частково — в інших країнах. Підкреслюється також важливість дотримання суворих технологічних правил під час виготовлення високоякісного матеріалу. Окрім того, надаються основні положення з нещодавно опублікованих Угорських технічних дорожніх директив. Нарешті, обговорюються деякі дані багаторічних досліджень експлуатаційних характеристик, отриманих з експериментальних (випробувальних) ділянок, влаштованих за технологією уочуваного бетону.

Результати. Ця технологія є вигідною економічною альтернативою під час улаштування конструкцій покриття жорсткого та напівжорсткого типу з декількох шарів; для покриттів, що піддаються великим транспортним навантаженням на ділянках з низькою швидкістю транспортного руху, а також для ділянок дамб. Дослідне використання та подальше впровадження технології в так званій "технологічний вибір" рекомендовано для кожної країни, включаючи Україну.

Ключові слова: дорожні покриття, бетонне покриття, уочуваний бетон, дослідні ділянки, підбір бетонної суміші, конструкція бетонного покриття.

UDC 625.25

Darkhan Sakanov, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-9199-0761>*RSE «National Center of Road Asset Quality» (RSE «NCRAQ»)*, Nur-Sultan, the Republic of Kazakhstan

**FEATURES OF THE ROAD CONSTRUCTION DEVELOPMENT
IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN*****Annotation***

Introduction. The geographical location of the Republic of Kazakhstan makes it a natural crossroad for the main transit corridors and creates favorable conditions for the use of transport routes of emerging transcontinental routes in Asia-Europe communications. According to the assessment of international analytical institutions, the volume of trade between the European Union and the Asia-Pacific region, especially China, will reach \$ 1 trillion in the near future. At present, only 1 % of the total volume of these cargoes falls on the EEU international transport corridors.

Topic. The location and territorial dimensions of the republic, which does not have access to the open sea, occur a number of problems in the means of transport communications: low density of roads — 0.035 km/km², large distances between settlements — on average, the distance between regional centers is about 1400 km, the remoteness of the base productions from markets. For this reason, the economy of Kazakhstan is characterized by a high transport component, while more than 80 % of the freight transported by land transport. Over the past decade, investments in the transport sector accounted for about 30 % of the republican volume of fixed capital investments, which is explained by an increase in budget investments in transport due to the high multiplier effect on economic growth and employment.

Goal. The goal is a development of roads of the Republic of Kazakhstan on the basis of developed strategic documents with the possibility of identifying priority of roads of road of state status, which are considered the main ones for ensuring inter-regional communication with the subsequent inclusion of these roads in the main republican road network, which will be converted into I or II technical categories.

Materials and methods. In accordance with one of the directions of the Nurdy Zhol State Infrastructure Development Program for 2020–2025, the development of transit transport infrastructure will be carried with consideration of regional integration initiatives, including the One Belt – One Way initiative. Within 5 years, the Program will implement investment projects for the construction and reconstruction of 6.9 thousand km of roads of international and national significance.

Results. The result is the necessity of consideration the socio-economic and territorial development of the Republic with a forecast of simple traffic on highways within 3 % per year. As well as the focusing on topical issues of the quality of road structures and their compliance with increasing transport traffic.

Key words: international corridors, length of roads, public roads, traffic intensity, type of coverage.

Introduction

The geographical position of the Republic of Kazakhstan makes it a natural crossroad for the main transit corridors from East to West, from North to South, which creates favorable conditions for the use of transport highways of emerging transcontinental routes in Asia-Europe communications.

According to the estimates of international analytical centers, the volume of trade between the two macro-regions of the continent — the European Union and the Asia-Pacific region, especially China, will

reach \$ 1 trillion in the near future. At present, only 1 % of the total volume of these cargoes falls on the international transport corridors of the EEU [1].

The location and territorial dimensions of Kazakhstan, which has no access to the open sea, has a number of problems in the field of transport:

- low density of roads — 0.035 km/km², combined with a low population density — 6.72 people/km²;
- large distances between settlements — average the distance between regional centers is about 1400 km;
- remoteness of the base production from sales markets. For this reason, the economy of Kazakhstan is characterized by a high transport component, also more than 80 % of the cargo logistics is applied by land transport.

Recently, investments in the transport sector accounted for about 30 % of the republican investment in fixed assets. This trend can be explained by the increase in budget investments in transport due to the high multiplier effect on economic growth and employment [2].

Based on the analysis of the economic and geographical position of Kazakhstan, it can be concluded that transport is one of the sectors that form the infrastructure of the economy, which expands the possibilities of its economic growth.

Road transport has a priority for development due to the issues of transportations goods and passengers directly to production facilities. Road construction is actively developing in order to solve this issues.

Road network development

The total length of the roads of the Republic of Kazakhstan is 128.3 thousand km, more than 97.4 thousand km of them are public roads. The Republican road network of Kazakhstan as of 01.01.2018 is 24.4 thousand km, 12.1 thousand km of them have asphalt concrete pavement, 1 452 km have cement concrete and 10.8 thousand km have light types of pavement (table 1).

Table 1

The network of highways of republican significance

Region	Length, km	Type of coating			
		Asphalt concrete	Cement concrete	Lightweight	Unpaved
Akmola	2 286	1 376	267	606	37
Aktobe	1 894	1 166		728	
Almaty	2 822	1 110	409	1 276	27
Atyrau	990	546		427	17
East Kazakhstan	3 414	710		2 697	7
Jambyl	1 237	503	350	384	
West Kazakhstan	1 393	905	21	467	
Karaganda	2 785	1 006	66	1 373	341
Kostanay	1 410	683		727	

The end of table 1

Region	Length, km	Type of coating			
		Asphalt concrete	Cement concrete	Lightweight	Unpaved
Kyzylorda	1 107	815		274	18
Mangystau	1 049	832		188	29
Pavlodar	1 663	643		1 021	
North Kazakhstan	1 468	1 468			
Turkistan	866	384	340	143	
Total	24 383	12 145	1 452	10 310	476

The republican road network includes 6 international corridors with a total length of about 8.3 thousand km. They serve mainly as international transit flows between China, Kyrgyzstan, Uzbekistan, Turkmenistan and Russia and then lead to Europe. They were developed in accordance with international agreements: Asian Highway Agreement, Europe-Caucasus-Asia Transport Corridor (TRACECA), Central Asian Regional Economic Cooperation (CAREC) and others (table 2).

Table 2

International road corridors of Kazakhstan

Name of the international corridor	Road index	Length, km	Traffic (PBX/day)
Border with Uzbekistan – Shymkent – Taraz – Bishkek – Almaty – Khorgos – Chinese border	A2	970,1	> 7 500
Border with Uzbekistan – Shymkent – Kyzylorda – Aktobe – Uralsk – border with the Russian Federation	M-32	2 083,1	> 3 000
Almaty - Karaganda - Astana - Petropavlovsk	M-36/A1 M-51	1 700,6	>5 000
Border with the Russian Federation – Atyrau – Aktau – border with Turkmenistan	A27/A33 A34	1 413	> 2 000
Border with the Russian Federation – Pavlodar – Semipalatinsk – Maykapchagai – border with Chinese	M-38	1 094	> 2 400
Astana – Kostanay – border with the Russian Federation	M36/P36	626	> 2 100

International corridors and the most important republican roads, taking into account their development [3], are shown in Figure 1.

Based on the strategic documents [4, 5] on the development of roads of the Republic of Kazakhstan, it is possible to identify the main roads of republican status, which are considered the main ones for ensuring inter-regional communication. These roads are planned to be included in the main republican road network, which will be converted into I or II technical categories (table 3).



Figure 1 — Map of the main republican roads in Kazakhstan

Table 3

The main republican road network, developed according to strategic documents

Road name	Road index	Length, km	Corridor
Border with the Republic of Uzbekistan (to Tashkent) – Shymkent – Taraz – Almaty – Khorgos	A2	1,197	WE-WC
Border with the Russian Federation (to Samara) – Shymkent, through the cities of Uralsk, Aktoobe, Kyzylorda	M-32	2,029	WE-WC
Taskesken – Bahty (border of China)	A8	187	
Border with the Russian Federation (to Omsk) – Майкапчaгaй (exit to China), through the cities of Pavlodar and Semey	M-38	1,099	CS
Atyrau – Aktau	A33	798	
Aktau – Bekdash (Turkmenistan)	A34	115	
Aktoobe – Martuk – border with the Russian Federation (in the city of Orenburg)	A24	102	WE-WC
Almaty Ring Road	-	65	
Border with the Russian Federation (to Yekaterinburg) – Almaty, through the cities of Kostanay, Astana, Karaganda	M-36	2,032	CS

Road name	Road index	Length, km	Corridor
Astana – Yereymentau – Shiderty	P4	243	CE
Kyzylorda – Pavlodar – Uspenka – border of the Russian Federation	A17	184	CE
Astana – Arkalyk – Shalkar – Beineu – Aktau	-	1,652	CW
Almaty – Ust-Kamenogorsk	A3	1,036	
Astana – Petropavlovsk, through the city of Kokshetau	A1	452	
Uralsk – Kamenka – border of the Russian Federation (in Ozinki)	A29	100	
Usharal – Dostyk	A7	184	
Kyzylorda – Zhezkazgan – Karaganda	A17	925	
Aktobe – Atyrau – border of the Russian Federation (on Astrakhan)	A27	871	
Uralsk – Atyrau	A28	487	
Merke – Burylbaital	P-29	273	
Beineu – Akzhigit – border with the Republic of Uzbekistan (on Nukus)	P-1	84	
Southwest bypass of Astana	-	31	
Total		14,146	

Expenses on the republican road network over the past 16 years amounted to 2.8 trillion tenge, of which: 2.2 trillion tenge — for construction and reconstruction; 252 billion tenge — for full reconstruction and 348 billion tenge — for operation and maintenance.

According to one of the directions of the «Nurly Zhol» State Infrastructural Development Program for 2020–2025, the development of transit transport infrastructure will be carried out with consideration of regional integration initiatives with the participation of the Republic of Kazakhstan, including the «One Belt – One Way» initiative. At the same time, during 2020–2025 within the framework of the Program, investment projects will be implemented for the construction and reconstruction of 6.9 thousand km of roads of international and republican status [6].

Along with the general trend of increasing investments in the road sector, the total expenses on road infrastructure in the next 10 years will arise to ~ 4.9 trillion tenge [7], ~ 2.2 trillion tenge of them will be spent on construction and reconstruction (Figure 2).

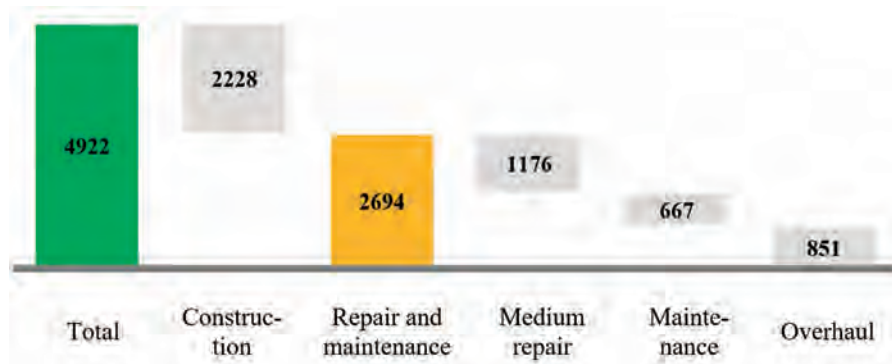


Figure 2 — The total cost of roads of national importance for 2019–2028, billion tenge

The priority transport corridor “Western Europe – Western China” began to operate fully since 2016. Moreover, for the most part, reconstruction was carried out in the period 2011–2014. Currently, the average intensity along the corridor is over 10 thousand cars/day, about 30 % falls on freight vehicles. In the area of Almaty city, the intensity is from 35 to 45 thousand cars / day, in the Almaty – Khorgos section — from 3 to thousand cars/day, decreasing to the border with China, in the Taraz – Kainar section, the traffic intensity is more than 7 thousand cars/day, on the Shymkent – Taraz section — more than 16 thousand cars/day and on the Shymkent – border of the Republic of Uzbekistan — more than 10 thousand cars/day, in the areas of Kyzylorda – Shymkent and Kyzylorda – Aktobe — from 5 to 16 thousand cars/day.

For the rest of the republican roads, the traffic intensity is shown in Figure 3.



Figure 3 — Map of the intensity of roads of the Republic of Kazakhstan

An analysis of traffic intensity showed that considered roads have the average percentage of cars, vans and motorcycles averages is equal 57 %, buses — 2 %, the percentage of trucks — 26 %, road trains — 10 %, truck vehicles with a semi-trailer — 15 %, tractors — 2 %. In general, the size of traffic flows reaches 46 thousand cars /day.

Conclusion

In the future, given the socio-economic and territorial development of the Republic of Kazakhstan, an increase in the intensity of traffic on public roads of international and republican status is expected to arise within 3 % per year. The issue of quality of road structures and their conformity to increasing transport loads becomes highly important.

References

1. On approval of the Development Strategy of the National Company “KazAvtoZhol” Joint-Stock Company for 2013–2022: Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated December 26, 2013 No. 1409 // *Kazakhstanskaya Pravda* of February 18, 2014. No. 33 (27654) [in Kazakh].
2. Forecast of the socio-economic development of the Republic of Kazakhstan for 2019–2023: Protocol of the Government of the Republic of Kazakhstan dated November 26, 2018 No. 47. Astana, 2018.52 p. [in Kazakh].
3. Banshikov, V. P. Managing for Development Results in the Transport Sector of Kazakhstan: final report. Asian Development Bank project No. TA-8676. Manila, 2016. 97 p. [in Kazakh].
4. On approval of the Strategic Plan of the Ministry of Investment and Development of the Republic of Kazakhstan for 2017–2021: Order of the Minister for Investment and Development of the Republic of Kazakhstan dated December 29, 2016. No. 887. [in Kazakh].
5. On approval of the State program of infrastructural development “Nurly Zhol” for 2015-2019: Decree of the President of the Republic of Kazakhstan dated April 6, 2015 No. 1030 // *Kazakhstanskaya Pravda* from 09.04.2015. No. 64 (27940). [in Kazakh].
6. On approval of the State Infrastructure Development Program “Nurly Zhol” for 2020–2025: Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated December 31, 2019 No. 1055 // *Kazakhstanskaya Pravda* 06.02.2020, No. 25 (29152). [in Kazakh].
7. Development of new ways to finance the road industry and capacity building of JSC NC “KazAvtoZhol”: report of the European Bank for Reconstruction and Development / McKinsey & Company. Astana, 2018. 99 p. [in Kazakh].

Саканов Д. К., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-9199-0761>

РДП «Національний центр якості дорожніх активів» (РДП «НЦЯДА»), Нур-Султан, Республіка Казахстан

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ БУДІВНИЦТВА ДОРІГ У РЕСПУБЛІЦІ КАЗАХСТАН

Анотація

Вступ. Географічне розташування Республіки Казахстан є природним перехрестям основних транзитних коридорів і створює сприятливі умови для використання транспортних шляхів у нових трансконтинентальних маршрутах, що з'єднують Азію з Європою. За оцінкою міжнародних аналітичних установ, обсяг торгівлі між Європейським Союзом та Азійсько-Тихоокеанським регіоном, особливо з Китаєм, найближчим часом сягне 1 трлн. доларів США. На даний час лише 1 % від загального обсягу цих вантажів припадає на міжнародні транспортні коридори ЄС.

Тема. Географічне розташування та територія республіки, яка не має доступу до відкритого моря, створюють низку проблем транспортного сполучення: низька щільність мережі доріг — 0,035 км/км², великі відстані між населеними пунктами — в середньому, відстань між обласними центрами становить біля 1400 км, віддаленість базових виробництв від ринків. З цієї причини економіка Казахстану характеризується високою транспортною складовою, тому понад 80 % вантажів перевозять наземним транспортом. За останнє десятиліття інвестиції в транспортний сектор становили біля 30 % за обсягом інвестицій республіки в основний капітал, що пояснюється збільшенням бюджетних інвестицій у транспорт через високий багатоскладовий вплив на економічне зростання та зайнятість.

Мета. Метою є розбудова доріг Республіки Казахстан на основі розроблених стратегічних документів з можливістю визначення пріоритетності доріг державного значення, які вважаються головними для забезпечення поєднання регіонів із подальшим включенням цих доріг до основної республіканської дорожньої мережі, що відповідатимуть I або II технічним категоріям.

Матеріали та методи. Відповідно до одного з напрямків Державної програми розвитку інфраструктури Нуралі Жол на 2020–2025 роки, розвиток транзитної транспортної інфраструктури здійснюватимуть із урахуванням регіональних інтеграційних програм, включаючи програму «Один Пояс – Один Шлях». Протягом 5 років Програма передбачає реалізацію інвестиційних проєктів будівництва та реконструкції 6,9 тис. км доріг міжнародного та національного значення.

Результати. Результатом є необхідність врахування соціально-економічного та територіального розвитку республіки з прогнозом зростання стандартного транспортного руху на автомобільних дорогах в межах 3 % на рік. Крім того, актуальним є акцентування уваги на актуальних питаннях якості дорожніх споруд і їх відповідності потребам у зростанні обсягів транспортного руху.

Ключові слова: міжнародні коридори, довжина доріг, дороги загального користування, інтенсивність руху, тип покриття.

UDC 625.25

Darkhan Sakanov, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-9199-0761>*RSE «National Center of Road Asset Quality» (RSE «NCRAQ»), Nur-Sultan, the Republic of Kazakhstan*

**EXPERIENCE OF CONSTRUCTING THE ROADS
WITH CEMENT CONCRETE COATINGS*****Annotation***

Introduction. Modern road constructions are based on two types of pavement: asphalt concrete and cement concrete. Theory and practice show that in any climatic conditions, any intensity and any composition of movement, cement concrete coatings are durable. At the same time, in developed countries, with an established developed network of roads and an efficient maintenance service, they maintain an approximate parity in the ratio between asphalt and cement concrete pavements in the total volume of roads under construction.

Topic. The technology of building roads using cement concrete coatings has been used in the world for several decades. It has found application in countries with a wide variety of climatic conditions. The average operation life of such roads is at least 20 years, with minimal repair and maintenance costs. A comparative analysis of the costs of materials during the construction of cement concrete and asphalt concrete pavements and taking into account the numerous overhauls of asphalt concrete pavement during its operation life shows that the cost for the concrete option is several times less than for the asphalt concrete option: 2 times for the overhaul period for asphalt concrete pavement 5 years and 3 times, with a three-year overhaul period. The high durability of cement concrete coatings is due to the peculiarity of cement concrete as a material. Strength and deformation properties of cement concrete, unlike asphalt concrete, practically do not depend on temperature and air humidity. Over time, over the operation life, the strength of cement concrete increases (on average, by 10 % – 20 %), despite the intense movement of vehicles and the aggressive effects of climatic factors. Accordingly, on cement concrete pavements, the formation of a rut because of surface deformations or wear is almost impossible, while rut is one of the most common defects in modern roads with asphalt pavement.

Materials and methods. In accordance with the approved strategic plans for the development of the road industry of the Republic of Kazakhstan, as well as taking into account international experience, over the past 15 years, 1,452 km of roads with cement concrete pavements have been built in the Republic.

Results. The result is the development of the construction of concrete roads, which, along with their positive properties, require new technological solutions to ensure the stability of coatings to the action of transport and weather and climate factors. As well as world experience in the construction of roads with cement concrete coatings, promises a great future of this direction development. Definitely the advantages of cement concrete coating are stable transport and operational performance and high durability.

Key words: automobile road, cement concrete coating, durability, operation life, traffic intensity, strength.

Introduction

Modern designs of roads and their construction technology based on two alternative competing types of pavement, asphalt concrete and cement concrete. In this case, theory and practice clearly indicate that in any climate, at any rate and any part of the movement concrete slabs are the most durable. Thus, when the actual lifecycle in the US concrete covers, on average, 26 years, asphalt — 16 years, in Germany, respectively — 26 years and 18 years, [1] it means that abroad they apply the realistic achievable goal to provide term concrete covers lifecycle to 50 years and more. These types of coatings are also characterized by the kinetics of destruction: the intensity of the destruction of asphalt concrete coatings increases significantly after 5 years of operation, cement — after 20 years.

In developed countries, with the developed network of roads and their effective service content today in practice approximate parity ratio between asphalt and cement-concrete surfaces in overall road construction is applied [2].

Construction experience

Cement for the construction of pavements is used in Austria, Germany and Belgium. In these countries, due to the active operation of the European Association of concrete roads, expressways develops construction of highways with concrete covers is developed and reaches 40 % (Figure 1).

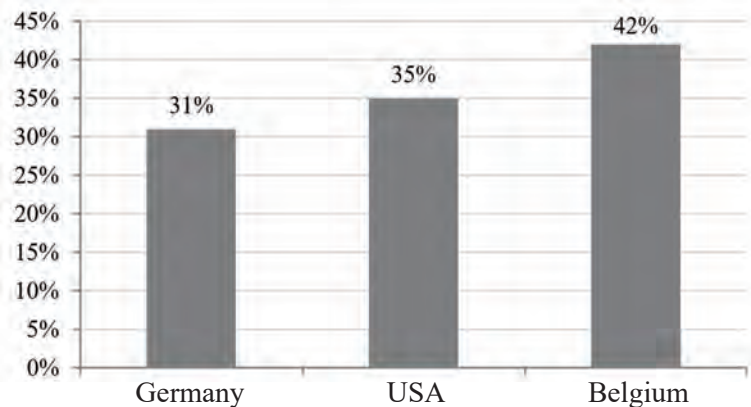


Figure 1 — Ratio cement concrete pavement of roads

Road construction technology with the use of concrete slabs has been used for several decades in the world. It has been applied in countries with different climatic conditions.

The first coating of Portland cement concrete were built in the UK (Edinburgh) in 1866, in USA first road with concrete coating was built in Bellefontaine 25 years later (1891). The massive construction of roads began exactly in this country. By 1912, there were 400 km of roads with concrete pavement in the US; by 1913 this figure had doubled. In 1914, there were already about 3 thousand km, and in 1951 — 140 thousand km.

In Europe, the construction of roads with hard coating began in the second half of the XIX century mainly in such countries as Scotland, France and Germany.

The average operation life of concrete coatings is at least 20 years, with minimal repair and maintenance costs. A comparison of the costs of materials in the construction of cement concrete and asphalt concrete pavements and taking into account the numerous overhauls of asphalt concrete

pavement during its service life shows that for the concrete concrete option the cost is several times less than for the asphalt concrete option: 2 times (with the overhaul period for asphalt concrete pavement 5 years) and 3 times (with a three-year overhaul period) [3].

The high durability of cement concrete coatings is due, first of all, to the peculiarity of cement concrete as a material. Strength and deformation properties of cement concrete, unlike asphalt concrete, practically do not depend on temperature and air humidity. Over time, over the service life, the strength of cement concrete increases (on average, by 10 % – 20 %), despite the intense movement of vehicles and the aggressive effects of climatic factors. Accordingly, on cement concrete pavements, the formation of a rut from plastic deformation or wear is practically excluded, while rut is one of the most common defects in modern roads with asphalt pavement.

Due to the distribution of the load from vehicles on the cement concrete slab, residual deformations and shear (shear) stresses in the underlying subgrade are significantly lower than in pavement structures with asphalt concrete pavement, which increases the durability of the entire pavement structure.

The texture of the surface of the cement concrete pavement and the artificial roughness created on the surface of the cement concrete pavement during the construction process provide a higher and more stable in time coefficient of adhesion to the car wheel and, accordingly, lower (approximately, 5 % – 10 %) fuel consumption [4].

Speaking of cement-concrete coatings, their less maintainability is usually noted as a disadvantage. Indeed, when defects are detected, it is difficult to process the corresponding section of the cement concrete coating in comparison with the asphalt concrete [5].

However, modern technologies allow solving this problem [6].

The construction of concrete roads in the Soviet Union began in the early fifties of the last century using a domestic set of concrete-laying machines D-181, D-182 and D-195 on a rail track.

Since 1970, the USSR began the extensive construction of cement concrete pavements using equipment with sliding formwork. At that time, concrete-laying sets of high-performance Avtograd machines were purchased in the USA, which served as the basis for the production of domestic sets of machines under the brand DS-100 and DS 110 of the Bryansk Plant. It was during this period that roads with cement concrete coatings were built: Moscow – Volgograd, Omsk – Novosibirsk, Yekaterinburg – Chelyabinsk and others. The length of roads with cement concrete pavement then amounted to more than 10 thousand km.

The length of public roads with cement concrete pavement in the CIS countries is shown in Figure 2.

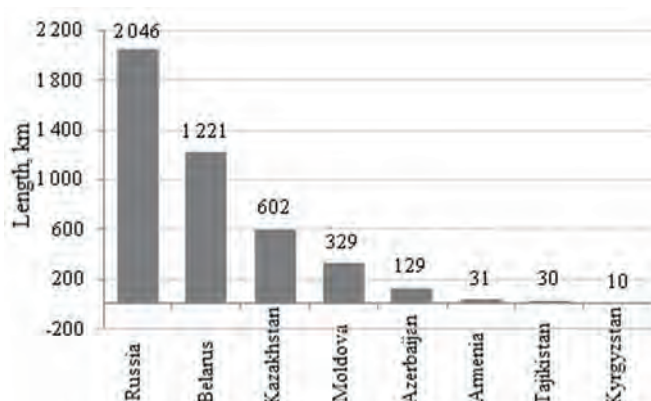


Figure 2 — Public roads with cement concrete pavement in the CIS countries

Russia has accumulated a significant amount of theoretical and practical knowledge in the field of durable cement concrete coatings. Federal norms and rules have been developed for the design and construction of cement concrete coatings and foundations for various concreting technologies: in railforms, in sliding forms, by rolling by vibratory rollers and others. The actual service life of cement concrete coatings often exceeds the standard (20–25 years), reaching 30–40 or more years [7].

In the Russian Federation, the share of cement concrete roads is 3 %. As a rule, cement-concrete pavements were slabs 18–24 centimeters thick [8].

International experience in the construction of roads with cement concrete pavement has shown that its use in road construction provides significant savings. If the concrete road is well built, the first 10–12 years practically does not require any repairs, only routine maintenance.

The current ratio of the cost of building roads with cement concrete and asphalt concrete coatings is not stable, but is gradually changing in favor of cement concrete with increasing prices for oil products and lowering inflation. The cost of structures with cement concrete coatings is currently comparable to the cost of structures with asphalt concrete coatings. So, for example, the cost of 1 m² of coverage of a highway of the first technical category (MKAD-Kashira highway) with cement concrete coating is 1 352.13 rubles, and with asphalt concrete coating — 1 378.70 rubles. At the same time, the service life of cement concrete coatings is several times higher [9].

Considering the experience of Ukraine, it can be noted that a simplified design of pavement was adopted there: a draining and leveling sand layer 15 cm thick, a 12 cm thick crushed-sand mixture layer, 16 cm monolithic cement concrete. Ukrainian road workers calculated that the cost of repairing asphalt concrete is — 45.53 euros / m², and cement concrete — 39.47 euros / m². This allowed to reduce the cost of pavement and make it more economical in comparison with the design, which included asphalt concrete pavement.

At the same time, Ukraine uses two main methods of building concrete coatings: construction using special machines and equipment and construction using small-scale mechanization.

The latter is used in complex areas with rough terrain, if necessary, broadening of the existing coverage, etc. This technology was practiced in the construction of the Kiev – Chop road, and the reconstruction of the Kharkov – Simferopol road [10].

The Republic of Kazakhstan, the construction of roads with cement concrete coatings began in 2006. The first road with cement concrete pavement was “Astana – Schuchinsk” with parameters of technical category 1-A with 6-lane traffic at an estimated speed of 150 km per hour, a roadway width of 22.5 m, a length of 215 km, of which 96 km was a device for cement concrete coating according to German technology is provided [11].

The accumulated experience in the construction of the first autobahn laid the foundation for the implementation of the Western Europe – Western China international transit highway project (Figure 3), the length of which on the territory of Kazakhstan is 2,757 km, of which 994 km are cement-concrete coated [12].

In general, in Kazakhstan today, the network of republican roads is 24.4 thousand km, of which 94% are non-rigid type of coating and only 6% with cement concrete (Figure 4).

The first sections of cement-paved roads began to be commissioned for the first time since 2011, taking into account the 3–5-year warranty period. Over the past 8 years, the length of cement-paved roads has increased from 97 to 1 437 km, i.e. more than 15 times and continues to expand (Figure 5).



Figure 3 — Project «Western Europe – Western China»

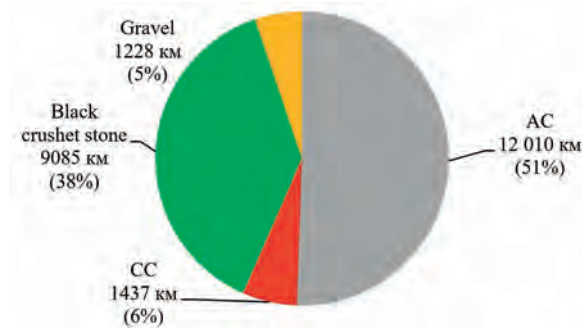


Figure 4 — Share of roads by coating types

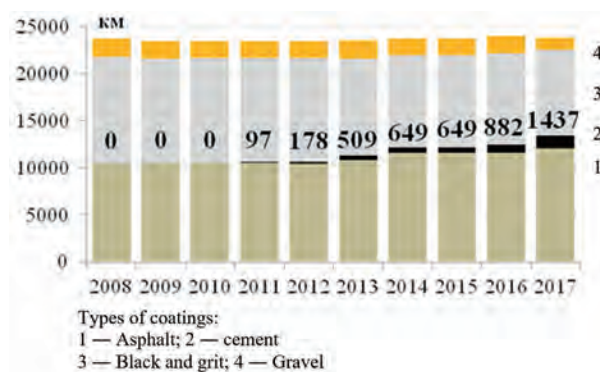


Figure 5 — Dynamics of the development of the republican road network by type of coverage from 2008 to 2017

Further development of the construction of roads with cement concrete coatings was received in the framework of the Center-South and Center-East projects.

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

The list of public roads with cement concrete coatings is given in table 1.

Table 1

List of highways with cement concrete coating of Kazakhstan

№ a/d	Name of the road	Length, km	including:
			Cement concrete coating
<i>Akmola region</i>			
M-36	border of the Russian Federation (Ekaterinburg)-Almaty	469,0	71,0
A-1	Astana-Petropavlovsk	324,0	97,0
P-4	Astana Yereimentau-Shiderty	189,0	99,0
	Total area:	2 285,5	267,0
<i>Alma-Ata's region</i>			
	Almaty-Khorgos-Shelek	304,0	304,0
A-3	Almaty-Ust-Kamenogorsk	586,0	105,0
	Total area:	2 821,9	409,0
<i>Jambyl Region</i>			
A-2	Almaty-Tashkent-Termez	674,5	
	162-260 km, Bypass pass Kordai	80,0	69,5
	483-536 km, the new Bypass Taraz	65,1	7,7
	383-404 km, Bypass s.Kulan	20,0	20,0
	261,5- km 389,4; 404-483; 536-593	267,1	253,1
	Total area:	1 237,2	350,3
<i>West-Kazakhstan region</i>			
A-31	Chapaev-Zhalpaktal-Kaztalovka-oz. RF	213,0	18,0
P-44	Kaztalovka-Janibek-gr.RF	165,0	3,0
	Total area:	1 393,0	21,0
<i>Karaganda region</i>			
M-36	border of the Russian Federation (Ekaterinburg)-Almaty	637,6	65,6
	Total area:	2 784,6	65,6
<i>Turkestan</i>			
M-32	border of the Russian Federation (Samara) -Shymkent	201,0	141,9
M-39	Tashkent-Termez	24,1	24,1
A-2	Almaty-Korday-Merke-Tashkent-Termez	182,0	137,0
P-32	Northern bypass the city of Shymkent	36,5	36,5
	Total area:	866,2	339,5
	Total in the country:	24 382,9	1 452,4

Conclusion

1. Increasing traffic loads on road surfaces and increasing traffic intensity contribute to the expansion of concrete road construction, which, along with their positive properties, require new technological solutions to ensure the stability of coatings to the effects of traffic and weather and climate factors.

2. The experience in the construction of roads with cement concrete coatings indicates the prospects for the development of this direction. Where the undoubted advantage of cement concrete are stable transport and operational performance and high durability.

References

1. Radovskiy B. S. Construction of roads with cement-concrete surfaces in the United States: New Trends. Road Construction Equipment: Business Directory / Open Company "Slavutich". 2010. P. 62-70. [in English].
2. "Green light" cement concrete pavement URL: http://www.concrete-union.ru/articles/index.php?ELEMENT_ID=-6966 (Last accessed: 11.09.2019) [in English].
3. Bikbaev M. J. Remedy bad roads. *Traffic Power*. 2013. N 51. [in Russian].
4. Levitsky E. F. Chernigov V. A. Concrete highways coating. *Transport*. Moscow, 1980. 288 p. [in Russian].
5. Ushakov V., Yarmolinsky V. A. Repair of road pavements, consisting of concrete slabs, covered asphalt layers: a training posobie. Moscow, 2016. 128 p. [in Russian].
6. Sergey Yaromko V. N. New concrete slabs repair technology. NGO «Belavtodorprogress», Minsk, 1999. 78 p. [in Russia].
7. Bikbaev M. J. Russian Roads - high prices, poor quality. Need new materials, structures and technologies. *Building orbit*. 2014. T 11. P. 56-64. [in Russian].
8. Korovyakov V. F. Effective cast concrete road construction URL: <http://www.stroyorbita.ru> (Last accessed: 11.09.2019) [in Russian].
9. Ushakov V. V. Highways Russia - durable coating. *Highways*. 2014. N 3. P. 54-56. [in Russia].
10. Repair of concrete slabs roads: Panoramic. Information / Federal State Unitary Enterprise "Informavtodor". Moscow, 2002. N 6. P. 3-4. [in Russian].
11. Kusainov A. K. The first highway. Astana, 2017. 243 p. [in Kazakh].
12. On approval of the Strategy of development of joint-stock company "National Company" KazAvtoZhol" for 2013-2022: Resolution of the Republic of Kazakhstan, 2013, number 1409 // Kazakhstanskaya Pravda on 02.18.2014, the, number 33 (27654). [in Kazakh].

Саканов Д. К., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-9199-0761>

РДП «Національний центр якості дорожніх активів» (РДП «НЦЯДА»), Нур-Султан, Республіка Казахстан

ДОСВІД БУДІВНИЦТВА ДОРІГ З ЦЕМЕНТНОБЕТОННИМ ПОКРИТТЯМ

Анотація

Вступ. В основі сучасних дорожніх конструкцій лежать два види покриття: асфальтобетонне та цементобетонне. Теорія та практика свідчать, що за будь-яких кліматичних умов, будь-якої інтенсивності та будь-якого складу транспортного руху, цементно-бетонні покриття є більш довговічними. У той же час, у розвинених країнах, що мають розвинену мережу доріг та ефективну практику технічного обслуговування, підтримують приблизну рівність у співвідношенні між асфальтобетонним і цементобетонним покриттями в загальному обсязі доріг, що будуються.

Тема. Технологію будівництва доріг із використанням цементобетонних покриттів застосовують у світі вже кілька десятиліть. Вона знайшла застосування в країнах із найрізноманітнішими кліматичними умовами. Середній термін експлуатації таких доріг становить

не менше ніж 20 років за мінімальних витрат на ремонт та утримання. Порівняльний аналіз витрат на матеріали під час будівництва цементнобетонних та асфальтобетонних покриттів, а також із урахуванням численних капітальних ремонтів асфальтобетонного покриття протягом терміну його експлуатації показує, що витрати на будівництво бетонних покриттів — у кілька разів менше, ніж на асфальтобетонні покриття: 2 рази — на період капітального ремонту для асфальтобетонного покриття кожні 5 років і 3 рази, за трирічного періоду капітального ремонту. Висока міцність цементнобетонних покриттів обумовлена особливостями цементобетону як матеріалу. Характеристики міцності та деформаційні властивості цементобетону, на відміну від асфальтобетону, практично не залежать від температури та вологості повітря. З плином часу, протягом періоду експлуатації, міцність цементобетону зростає (в середньому на 10–20 %), незважаючи на інтенсивний рух транспортних засобів і агресивний вплив кліматичних факторів. Відповідно, на цементобетонних покриттях, колієутворення через деформації поверхні або знос — практично неможливі, в той час як колієутворення є одним із найбільш поширених дефектів на сучасних асфальтобетонних дорогах.

Матеріали та методи. Відповідно до затверджених стратегічних планів розвитку дорожньої галузі Республіки Казахстан, а також з урахуванням міжнародного досвіду, за останні 15 років у Республіці побудовано 1 452 км доріг з цементобетонним покриттям.

Результати. Результатом є розвиток будівництва цементобетонних доріг, які разом з позитивними якостями вимагають нових технологічних рішень для забезпечення стійкості покриттів до впливу транспортних і погодно-кліматичних факторів. Світовий досвід будівництва доріг із цементобетонними покриттями обіцяє велике майбутнє розвитку даного напрямку. Безумовно, перевагами цементобетонних покриттів є стабільні транспортні та експлуатаційні характеристики та висока довговічність.

Ключові слова: автомобільна дорога, цементнобетонне покриття, довговічність, термін експлуатації, інтенсивність руху, міцність.

УДК 624.4:539.374

Бабков О. В., канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0001-5075-4239>

Дехтяр А. С., д-р техн. наук, проф., <https://orcid.org/0000-0002-6838-0770>

Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури, м. Київ, Україна

НЕСНА ЗДАТНІСТЬ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК

Анотація

Вступ. Несна здатність — здатність конструкції сприймати граничне зусилля. Сучасні норми проектування рекомендують на основі пластичного розрахунку перевіряти несну здатність конструкції вцілому, охоплюючи належним чином всі можливі форми руйнування. Результати розрахунків верхньої межі граничного навантаження для багатьох конструкцій часто вдається отримувати в замкнутій формі, надаючи остаточним результатам формульного вигляду. На цій основі можна побудувати економічний і ефективний процес попереднього проектування, в якому розглядається конкуренція різних форм вичерпання несної здатності.

Проблематика. Під час експлуатації будівельні конструкції під впливом навантажень втрачають несну здатність, стійкість і деформуються, що унеможливує подальшу їх експлуатацію. Ознакою придатності до подальшої експлуатації є несна спроможність, яку можна оцінювати кінематичним методом теорії граничної рівноваги.

Мета роботи. Побудова методики оцінки несної здатності незамкнутих циліндричних оболонок з урахуванням різних можливих форм вичерпання несності.

Матеріали і методи. Методику розрахунку несності розроблено на основі кінематичного методу теорії граничної рівноваги, за допомогою якої оцінюється несна здатність незамкнутих циліндричних оболонок.

Результати. Запропонований метод і отримані співвідношення носять методичний характер і не претендують на широкі узагальнення, проте можна зауважити, що задану несну здатність циліндричної оболонки може бути досягнуто при різних поєднаннях товщини, пологості і площі перерізу зтяжки.

Висновки. Запропоновано методику розрахунку несної здатності незамкнутих циліндричних оболонок. Певна несність оболонки може бути досягнута при різних сполученнях товщини, пологістості і площі перерізу зтяжки. Отримані прості співвідношення для оцінки граничних навантажень дозволяють сформулювати оптимізаційну задачу про відшукання найбільш економічної конструкції із заданою несною здатністю.

Ключові слова: кінематичний метод, несна здатність, пластичний шарнір, циліндричні оболонки.

Вступ

Циліндричні оболонки широко застосовуються в транспортному будівництві як покриття і облаштування зупинок на автомобільних дорогах, як покриття профілакторіїв і станцій технічного обслуговування, авторемонтних заводів і критих стоянок автотранспорту. Столітня історія широкого застосування залізобетонних тонкостінних покриттів починається з циліндричних оболонок. Спорудження таких оболонок в Німеччині в 1922 році пов'язане з діяльністю акціонерного

товариства Дікергофф і Відманн АГ (оболонки Цейсс-Двідаг). Досвід застосування таких оболонок ще в передвоєнні роки показав їх добрі несні властивості і економічну ефективність.

Як покриття застосовуються окремі незамкнуті циліндричні оболонки і багатохвильові системи. Окремі оболонки зазвичай мають поздовжні контурні ребра. Крім того, торці оболонок, в тому числі і в багатохвильових системах, мають діафрагми у вигляді арок або ферм.

Нижче кінематичним методом теорії граничної рівноваги оцінюється несна здатність незамкнутих циліндричних оболонок з параболічною серединною поверхнею. Поздовжні ребра і торцеві діафрагми істотно підвищують несну здатність, і на фоні такого підвищення властивості самої оболонки важко оцінювати. Тому для того, щоб виключити або зменшити вплив ребер і діафрагм, останні в подальшому не враховуються, збережені лише зтяжки в торцевих перерізах оболонок.

Виклад основного матеріалу

Циліндрична оболонка постійної товщини вільно оберта по торцях і несе рівномірне поперечне навантаження. Напрямна серединної поверхні — квадратна парабола (рис.1):

$$y = 4fl^{-2}x(i-x),$$

де l — прогін,

$f = \gamma l$ — стріла підйому.

Товщину h оболонки далі будемо представляти її відносною товщиною $\varepsilon = hl^{-1}$.

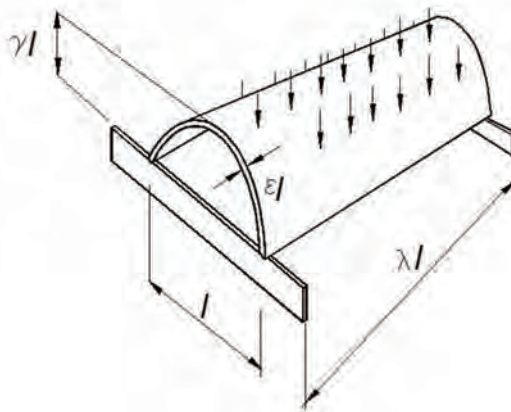


Рисунок 1 — Розрахункова схема

Матеріал оболонки прийнято як ідеальний жорсткопластичний з границями текучості σ при розтягуванні і σ_1 при стисненні, причому до того ж $\sigma_1 > \sigma$. Механічні властивості такого ідеального матеріалу наближаються до властивостей звичайного залізобетону.

Торцеві перерізи оболонки забезпечені зтяжками. Площу поперечного перерізу зтяжки позначимо $F = \mu h^2$.

Якщо оболонка має достатньо велику довжину, вичерпання її несної здатності може статися так, як показано на рис.2. Величина граничного згинального моменту M_0 в середньому перерізі оболонки становить:

$$M_0 = 0,5\sigma l^3 \varepsilon \gamma,$$

де γ — положистість оболонки (рис.1);
 ε — відносна товщина оболонки.

При одиничному опусканні точок середнього перерізу оболонки кут γ взаємного повороту дорівнює $\gamma = 4 / (\lambda l)$, тому робота внутрішніх сил на можливому переміщенні механізму, що утворився, визначається таким співвідношенням:

$$D_i = 4\sigma l^2 \varepsilon \gamma \lambda^{-1}.$$

Оскільки зовнішнє рівномірне навантаження інтенсивністю $q = p\sigma$ на тих самих переміщеннях виконує роботу

$$D_e = 0,5p\sigma \lambda l^2,$$

то з умови рівноваги $D_i - D_e = 0$ знаходимо верхню межу граничного навантаження:

$$p_1 = 4\gamma \varepsilon \lambda^{-2}, \tag{1}$$

де p — безрозмірна інтенсивність граничного навантаження.

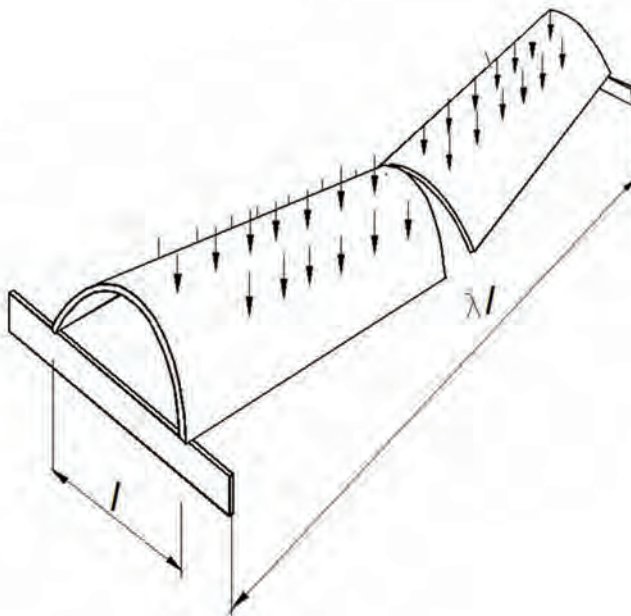


Рисунок 2 — Балкова форма руйнування

Якщо маємо порівняно коротку оболонку, вичерпання її несної здатності можливо за схемою, показаної на рис. 3 а) з утворенням лінійного пластичного шарніра в вершині покриття. Довжина такого шарніра — λl .

Обчислення роботи внутрішніх сил почнемо з роботи в лінійному пластичному шарнірі

D_{i1} . Оскільки граничний погонний згинальний момент $m_0 = 0,5\sigma\varepsilon^2 l^2$, а кут взаємного повороту елементів оболонки в шарнірі $4l^{-1}$, то одержуємо:

$$D_{i1} = 2\sigma^2 \varepsilon^2 \lambda.$$

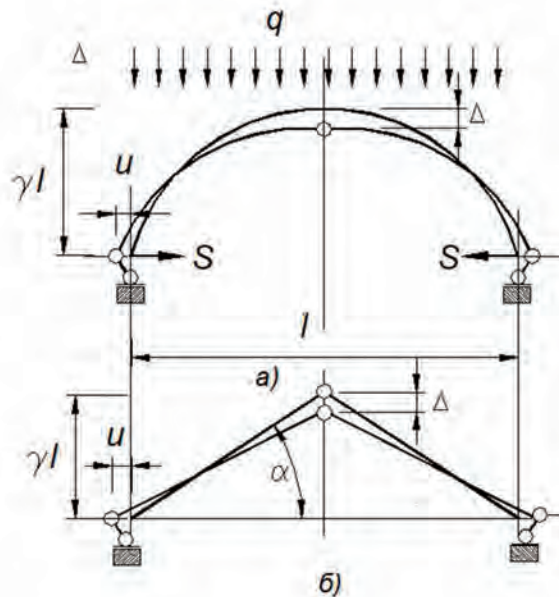


Рисунок 3 — а) оболонкова форма руйнування; б) кінематична схема

Граничне зусилля в зтяжці $\sigma_1 \mu h^2$ здійснює роботу на переміщенні $2u$ $2u$ (рис.3, б). З кінематики схеми випливає, що $u = 2\gamma$ тоді робота зусиль в зтяжці D_{i2} може бути представлена рівністю:

$$D_{i2} = 4\sigma_1 l^2 \varepsilon^2 \mu \gamma,$$

де μ — відносна величина перерізу зтяжки.

Повну роботу внутрішніх сил отримаємо, підсумовуючи обидва доданки:

$$D_i = \sigma l^2 \varepsilon^2 (2\lambda + 8\gamma\mu).$$

Враховуючи, що вираз D_e для роботи зовнішнього навантаження з попередньої схеми зберігає силу, отримуємо оцінку граничної інтенсивності граничного навантаження в другій схемі руйнування:

$$p = 2\varepsilon^2 \lambda^{-1} (2\lambda + 4\psi\gamma\mu), \quad (2)$$

де $\psi = \sigma_1 / \sigma$ — відношення меж текучості при розтягуванні матеріалів зтяжки та оболонки.

При оцінці результату (2) врахуємо, що існує деяке граничне зусилля в зтяжці — таке, що його подальше збільшення вже не може підвищити несну здатність оболонки, оскільки призводить до її руйнування за іншою схемою, показаною на рис. 4.

У ній передбачається утворення трьох поздовжніх пластичних шарнірів. Крім середнього, як в попередній схемі, утворюються ще два бічних шарніри. В загальному випадку місце їх утворення невідомо і визначається з умови мінімуму навантаження.

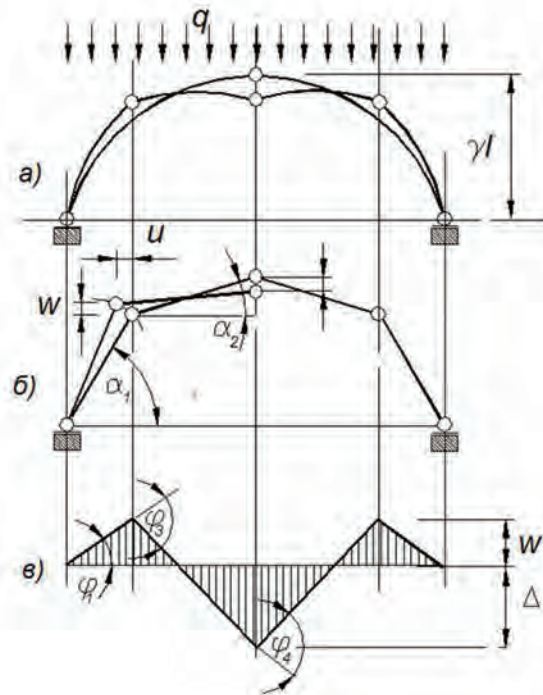


Рисунок 4 — а) оболонкова форма руйнування, б) кінематична схема, в) поля можливих вертикальних переміщень

На рис. 4, б) показана кінематична модель механізму, а на рис. 4, в) — поперечний переріз поля можливих вертикальних переміщень.

Така форма руйнування передбачає піднесення частини поверхні, на ній рівномірне вертикальне навантаження виконує від’ємну роботу.

Замість абсолютних координат x, y введемо їх відносні величини $\zeta = x/l, \varsigma = y/l$, тоді кути нахилу ланок механізму α_1, β_2 (рис. 4, б) можуть бути представлені виразами:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_1 &= \varsigma / \zeta; \\ \operatorname{tg} \alpha_2 &= (\gamma - \varsigma) / (0,5 - \zeta), \end{aligned}$$

де ζ — відносна абсциса лівого бічного лінійного пластичного шарніра. Його підведення w відомо [1, 2].

$$w = \operatorname{tg} \alpha_2 / (\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2).$$

Маючи в своєму розпорядженні величину w , знаходимо віртуальні кути взаємного повороту ланок (рис. 4, в):

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= w / (l\xi); \\ \varphi_2 &= l^{-1}(1+w) / (0,5-\xi); \\ \varphi_3 &= 2\varphi_2; \\ \varphi_4 &= \varphi_1 + \varphi_3.\end{aligned}$$

Робота граничних погонних згинальних моментів D_i в трьох пластичних шарнірах може бути представлена виразом:

$$D_i = 0,5\sigma l^2 \varepsilon^2 (\varphi_3 + \varphi_4),$$

а робота D_e , що здійснюється на тих же переміщеннях зовнішнім рівномірним навантаженням інтенсивністю $q = p\sigma$, дорівнює:

$$D_e = p\sigma S.$$

де S — сума площ епюри вертикальних можливих переміщень (рис.4, в):

$$S = l((0,5-\xi)(1+w) - w(1-\xi)).$$

З умови рівноваги $D_i = D_e = 0$ знаходимо безрозмірну інтенсивність граничного навантаження p_3 .

Розглянемо приклад — оболонку з пологістю $\gamma = 0,4$ і з відносною товщиною $\varepsilon = 0,01$. В результаті описаних обчислень для неї отримана верхня оцінка граничного навантаження p — 0,031 з утворенням шарніра в точці ξ — 0,2.

В окремому випадку для лінійного вертикального навантаження, прикладеного тільки уздовж вершини, і при фіксованому положенні бічних пластичних шарнірів в чвертях прольоту оболонки $\xi = 0,25$ оцінки інтенсивності граничного лінійного навантаження можна отримати в замкнутій формі. Дійсно, при $\xi = 0,25$ отримуємо для всіх трьох розглянутих форм вичерпання несної здатності відповідно:

$$\begin{aligned}q_1 &= 2\sigma l \varepsilon \gamma \lambda^{-1}; \\ q_2 &= \sigma l \varepsilon^2 \lambda^{-1} (\lambda + 4\mu\psi\gamma); \\ q_3 &= 7\sigma l \varepsilon^2 \lambda.\end{aligned}$$

Порівнюючи наприклад, оцінки q_2 і q_3 , знаходимо:

$$\mu^* = 0,75\lambda / \gamma.$$

Нижче наведені результати обчислень верхньої межі граничного навантаження на циліндричну оболонку. З урахуванням виразів (1) і (2) отримуємо остаточно

$$p = \min(p_1, p_2). \tag{3}$$

У цих обчисленнях всюди було прийнято $\mu < \mu^*, \gamma = 0,4$.

На рис. 5 представлена область параметрів ε, λ та показаний перехід від «балкової форми» руйнування до «оболонкової», а в табл. 1 наведені збільшені у 100 разів величини безрозмірних граничних навантажень (3).

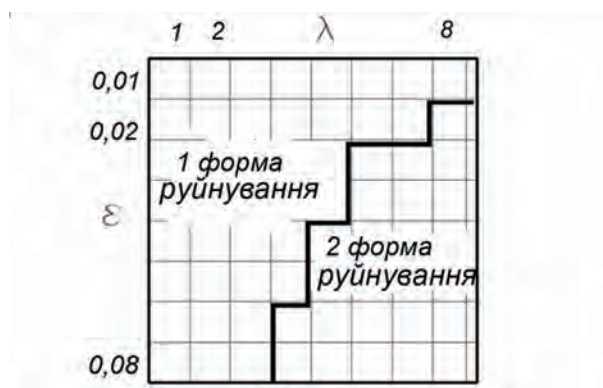


Рисунок 5 — Перехід від «балкової форми» руйнування до «оболонкової»

Таблиця 1

Безрозмірні граничні навантаження

ε	λ							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0,01	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
0,02	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,69
0,03	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,65	1,36	1,04
0,04	3,52	3,52	3,52	3,52	3,52	2,47	1,81	1,39
0,05	5,50	5,50	5,50	5,50	4,42	3,12	2,22	1,74

Щоб оцінити результати, представлені в табл. 1, припустимо, що границя текучості матеріалу оболонки при розтягу 2 МПа, границя текучості матеріалу зтяжки 200 МПа, прольот оболонки 2 м, її довжина 8 м, товщина 4 см. Відповідні параметри будуть $\varepsilon = 0,02$; $\lambda = 4$. Для них з таблиці знаходимо 0,0088 і відповідно $q = 0,176$.

Висновки

Запропоновано методику розрахунку несної здатності незамкнутих циліндричних оболонок. Певна несність оболонки може бути досягнута при різних сполученнях товщини, положистості і площі перерізу зтяжки. Отримані прості співвідношення для оцінки граничних навантажень дозволяють сформулювати оптимізаційну задачу про відшукування найбільш економічної конструкції із заданою несною здатністю. Наведено приклади розв'язання таких задач. Методика і подані тут розрахункові співвідношення наразі використовуються у викладанні спецкурсу оптимального проектування при підготовці архітекторів — магістрів.

Список літератури

1. Дехтярь А. С., Рассказов А. О. Несущая способность тонкостенных конструкций. Київ, 1990. 287 с.
2. Дехтярь А. С. Несущая способность коробчатых конструкций. *Строительная механика и расчет сооружений*. Москва, 1987. № 3. С. 9-12.

References

1. Dekhtyar A.S, Rasskazov A.O. Nesushchaia sposobnost tonkostennykh konstruktsiyi (Load carrying capacity of thin-walled structures) Kiev, 1990. 287 p. [in Russian].
2. Dekhtyar A. esushchaia sposobnost korobchatykh konstruktsiyi (Load carrying capacity of box-like structures). *Structural mechanics and calculation of structures*. Moscow, 1987. N 3. P. 9-12. [in Russian].

Oleksandr Babkov, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0001-5075-4239>

Anatolii Dekhtyar, D.Sc., Prof., <https://orcid.org/0000-0002-6838-0770>

National Academy of Fine Art and Architecture, Kyiv, Ukraine

LOAD CARRYING CAPACITY OF CYLINDRICAL SHELLS

Abstract

Introduction. Load carrying capacity — the ability of structures to resist of limit load. Modern design standards recommend based plastic calculation when the load carrying capacity may be calculated in in general, including all possible of different forms of destruction. Calculation of the upper bound of the limit load for many cases can often be carried out in a closed form formula giving the final results. On this basis we can construct an economical and efficient process of preliminary design, which addresses to various forms of competition exhaustion load carrying capacity resolution.

Problem statement. During operation structures may lose they load carrying capacity, stability. These factors can prevent further exploitation. Assess the suitability for further use is load carrying capacity which can be evaluated by kinematic method of limit equilibrium theory.

Purpose. Techniques for load carrying capacity assessment of cylindrical shells taking into account various possible forms of load carrying capacity.

Materials and methods. Method of calculation developed on based load carrying capacity with kinematic method of limit equilibrium theory by which we can evaluate the load carrying capacity of cylindrical shells.

Results. The proposed method and the resulting value are methodological in nature and not intended to sweeping generalizations however, we can see that the load carrying capacity of cylindrical shell can be achieved with different combinations of thickness and cross-sectional area tightening.

Conclusions. The method of load carrying capacity calculation gives an ability for cylindrical shells design. Specified load carrying capacity of cylindrical shell can be achieved by various combinations of thickness and square section of elements in tension. The resulting ratio for simple assessment of limit loads allow to formulate of optimization problem of finding the most economical design according to a given load carrying capacity.

Keywords: cylindrical shell, load carrying capacity, plastic hinge, kinematical method.

УДК 625.70; УДК 691.175.2-427.5 (083.74) (476)

Гамеляк І. П.,¹ *д-р техн. наук, проф.*, <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>

Бернацький І. І.,¹ <https://orcid.org/0000-0001-5729-4941>

Дмитренко Л. А.,² <https://orcid.org/0000-0002-0735-1802>

¹Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

²Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЖОРСТКИХ ГРАТОК ДЛЯ АРМУВАННЯ ШАРІВ ОСНОВИ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ІЗ ЗЕРНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

Анотація

Вступ. Геосинтетичні матеріали у вигляді жорстких ґраток різних структур та сировинного складу широко використовують у сучасних технологіях будівництва доріг для армування зернистих шарів основ дорожніх одягів, що забезпечує їх довговічність і надійність.

Проблематика. При влаштуванні основи дорожнього одягу із зернистих матеріалів (щебінь, щебенево-піщані суміші тощо), внаслідок проникання окремих часток в нижні піщані шари або перемішування з ґрунтом відбувається втрата матеріалу та на поверхні дорожньої конструкції можливі надмірні деформації та руйнування у вигляді просадок, нерівності, ямковості тощо. Армування зернистих шарів геогратками, за рахунок заклинювання часток у вічках ґраток, забезпечує синергетичний ефект за рахунок включення в роботу армуючого матеріалу його розтягнення та роботи шару як плити, чого немає у вихідному зернистому шарі. Враховуючи специфіку та появу нових матеріалів є потреба в розробленні нових методів випробувань та оцінки якості геосинтетиків з різною формою вічок.

Мета. Метою даного дослідження є розроблення методу визначення характеристик жорстких геограток з різною формою вічок, призначених для армування зернистих шарів дорожнього одягу.

Матеріали та методи. Для дослідження обрано типові геогратки однакового сировинного складу з різною формою вічок (квадратною та трикутною), що використовуються як армувальний матеріал при влаштуванні зернистих шарів дорожнього одягу автомобільних доріг.

Результати. У статті наведено експериментальні дані залежності деформації ґраток Δl , мм, після прикладення заданого навантаження P , кН. Розроблена методика визначення міцності та деформативності жорстких ґраток різної форми.

Для шестигранних ґраток найбільш вигідною є статично визначена схема у вигляді двох трикутників, з'єднаних через шарнір.

Для конструкцій, що працюють в умовах плоского напружено-деформованого стану (насипи, укоси, підпірні стінки тощо) більш ефективними є двовісні ґратки.

Висновки. В Україні немає методики оцінки фізико-механічних характеристик геограток тривісної структури. У статті наведено метод визначення характеристик і виконано порівняння жорстких ґраток з різною формою вічок, які призначені для армування зернистих шарів основи дорожнього одягу. Необхідно розробити нормативний документ на випробування жорстких ґраток для армування зернистих шарів дорожнього одягу автомобільних доріг.

Ключові слова: армування, видовження, дорожня конструкція, жорсткі геогратки, міцність на розрив, плоскі двовісні екструдовані поліпропіленові геогратки.

Вступ

Протягом 25 років всі георатки мали квадратну або прямокутну форму отворів. Відповідно були розроблені та затверджені методи випробувань для порівняння основних властивостей геораток для проектування та будівництва автомобільних доріг, які дозволяють оцінити переваги наявних продуктів.

З 2007 року доступні георатки з трикутними отворами. Технічна потреба в новій формі георатки є необґрунтованою і їх ефективність практично не підтверджена. Крім того, трикутна форма ґраток означає, що їх властивості не можуть бути встановлені, використовуючи існуючі та затверджені методи випробування. Недостатньо загальнодоступної інформації, щоб дозволити користувачам приймати обґрунтоване рішення стосовно того, який матеріал буде еквівалентним в порівнянні з існуючими з перевіреними показниками [1].

На сьогодні широко застосовуються жорсткі поліпропіленові ґратки подвійного орієнтування Tenax 3D Grids та тривісні ґратки Tencar Triax різних типів, призначені для стабілізації та зміцнення основи для доріг з асфальтобетонним покриттям і ґрунтових доріг; зменшення необхідної висоти насипу; армування укосів; стабілізації насипів; контролю ерозії; збільшення несної здатності полотна, зменшення товщини конструктивних шарів, запобіганню нерівномірного осідання земної поверхні.

За кордоном використовується метод випробування ґраток трикутної форми на багатовісний розтяг (рис. 1) [1, 5].

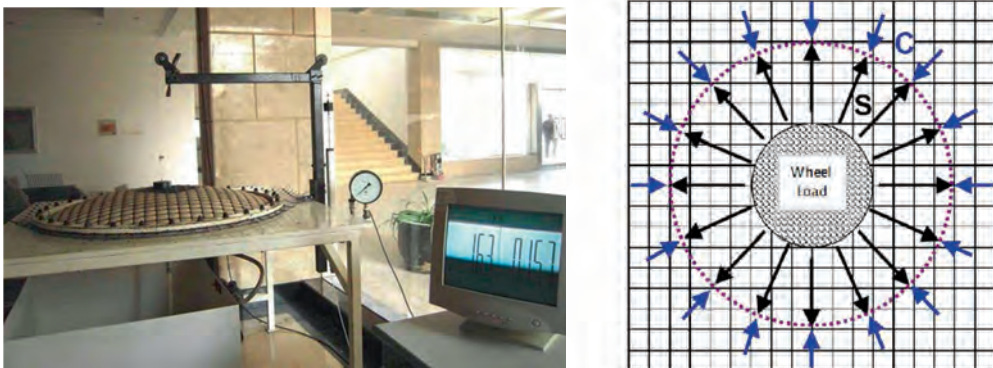


Рисунок 1 — Метод випробування ґраток трикутної форми на багатовісний розтяг

Дане випробування забезпечує розтягнення ґратки «у всіх напрямках» в площині X-Y, коли при випробуванні всі ребра залишаються під однаковими деформаціями і краще представляють ефект навантаження на прошарок від колісного навантаження, що діє вздовж проїзної частини.

Методи випробування жорстких ґраток в Україні частково наведені в ДСТУ 8607:2015 [3].

Національних стандартних методик визначення механічних властивостей тривісних ґраток в Україні не існує, тому враховуючи специфіку та появу нових матеріалів є потреба в розробленні нових методів випробувань та оцінки якості геосинтетиків. Наприклад в Білорусі розроблено СТБ 2398-2015 [4] в яких регламентовано правила випробування таких матеріалів.

За кордоном розроблено методику випробувань шестикутних жорстких геораток для стабілізації незв'язаних зернистих шарів шляхом взаємного зчеплення із заповнювачем [1, 5].

Мета роботи. Провести експериментальні дослідження поліпропіленових жорстких ґраток подвійного орієнтування та тривісних геораток різних структур і видів з метою порівняльного аналізу їх механічних властивостей, для подальшого використання отриманих результатів випробувань при розробленні стандартних методів.

Завдання. Експериментально дослідити георатки подвійного орієнтування GR1 та тривісні GR2 в лабораторії Текстиль — Тест при КНУТД . Визначити зміну лінійних розмірів ґраток при навантаженні до розриву.

Об'єкти дослідження та опис матеріалів. Для проведення випробувань вибрані наступні матеріали:

- георатки подвійного орієнтування GR1;
- георатки тривісні GR2.

Дані георатки широко представлені на ринку геосинтетичних матеріалів для дорожнього будівництва завдяки їх властивостям [6–8].

Загальний вигляд жорстких ґраток, що порівнюються, наведено на рис. 2.

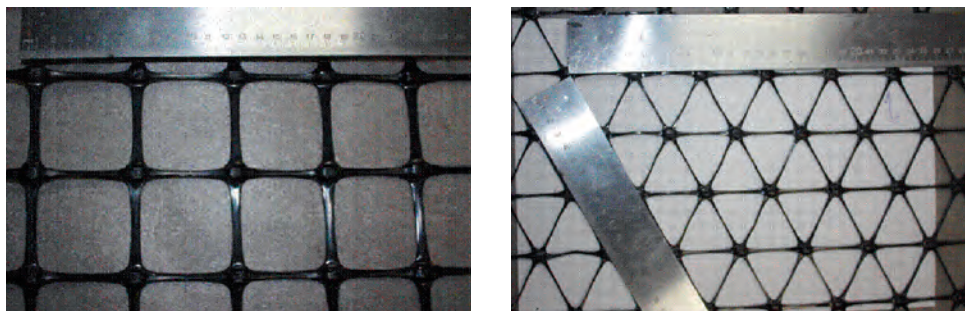


Рисунок 2 — Загальний вигляд жорстких ґраток GR1 та GR2

Структура об'єктів дослідження та їх короткий опис наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Короткий опис жорстких ґраток

Ч. ч.	Загальний вигляд	Короткий опис
1	GR1 	Георатки подвійного орієнтування Виготовляються методом екструзії перфорованого поліпропіленового аркуша, що має певну форму в трьох напрямках (3D). Завдяки унікальній технології екструзії створюється ввігнуте ребро, що фіксує камені в отворах, що й збільшують зчеплення між геораткою і ґрунтом, запобігаючи тим самим горизонтальні зсуви. Збільшення взаємодії GR1 із ґрунтом значно зменшує товщину шару.
2	GR2 	Це тривісні георатки. Мають за мету підвищити експлуатаційні характеристики двовісних геораток попереднього покоління, випущені за даною технологією. Інтегральний тривісна георатка. Ребра й вузли мають однакову міцність, гнізда — правильну трикутну форму.

Застосування ґраток. Стабілізація й зміцнення основи для доріг з асфальтобетонним покриттям і ґрунтових доріг; зменшення необхідної висоти насипу; армування укосів, стабілізація насипів; контроль ерозії.

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

Технічні та механічні характеристики жорстких ґраток за даними виробника наведені в табл. 2 і табл. 3.

Таблиця 2

Фізико-механічні характеристики жорстких ґраток GR1

Розмірні та технічні характеристики	Метод тестування	Вимірник	GR1		Примітки
Товщина з'єднання	ISO 9893	мм	7,00		a
Ширина рулону	ГОСТ 64331.1-89	м	4,0		a
Довжина рулону	ГОСТ 64331.1-89	м	50		
Розмір отвору	ГОСТ 64331.1-89	мм	55	55	a, c, d
Товщина ребра	ГОСТ 64331.1-89	мм	3,50	2,00	a, c, e
Межа міцності при навантаженні 0,5 %	ISO 10319	кН/м	900	600	a, b, c
Ефективність з'єднання	GRI-GG2	%	90	100	a, c
Стійкість до ушкоджень при установці	ISO 10722-1	%	100	95	a
Стійкість до хімічного розщеплення	EN 14030	%	100		a
Стійкість до атмосферних впливів	EN 12224	%	100		a
Відносний коефіцієнт тертя ґрунт/геосинтетика	EN 13738		1,20		a, f

Примітки: a) базове значення; b) випробування проведені з використанням екстензометрів; c) MD: машинний напрям (уздовж рулону, поздовжнє) TD: поперечний напрям (поперек рулону, поперечне); d) допустиме відхилення розмірів отвору ± 5 мм; e) допустиме відхилення товщини — 5%; f) при проведенні тестів на висмикування, використовувались спеціальні прилади, вимірюючи силу, яку необхідно докласти, щоб висмикнути георатку, розміщену у ґрунті.

Таблиця 3

Фізико-механічні характеристики жорстких ґраток GR2

Тип	Типові розміри (мм)	A	WTR	WDR	TJ	TTR	TDR
GR2-160		46	1,3	1,1	4,7	1,9	2,0
GR2-170		46	1,3	1,2			

Технічні характеристики геораток GR2

Властивості	GR2-160	GR2-170
Матеріал	PP (поліпропілен)	PP (поліпропілен)
Мінімальний вміст сажі	2 %	2 %
Форма ребра	прямокутник	прямокутник
Ширина рулону	4 м	4 м
Намотування в рулоні	75 м	50 м
Форма гнізда	трикутник	трикутник
Міцність у вузлі	100 %	100 %
Хімічна стійкість	100 %	100 %
Стійкість до УФ випромінювання	100 %	100 %

Теоретичні передумови

Стан плоскої деформації в геотехнічній інженерії є найбільш поширений для лінійних об'єктів та споруд (основ, насипів, підпірних стін тощо) і, у цілому, для всіх споруд, в яких довжина в одному з основних напрямків значно більша, ніж в інших.

У таких умовах напружено-деформований стан у поздовжньому напрямку практично дорівнює нулю, оскільки в даному напрямку не утворюється деформація, у той час як пряме навантаження в напрямку двох інших сторін з меншим розширенням (поперечним і вертикальним) буде максимальним.

Даний тип геометрії дуже розповсюджений в об'єктах цивільного будівництва й широко представлений у випадку дорожньої й залізничної інфраструктури, де навантаження розподіляються за допомогою лінійних і канальних структур.

Традиційні плоскі георатки, що характеризуються ортотропною поведінкою (однакові властивості уздовж двох перпендикулярних напрямків) або навіть ідеально ізотропні, не приносять користі, оскільки фактично надають ту ж стійкість конструкції в перпендикулярному напрямку, як у паралельному, уздовж якого необхідність посилення є меншою. Таким чином, використання в даних випадках схожих геораток не є ефективним і є витратою додаткових ресурсів.

Для двовісних ґраток визначаються параметри структури:

Площа поперечного перетину поздовжньої смуги, F_a , мм²:

$$F_a = b_{pz} \cdot h_{pz}, \quad (1)$$

де b_{pz} — ширина, поздовжньої смуги, мм;

h_{pz} — товщина поздовжньої смуги, мм.

Товщина шару, δ , мм:

$$\delta = h_{pz}, \quad (2)$$

Крок армуючих смуг в поздовжньому напрямку, d_a , мм:

$$d_a = b, \quad (3)$$

де b — ширина вічка, мм.

Інтенсивність армування в поздовжньому напрямку, W_a :

$$W_a = F_a / (d_a \cdot \delta), \quad (4)$$

де F_a — площа поперечного перетину поздовжньої смуги, мм²;

d_a — крок армуючих смуг в поздовжньому напрямку, мм;

δ — товщина шару, мм.

Загальна площа перетинів армуючих смуг, що припадають на 1 п.м. поперечного перетину шару, F_a^* , мм²/м:

$$F_a^* = F_a / d_a \cdot 10^3, \quad (5)$$

де F_a — площа поперечного перетину поздовжньої смуги, мм²;

d_a — крок армуючих смуг в поздовжньому напрямку, мм.

Напруження, σ_a , МПа:

$$\sigma_a = N_a \cdot 1000 / F_a^*, \quad (6)$$

де N_a — розтягувальне зусилля, кН/м при 2 % деформацій, N_a , кН/м;

F_a^* — загальна площа перетинів армуючих смуг, що припадають на 1 п.м. поперечного перетину шару, мм²/м.

Модуль пружності при відносному видовженні 2 %, E_α , МПа :

$$E_\alpha = \sigma_\alpha / 0,02, \quad (7)$$

де σ_α — напруження, МПа.

Параметр A_{11} , МПа :

$$A_{11} = W_\alpha \cdot E_\alpha, \quad (8)$$

де W_α — інтенсивність армування в поздовжньому напрямку;

E_α — модуль пружності, МПа.



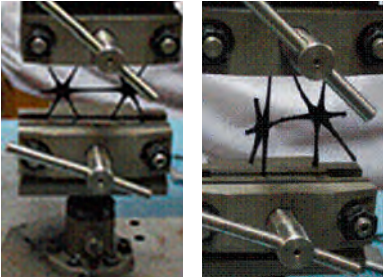

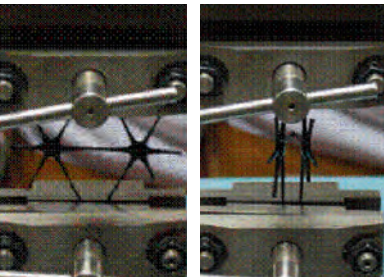

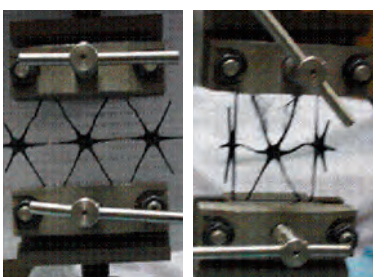

У таблиці 4 наведено характеристики різних видів геораток типу GR 1 в поперечному/ поздовжньому напрямку, визначені за формулами (1) — (8). Для тривісних ґраток необхідне окреме рішення, засноване на деформуванні статично невизначених систем при навантаженні.

Таблиця 4

Характеристики різних видів геораток типу GR 1 в поперечному / поздовжньому напрямку

Характеристика	Тип геораток GR 1					
	1	2	3	4	5	6
Площа поперечного перетину смуги, F_α / F_β , мм ²	<u>2,42</u> 1,92	<u>5,06</u> 3,64	<u>4,84</u> 3,5	<u>3,6</u> 2,7	<u>3,2</u> 3,2	<u>6,8</u> 6,0
Товщина шару, δ , мм	<u>1,1</u> 0,8	<u>2,2</u> 1,3	<u>2,2</u> 1,4	<u>1,2</u> 0,9	<u>0,8</u> 0,8	<u>1,7</u> 1,5
Крок армуючих смуг в поздовжньому/ поперечному напрямку, d_α / d_β , мм	<u>39</u> 39	<u>39</u> 39	<u>33</u> 33	<u>40</u> 28	<u>65</u> 65	<u>65</u> 65
Інтенсивність армування в напрямку, W_α / W_β	<u>0,0564</u> 0,0615	<u>0,0590</u> 0,0718	<u>0,0667</u> 0,0758	<u>0,0750</u> 0,1071	<u>0,0615</u> 0,0615	<u>0,0615</u> 0,0615
Загальна площа перетинів армуючих смуг, що припадають на 1 п.м. поперечного перетину шару, $F_{\alpha^*} / F_{\beta^*}$, мм ² /м	<u>62,05</u> 49,23	<u>129,74</u> 93,33	<u>146,67</u> 106,06	<u>90,00</u> 96,43	<u>49,23</u> 49,23	<u>104,62</u> 92,31
Розтягувальне зусилля, кН/м при 2 % деформацій, N_α / N_β , кН/м	<u>7</u> 7	<u>10,5</u> 10,5	<u>14</u> 14	<u>7</u> 12	<u>7</u> 8	<u>11</u> 12
Напруження, $\sigma_\alpha / \sigma_\beta$, МПа	<u>112,8</u> 142,2	<u>80,9</u> 112,5	<u>95,5</u> 132,0	<u>77,8</u> 124,4	<u>142,2</u> 162,5	<u>105,1</u> 130,0
Модуль пружності, E_α / E_β , МПа	<u>5 640</u> 7 109	<u>4 046</u> 5 625	<u>4 773</u> 6 600	<u>3 889</u> 6 222	<u>7 109</u> 8 125	<u>5 257</u> 6 500
Параметр A_{11} / A_{22} , МПа	<u>318,18</u> 437,50	<u>238,64</u> 403,85	<u>318,18</u> 500,00	<u>291,67</u> 666,67	<u>437,50</u> 500,00	<u>323,53</u> 400,00

Результати випробувань та їх аналіз. Випробування геораток GR1 та GR2 виконували в лабораторії Текстиль — Тест при КНУТД. Визначали зміну лінійних розмірів ґраток при навантаженні до розриву згідно з ДСТУ 8607:2015 при різних схемах навантаження (табл. 5). Випробування проводилися на зразках, вирізаних з елементів структури матеріалу.

Ч. ч.	До та після випробування	Вигляд елементів зразків після випробування	Тип елемента та короткий опис
2.2			Вигляд елемента зразка георатки GR2 із двох трикутників з'єднаних через шарнір до та після випробування на розтяг
2.3			Вигляд елемента зразка № 5 георатки GR2 із двох з'єднаних трикутників до та після випробування на розтяг
2.4			Вигляд елемента зразка № 6 ГМ GR2 із двох з'єднаних трикутників до та після випробування на розтяг
2.5			Вигляд елемента зразка № 7 георатки GR2 із шестигранника до та після випробування на розтяг

Під час випробування реєструвалися видовження проб Δl , мм при заданих навантаженнях P , кН. Залежність «навантаження — відносна деформація» досліджених зразків наведено на рис. 4.

За результатами випробувань за допомогою формул (1) — (8) виконано розрахунок міцності на розтяг (кН/м) та модуля пружності жорстких ґраток (табл. 6).

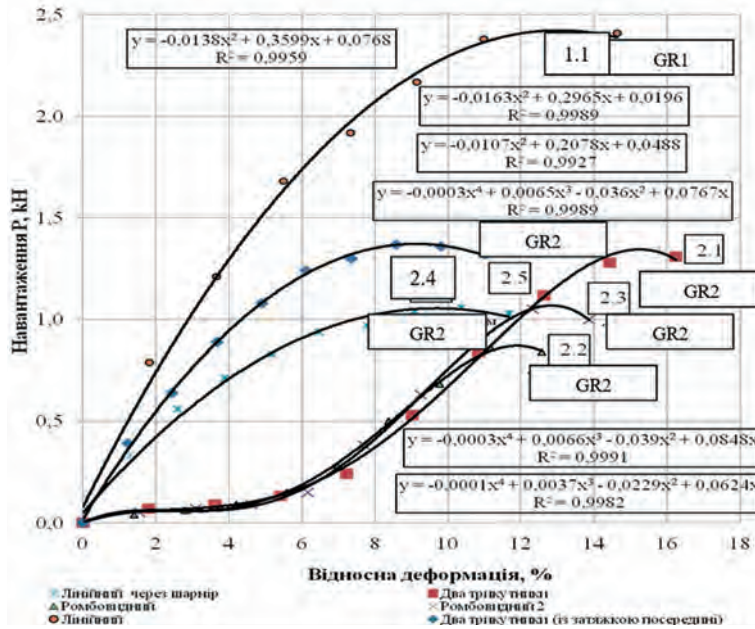


Рисунок 4 — Порівняння залежності «навантаження — відносна деформація» для георатки GR1 (зразок 1.1) і GR2 (зразки 2.1–2.5)

Таблиця 6

Розрахункові характеристики жорстких трапок

Ч. ч.	Характеристики	Вимірник	Лінійний	Лінійний через шарнір	Два трикутники	Ромбовидний	Ромбовидний 2	Два трикутники через шарнір
1	Вимірювальних точок		6	6	6	6	6	6
2	Матеріал		GR1	GR2				
5	Площа	мм ²	19,64	19,64	19,64	19,64	19,64	19,64
6	Площа зламу	мм ²	6	6	6	6	6	6
7	Розмір зламу	мм	1	1	1	1	1	1
8	Діаметр	мм	5	5	5	5	5	5
9	Ширина	мм	1	1	1	1	1	1
10	Початкова довжина	мм	-	82	82	80	-	82
11	Довжина за максимального навантаження	мм	13,3	10,63	15,3	11,7	13,25	9,5
12	Максимальне навантаження	кН	2,43	1,057	1,35	0,92	1,13	1,41
.	Кількість ребер на 1 м.п.	шт.	17	-	-	-	-	-
.	Міцність фактична	кН/м	41,31	21,0	-	-	-	-
13	Модуль пружності	кН/м	600	320	-	-	-	-

Випробування різних марок геораток типу GR1-220, GR1-330, GR1-440 та GR1-3D XL наведено на рис. 5.

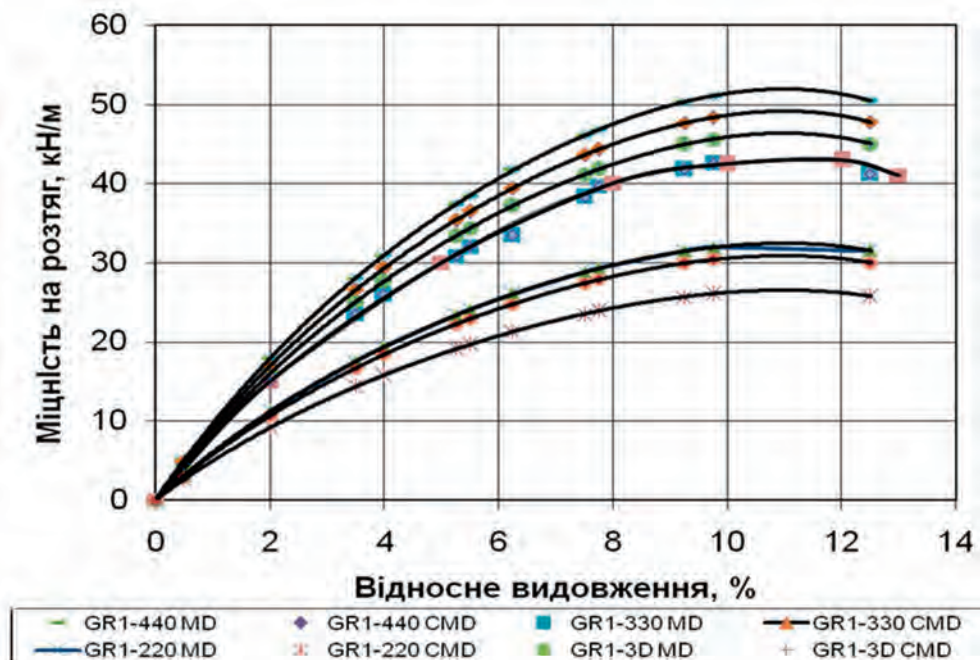


Рисунок 5 — Порівняння результатів випробування різних марок геораток типу GR1

Графік залежності міцності геораток різної форми від поверхневої щільності за результатами вимірювань та роботи [1] наведено на рис. 6 за даними випробувань та [1, 7, 8].

Використання георатки маркою GR1-220 або GR2-330 є альтернативним рішенням використанню георатки GR1-160.

У табл. 7 наведено порівняння технічних характеристик геораток GR1-220 та GR1-330 за показниками властивостей радіальна січна жорсткість при видовженні 0,5 % та ефективність вузлових з'єднань (значення для ґраток GR1 вище, ніж GR2 в обох випадках).

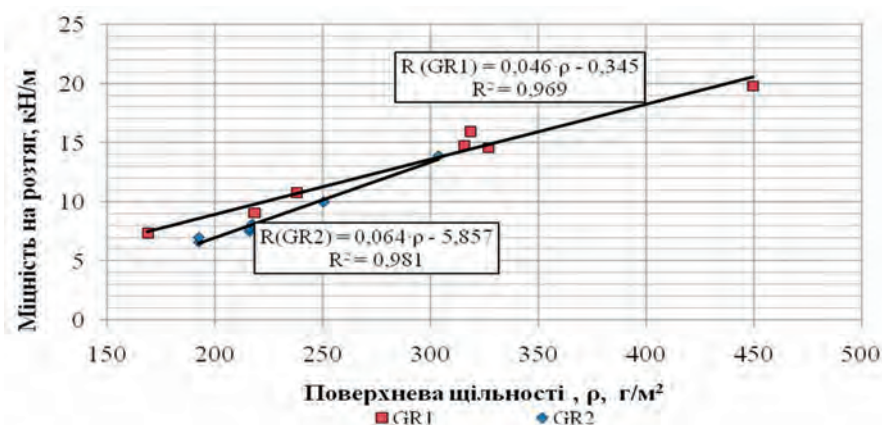


Рисунок 6 — Залежність міцності геораток різної форми від поверхневої щільності

Аналіз даних. Аналіз результатів випробувань вказує (табл. 7), що відношення радіальної січної жорсткості 75 % отримується діленням середнього (нормативного) значення для GR2-160 при вимірюванні (тобто допуску 405 кН/м, на максимальне значення, рівне 455 кН/м, тобто: $405 / 455 = 0,89$).

Для ґратки GR1-220 значення радіальної січної жорсткості при видовженні 0,5 % вище 455, і, зокрема, становить 630 кН/м і 514 кН/м у відповідно машинному MD та перпендикулярному машинному напрямку CMD, і навіть 806 кН/м і 935 кН/м при вимірюванні міцності ґратки під різними кутами.

Таблиця 7

Порівняння фізико-технічних характеристик жорстких ґраток GR1 та GR2

Характеристика продукту	Вимірник	GR2-160		GR1-220			
		Нормативне значення	Допуск	Нормативне значення			
				MD	CMD	30°	60°
Міцність на розтяг при згинанні, кН/м	кН/м	22,75		31,5	25,7	40,3	46,75
Радіальна січна жорсткість за 0,5 %	кН/м	455	+/-50 (405)	630	514	806	935
Відношення радіальної січної жорсткості	—	> 0,75		0,55			
Ефективність вузлових з'єднань MD	%	90		> 90			
		GR2-160		GR1-330			
				MD	CMD	30°	60°
Міцність на розтяг при згинанні, кН/м	кН/м	27,75		50,4	47,75	52,65	60,3
Радіальна січна жорсткість за 0,5 %	кН/м	555	+/-50	1 008	955	1 053	1 206
Відношення радіальної січної жорсткості	—	(505)		0,79			
Ефективність вузлових з'єднань MD	%	> 0,75		> 90			

Отже, для GR1-220 співвідношення між міцністю в напрямку CMD та міцністю при випробуванні під кутом 60°, становить $514/935=0,55$, що, менше 0,75, однак відношення нормативних значень міцності для GR1-220 та GR2-160 становить $514/455 = 1,1 — 3 > 1$, що і повинно прийматися до уваги при виборі матеріалу для конкретних умов експлуатації.

Таким чином, порівнюючи міцності при випробуванні у різних напрямках, співвідношення між цими значеннями не завжди становить 0,75.

Тому, при виборі матеріалу основним має бути не коефіцієнт, як співвідношення між мінімальним і середнім значенням, а мінімальне значення міцності, отримане з урахуванням розкиду даних випробувань із заданою достовірністю.

Значення радіальної січної жорсткості для геогратки GR1-330 під час видовження 0,5 % завжди значно вище 455, і, зокрема, досягає 1 008 кН/м і 955 кН/м в MD і CMD напрямках, а навіть 1053 і 1206 за вимірювання при різних кутах, що відповідно в 2,22; 2,10; 2,31 та 2,65 раз більше.

Висновки

У таблицях для георатки GR2 не наведена короткочасна міцність на розрив (кН/м) і відносне подовження, що не дає можливість порівнювати матеріали за основними показниками фізико-механічних властивостей.

В Україні немає методики оцінки фізико-механічних характеристик тривісної структури.

Розроблена методика визначення міцності та деформативності жорстких ґраток різної форми.

Для шестигранних ґраток найбільш вигідною є статично визначена схема у вигляді двох трикутників з'єднаних через шарнір.

Необхідно розробити нормативний документ на випробування жорстких ґраток для дорожнього будівництва.

Для конструкцій, що працюють в умовах плоского напружено-деформованого стану (насипи, укоси, підпірні стінки тощо) більш ефективними є двовісні ґратки.

Список літератури

1. Comparing Biaxial Grids of Different Forms. Wrekin Products Limited Europa Way, Britannia Enterprise Park, Lichfield, WS14 9TZ. URL: <http://79.170.43.15/constructionlines.net/image/catalog/Wrekin-Comparing-Biaxial-Grids-of-Different-Forms.pdf> (дата звернення: 20.04.2020).

2. Koerner R.M. Designing with Geosynthetics. 5th Edition, New Jersey, 2005. 818 p. URL: <https://www.slideshare.net/AgungNoorsamsi/designing-with-geosynthetics-by-koerner-5th-edition-2005> (дата звернення: 20.04.2020).

3. ДСТУ 8607:2015 Матеріали геосинтетичні дорожні. Методи випробувань. Київ, 2015. 63 с. (Інформація та документація).

4. СТБ 2398-2015 Материалы геосинтетические. Геосетки и георешетки плоские для армирования дорожных конструкций. Технические условия. Минск, 2015. 34 с. (Інформація та документація).

5. TR 41 Non-reinforcing hexagonal geogrid for the stabilization of unbound granular layers by way of interlock with the aggregate. European Organisation For Technical Approvals. Edition October 2012. URL: http://www.sgpstandard.cz/editor/files/stav_vyr/dok_es/eta/tr/041.pdf (дата звернення: 20.04.2020).

6. ГБН В.2.3-37641918-544:2014 Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги. Київ, 2014. 147 с. (Інформація та документація).

7. Гамеляк І.П., Дмитренко Л.А. Дослідження властивостей геотекстильних матеріалів в умовах двовісного розтягування. Зб. доповідей 13-тої міжнародної НТК «Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики». Київ, 2011. С. 18–24.

8. Гамеляк І.П., Дмитренко Л.А., Шатило Т.В. Зв'язок поверхневої густини геотекстильних матеріалів з граничною міцністю на розрив. *Вісник інженерної академії наук України*. Київ, 2014. № 2. С. 187- 193.

References

1. Comparing Biaxial Grids of Different Forms. Wrekin Products Limited Europa Way, Britannia Enterprise Park, Lichfield, WS14 9TZ. URL: <http://79.170.43.15/constructionlines.net/image/catalog/>

[Wrekin-Comparing-Biaxial-Grids-of-Different-Forms.pdf](#) (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

2. Koerner R.M. Designing with Geosynthetics. 5th Edition, New Jersey, 2005. 818 p. URL: <https://www.slideshare.net/AgungNoorsamsi/designing-with-geosynthetics-by-koerner-5th-edition-2005> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

3. State Standard of Ukraine (DSTU 8607:2015) Materialy heosyntetychni dorozhni. Metody vyprobuvan (Road geosynthetic materials. Test methods). Kyiv, 2015. 63 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

4. STB 2398-2015 Materyaly heosyntetycheskye. Heosetky y heoreshetky ploskye dlia armyrovaniya dorozhnykh konstruktsyi. Tekhnicheskye usloviya (Geosynthetic materials. Flat geonets and geogrids for reinforcement of road structures. Specifications). Minsk, 2015. 34 p. (Information and documentation) [in Russian].

5. TR 41 Non-reinforcing hexagonal geogrid for the stabilization of unbound granular layers by way of interlock with the aggregate. European Organisation For Technical Approvals. Edition October 2012. URL: http://www.sgpstandard.cz/editor/files/stav_vyr/dok_es/eta/tr/041.pdf (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

6. Departmental Building Norms (HBN B.2.3-37641918-544:2014) Zastosuvannia heosyntetychnykh materialiv u dorozhnykh konstruktsiiah. Osnovni vymohy. Avtomobilni dorohy (Application of geosynthetic materials in road structures. Basic requirements). Kyiv, 2014. 147 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

7. Gameliak I.P., Dmitrenko L.A. Doslidzhennia vlastyvostei heotekstylnykh materialiv v umovakh dvovisnogo rozstiahuvannia (Investigation of properties of geotextile materials in conditions of biaxial stretching). Proceedings of the 13th International scientific technical conference «Market of services of complex transport systems and applied problems of logistics». Kyiv, 2011. P. 18-24. [in Ukrainian].

8. Gameliak I.P., Dmitrenko L.A., Shatylo T.V. Zviazok poverkhnevoi hustyny heotekstylnykh materialiv z hranychnoiui mitsnistiu na rozryv (Interaction between surface density of geotextile materials and ultimate tensile strength). *Bulletin of the Engineering Academy of Sciences of Ukraine*. Kyiv, 2014. N 2. P. 187-193. [in Ukrainian].

Igor Gameliak,¹ D.Sc., Prof., <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>

Ivan Bernatsky,¹ <https://orcid.org/0000-0001-5729-4941>

Lyudmila Dmitrenko,² <https://orcid.org/0000-0002-0735-1802>

¹ National Transport University, Kyiv, Ukraine

² Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

DETERMINATION OF PROPERTIES OF RIGID GRIDS FOR REINFORCEMENT OF THE FOUNDATION LAYERS OF PAVEMENT FROM GRANULAR MATERIALS

Abstract

Introduction. Geosynthetic materials in the form of rigid geogrids of various structures and raw material composition are widely used in modern road construction technologies to reinforce the granular layers of the basics of road pavement, which ensures their durability and reliability.

Problem statement. When arranging the basis of the road bases made of granular materials (gravel, gravel — sand mixtures, etc.), due to the penetration of individual particles into the lower sandy layers

or mixing with the soil and there is a loss of material and on the surface of the road structure excessive deformation and destruction in the form of deposits are possible. The reinforcement of the granular layers by geogrids, due to wedging of the particles in the cells of grid, provides a synergistic effect by including in the work of the reinforcing material its stretching and the operation of the layer as a plate, which is not present in the original granular layer. Given the specificity and emergence of new materials, there is a need to develop new test methods and evaluate the quality of geosynthetics with different cell shape.

Purpose. The purpose of this study is to develop a method for determining the characteristics of rigid geogrids with different cell shape, for used to reinforce the granular layers of road pavement.

Materials and methods. Typical geogrids of the same raw material composition with different shape of the cells (square and triangular), which are used as reinforcing material in the arrangement of granular layers of road pavement of roads, were selected for the study.

Results. The article presents the experimental data of the grid deformation dependence Δl , mm, after application of a given load P , kN. A technique for determining the strength and deformability of rigid geogrids of various shapes has been developed.

For hexagonal geogrids, the most advantageous is a statically defined diagram in the form of two triangles connected by a hinge (statically defined diagram).

For structures working in the conditions of flat stress-deformed state (embankments, slopes, retaining walls, etc.), more effective are two-axis geogrids.

Conclusions. In Ukraine, there is no methodology for assessing the physico-mechanical characteristics of geogrids of a three-axis structure. The article describes the method of characterization and compares rigid geogrids with different cell shape, which are intended for reinforcing the granular layers of the basis of road pavement. It is necessary to develop a normative document for testing rigid geogrids for reinforcing grainy layers of road pavement of roads.

Keywords: elongation, reinforcement, road pavement, rigid geogrids, tensile strength, flat biaxial extruded polypropylene geogrids.

УДК 625.168

Желтобрюх А. Д., <https://orcid.org/0000-0003-0764-8793>

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

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

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

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ДРЕНУЮЧОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Анотація

Вступ. Установлено, що додатковим заходом боротьби з негативним впливом води на дорожню конструкцію може бути застосування дренажного асфальтобетону, який дозволяє під час опадів швидко, без затримки на поверхні покриття, відводити поверхневу воду через пори в асфальтобетоні до узбіч. Це, в свою чергу, зменшує негативний вплив води на довговічність дорожнього покриття та збільшує безпеку руху під час атмосферних опадів. Сформульовано етапи проектування таких асфальтобетонів.

Проблематика. Довготривалий вплив води на асфальтобетонне покриття є визначальним чинником його довговічності. Питання своєчасного відведення поверхневої води з дорожнього покриття є обов'язковим і вирішується шляхом надання поверхні дороги поперечного похилу. Як свідчить практика, це не достатньо забезпечує захист дорожнього покриття від негативного впливу води. Висока експлуатаційна безпека, підвищення експлуатаційних характеристик дорожнього покриття досягається завдяки усуненню з його поверхні скупчення водяних плям, які знижують зчеплення колеса з дорожнім покриттям. Ці якості можна покращити за рахунок впровадження дренажного асфальтобетону. Нажаль, сьогодні в Україні відсутні нормативні документи, які б регламентували проектування, виготовлення та виконання робіт за даною технологією, що унеможливило її практичне використання та обмежує оптимізацію та розвиток дорожньої галузі України в цьому напрямку.

Мета. Виконати аналіз існуючого досвіду проектування дренажного асфальтобетону для подальшого впровадження і підвищення експлуатаційної безпеки та експлуатаційних характеристик дорожнього покриття в Україні за рахунок нових дорожньо-будівельних матеріалів.

Матеріали і методи. Аналіз інформаційних джерел щодо проектування дренажного асфальтобетону.

Результати. Проведено аналітичний огляд досвіду проектування дренажного асфальтобетону. Вивчено та проаналізовано етапи підбору складу суміші, висвітлені вимоги до щеленевих матеріалів, гранулометричного складу суміші, вмісту в'язучого та стабілізуючих добавок.

Висновки. Аналіз особливостей проектування дренажних асфальтобетонів свідчить, що цей матеріал відноситься до спеціальних видів асфальтобетонів, який за рахунок особливостей гранулометричного складу суміші (біля 90 % становить однофракційний щебінь), на відміну від типових щільних і щебенево-мастикових асфальтобетонів, має достатньо велику пористість. Ця особливість дозволяє покриттю автомобільної дороги, яке влаштоване із таких сумішей швидко відводити воду з поверхні та значно знижувати рівень шуму при контакті із шиною транспортного засобу.

Вважаючи на низку притаманних дренуючому асфальтобетону властивостей і переваг, які він забезпечує в частині підвищення безпеки і комфорту дорожнього руху, можна стверджувати, що це — перспективний дорожньо-будівельний матеріал.

Ключові слова: асфальтобетонна суміш, відкрита пора, дренуючий асфальтобетон, зерновий склад, пористість.

Вступ

Дренуючий асфальтобетон це пористий матеріал, який застосовують в якості покриття автомобільних доріг поверх щільного асфальтобетону, що забезпечує швидке відведення води з поверхні дороги. У США цей матеріал отримав назву «Open graded friction course» («OGFC») і застосовується вже понад 60 років. Дренуючий асфальтобетон використовують під час будівництва автомобільних доріг з метою підвищення зчеплення колеса автомобіля з покриттям під час дощу. Вода не затримується на поверхні цього покриття і швидко по порам відводиться до узбіч. Ця обставина виключає явище «аквапланування» при швидкому русі автомобіля.

Методика проєктування дренуючих асфальтобетонних сумішей, перші принципи якої було розроблено Federal Highway Administration (FHWA) у 1974 році, відрізнялася від методики підбору для звичайних сумішей, що пов'язано з особливістю структури цього матеріалу. Незалежно від застосовуваного методу підбору складу висока пористість призводить до зниженої кількості міжзернових контактів і, як наслідок, до зниження довговічності дренуючого асфальтобетону. Більшістю методів проєктування складу для поліпшення експлуатаційних характеристик рекомендовано підвищити вміст в'язучого, використовувати більш в'язке в'язуче або ввести відповідні модифікуючі добавки [1].

Підбір суміші виконують таким чином, щоб в ущільненому матеріалі була система сполучених пор, по яких вода з поверхні дороги видаляється набагато швидше, ніж з покриття із щільних асфальтобетонних сумішей. Це досягається за рахунок особливості гранулометричного складу суміші, основну частку якого становить однофракційний щебінь.

Покриття з дренуючого асфальтобетону було створено для підвищення безпеки на автомобільних дорогах, але крім високих зчепних характеристик вони володіють і рядом інших переваг. Висока пористість забезпечує водонепроникність покриття, що зменшує кількість поверхневої води і, таким чином, зменшує утворення бризок при дощовій погоді, що значно підвищує видимість водойми поверхні дороги, а також знижує ризик аквапланування, як підсумок — рівень безпеки доріг підвищується. Крім того, особлива текстура поверхні дренуючого асфальтобетону сприяє зменшенню шуму, що виникає при взаємодії шини з покриттям.

Проте, покриття з дренуючого асфальтобетону мають і ряд недоліків. Висока пористість служить причиною низької міцності; прискореного старіння бітумного в'язучого в асфальтобетоні, оскільки кисень має доступ до більшої площі поверхні суміші; швидшого заморожування нижчих шарів, оскільки дренуючий шар не володіє тими теплоізоляційними властивостями, які має покриття із щільних сумішей. Істотним недоліком таких покриттів є необхідність спеціального зимового утримання і заходів з очищення пор, які можуть засмітитися.

На відміну від дренуючих асфальтобетонів, що використовуються в США (OGFC), у Європі дренуючі асфальтобетони мають дещо більшу пористість від 18 % до 28 %, вимагають обов'язкового застосування бітуму, модифікованого полімером, і пред'являють більш високі вимоги до мінеральних матеріалів.

Основна частина

Призначенням дренуючого асфальтобетону є відведення води через його пори до непроникного нижнього шару, а потім за рахунок поперечного похилу до узбіччя. Крім того дренуючий асфальтобетон може надати ряд інших переваг [1–5]:

- зменшити бризки води та їх розпилення;
- зменшити аквапланування;
- забезпечити високе зчеплення на мокрому покритті;
- підвищити видимість нанесеної розмітки;
- зменшити нічний відблиск поверхні у вологу погоду;
- зменшити шум дорожнього покриття при проїзді транспортних засобів.

Проектування дренуючого асфальтобетону включає вибір заповнювачів і в'язучого, підбір гранулометричного складу та оптимального вмісту в'язучого, а також випробування асфальтобетонної суміші на стікання та асфальтобетону на стирання та водостійкість.

Першим кроком у процесі проектування дренуючих асфальтобетонних сумішей є вибір матеріалів, придатних для їх виробництва. До заповнювача висуваються жорсткі вимоги до стираності, вмісту подрібнених зерен, вмісту зерен лещадної та голчастої форм, а також до адсорбційної спроможності. Крупний заповнювач для дренуючих асфальтобетонів повинен бути достатньо міцним, щоб витримувати транспортні навантаження, оскільки дренуючий асфальтобетон складається із заповнювача однакового розміру з малим вмістом дрібних часток і має структуру «камінь на камені».

Щебінь, який використовують для виробництва дренуючого асфальтобетону, повинен мати значення стираності менше ніж 30 %. При використанні менш міцного щебеню слід бути обережним, оскільки є ймовірність надмірного руйнування заповнювача під час виробництва асфальтобетонної суміші та її ущільнення. Щебінь повинен мати щонайменше 90 % часток із двома гранями та 100 % часток із однією гранню. Відсоток зерен лещадної та голчастої форми не повинен перевищувати 5 % і 20 %, що відповідає співвідношенням 5:1 та 2:1 [2].

Подібно до щільних сумішей, ступінь поглинання може впливати на експлуатаційні властивості дренуючого асфальтобетону. Перевагу треба надавати заповнювачам з відносно низьким водопоглинанням (менше ніж 2 %). У таблиці 1 наведені основні вимоги до щебеню для виробництва сумішей.

Таблиця 1

Основні вимоги до щебеню для виробництва сумішей

Ч. ч.	Назва показника	Вимоги
1	Стираність, % за масою	не більше ніж 30
2	Вміст зерен лещадної та голчастої форми, % за масою	не більше ніж 5 (5:1) не більше ніж 20 (2:1)
3	Вміст дроблених зерен, % за масою	не менше ніж 90 (2 грані) 100 (1 грань)
4	Морозостійкість (5 циклів), %	не більше ніж 10 (сульфат натрію) не більше ніж 15 (сульфат магнію)
5	Пористість в не ущільненому стані, %	не менше ніж 45

На другому етапі виконують підбір гранулометричного складу залежно від області застосування дренуючих асфальтобетонів згідно з технічними нормами. У кожній конкретній європейській країні ці норми прив'язані до наявних умов і накопиченого досвіду, і на підставі них видано власні нормативні документи. Так як в нашій країні ці норми відсутні, то відповідно до подібного клімату доцільно розглядати вимоги до гранулометричного складу дренуючих асфальтобетонних сумішей в Німеччині залежно від максимального розміру зерен щебеню в асфальтобетонній суміші виконано порівняння з щільним асфальтобетоном типу А згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [21] та щебенево-мастиковим асфальтобетоном згідно з ДСТУ Б В.2.7-127:2015 [18] (рис. 1). Гранулометричні склади дренуючих асфальтобетонних сумішей типу РА-16, РА-11, РА-8 [16] наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Гранулометричні склади дренуючих асфальтобетонних сумішей типу РА-16, РА-11, РА-8

Розмір отворів сита, мм	Повний прохід, % за масою, залежно від типу дренуючого асфальтобетону		
	РА-16	РА-11	РА-8
22,4	100	—	—
16,0	90–100	100	—
11,2	5-15	90–100	100
8,0	—	5–15	90–100
5,6	—	—	5–15
2,0	5–10	5–10	5–10
0,063	3–5	3–5	3–5

На третьому етапі підбирають оптимальний вміст бітумного в'язучого і перевіряють якість готового дренуючого асфальтобетону. Вибір оптимального вмісту бітумного в'язучого виконують виходячи з економічних міркувань і накопиченого досвіду [14]. Вміст в'язучого залежить від типу суміші. Так, для типу РА-8 мінімальний вміст бітуму становить 6,5 %, а для типу РА-16 — 5,5 %.

Для приготування дренуючих асфальтобетонів рекомендовано використовувати бітум, модифікований полімером, на дві марки вище ніж зазвичай використовують у даному регіоні залежно від максимальної температури повітря впродовж 7 діб [2]. Для підвищення міцності та довговічності рекомендовано також використовувати волокнисті стабілізуючі добавки в кількості від 0,3 % до 0,6 %.

Оптимальний вміст в'язучого визначають за результатами виконання ряду випробувань суміші та зразків, ущільнених методом Маршала.

До них відносяться:

- визначення стікання в'язучого (не більше ніж 0,3 %);
- пористість (не менше ніж 18 %);
- зносостійкість зразків до і після старіння (втрати за масою не більше ніж 20 % і 30 %, відповідно);
- водостійкість (залишкова міцність не менше ніж 80 %).

Виробництво запроектованої суміші треба виконувати у змішувачах періодичної дії. Каркас суміші складається з однофракційного щебеню, тому питома поверхня матеріалу, який

нагрівають набагато менша ніж для щільних сумішей і піддається більшому впливу полум'я, тому треба слідкувати, щоб температура матеріалу була постійною та не дуже високою. Температура суміші на виході зі змішувача зазвичай повинна становити від 140 °С до 160 °С. Вироблену суміш не дозволяється зберігати в бункерах-накопичувачах.

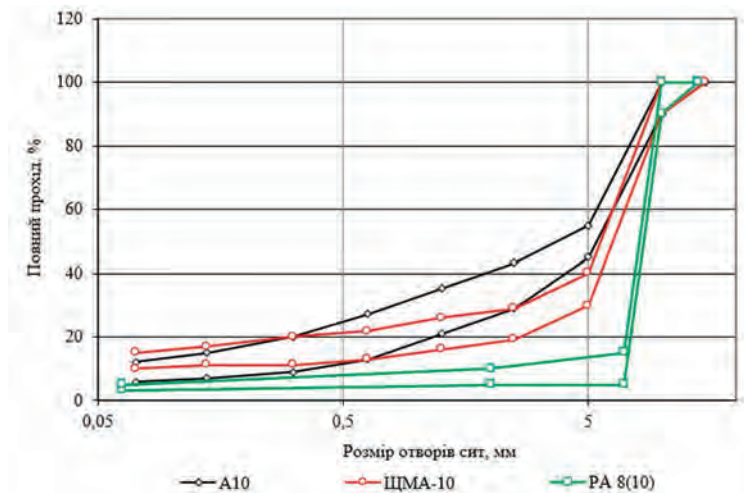


Рисунок 1 — Порівняння вимог до гранулометричного складу РА-8 (10), А-10 та ЩМА-10

Температурний діапазон та часовий діапазон між завершенням виробництва суміші та її укладанням суміші не дуже великий, що пов'язано з низькою температурою її випуску. Це обумовлює те, що час транспортування суміші не повинен перевищувати 45 хвилин, а укладення суміші має бути завершено за 60 хвилин після її виробництва.

Основа повинна бути водонепроникною і водовідштовхувальною. Вода повинна вільно стікати. Для запобігання проникнення води в нижні шари повинна бути забезпечена гідроізоляція. Перед укладанням асфальтобетонної суміші основу необхідно очистити за допомогою відповідного обладнання.

Під шаром дренажного асфальтобетону влаштовують гідроізоляцію шляхом нанесення модифікованого бітуму з витратою від 2,0 кг/м² до 3,0 кг/м² та щебеню фракції 8/11 з витратою від 5 кг/м² до 10 кг/м².

Основними умовами влаштування шару дренажного асфальтобетону є:

- суміш повинна мати однорідну структуру на ділянці будівництва;
- послідовність укладання повинна бути запланована і погоджена таким чином, щоб виключалися прості та перерви;
- укладання суміші потрібно виконувати на всю ширину покриття, використовуючи за потреби метод «гаряче до гарячого»;
- ущільнення потрібно виконувати котками з гладкими вальцями;
- відкриття руху можна виконувати тільки після достатнього охолодження, не раніше ніж через 24 години після укладання.

Висновки

Дренуючий асфальтобетон, не зважаючи на те, що його досить давно використовують як матеріал покриття автомобільних доріг в країнах Америки і Європи, в Україні на теперішній час не застосовують. Також відсутній випуск відповідних асфальтобетонних сумішей. Цей матеріал має свої особливості проектування складу. Зокрема, підбір суміші виконують таким чином, щоб в ущільненому матеріалі була система сполучених пор, по яких вода видаляється з поверхні покриття автомобільної дороги. Причому відведення води відбувається набагато швидше, ніж з покриття, влаштованого із традиційних щільних асфальтобетонних сумішей. Це досягається за рахунок особливості гранулометричного складу суміші, основну частку якого становить однофракційний щебінь, на відміну від типових щільних і щебенево-мастикових асфальтобетонів. Як правило, пористість дренуючих асфальтобетонів достатньо висока (18–28 %), пористі суміші готують із гранично високим вмістом щебеню (до 90 %). Тому дренуючий асфальтобетон вимагає вкрай високої уваги та жорстких вимог до щебених матеріалів.

Дренуючий асфальтобетон, навіть при поліпшенні його властивостей поки менш довговічний, ніж щільний. Це положення обумовлює необхідність обережного ставлення до нього і багато в чому обмежує область його застосування як в кліматичному, так і в конструктивному плані. Цей матеріал відноситься до спеціальних видів асфальтобетонів, і на даному рівні вивченості техніко-економічна доцільність його застосування повинна вирішуватися в кожному конкретному випадку.

Між тим, зважаючи на низку притаманних цьому асфальтобетону властивостей і переваг, які він забезпечує в частині підвищення безпеки і комфорту дорожнього руху, можна стверджувати, що дренуючий асфальтобетон – перспективний дорожньо-будівельний матеріал.

Список літератури

1. Gregory J., Taylor P.E. (Copyright 2014). Open-Graded Friction Courses (OGFC). 22 p. URL: <https://www.cedengineering.com/userfiles/Open-Graded%20Friction%20Courses.pdf> (дата звернення: 20.04.2020).
2. Prithvi S. Kandhal, P.E., Associate Director National Center for Asphalt Technology (2002). Design, Construction, and Maintenance of Open-Graded Asphalt Friction Courses. URL: http://driveasphalt.org/assets/content/resources/IS-115_Open_Graded_Aspphalt_Friction_Courses.pdf (дата звернення: 20.04.2020).
3. H. Zhang, K. Anupam, A. Scarpas, C. Kasbergen & Sandra Erkens (2019): Effect of stone-on-stone contact on porous asphalt mixes: micromechanical analysis, *International Journal of Pavement Engineering*. DOI: <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1654105> (дата звернення: 20.04.2020).
4. MS-2 Asphalt mix design methods. 7th edition. USA, 2014. 199 p. URL: https://yapim.otoyolas.com.tr/wp-content/uploads/kaliteyayinlari/16_EK_2_MS_2_asphalt_mix_design_methods.pdf (дата звернення: 20.04.2020).
5. Pavement Interactive, Open Graded Friction Courses – Keeping an Open Mind. 2011. URL: <https://pavementinteractive.org/open-graded-friction-courses-keeping-an-open-mind/> (дата звернення: 20.04.2020).
6. Huber, G., Performance Survey on Open-Graded Friction Course Mixes. *TRB, Synthesis of Highway Practice*. 284, 2000.
7. Kandhal, P.S. and R.B. Mallick. Design of New-Generation Open-Graded Friction Courses. National Center for Asphalt Technology, Research Report 99-3, December 1999.

8. Open Graded Friction Courses. The Federal Highway Administration Technical Advisory T5040.31. Washington, 1990.
9. Design and Performance of Foamed Bitumen Stabilised Pavements Progress Austroads (2015, June). Report 3. AP-T303-15. Sydney, 2015. URL: <https://austrroads.com.au/publications/pavement/ap-t303-15> (дата звернення: 20.04.2020).
10. Kendall M., Baker B., Evans P., Ramanujan J. (2001, March). Foamed Bitumen Stabilisation. The Queensland experience. 20 th ARRB conference.
11. Geistlinger, L. Open-Graded Friction Courses. Roads & Bridges. Arlington Heights, 1996. N 34 (9). P. 26-32.
12. Гегелия Д.И., Богуславская Т.С. Особенности проектирования состава и технологии приготовления смесей дренажного асфальтобетона. *Автомобильные дороги*. Москва, 1982, N 5. С. 7-10.
13. EN 13108-7:2016 Bituminous mixtures – Material specifications – Part 7: Porous Asphalt.
14. ASTM D7064/D7064M-08 (2013) Standard Practice for Open-Graded Friction Course (OGFC) Mix Design.
15. ASTM D6932 / D6932M – 08 (2013) Standard Guide for Materials and Construction of Open-Graded Friction Course Plant Mixtures.
16. TL Asphalt - StB 07 Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen.
17. СТО АВТОДОР 2.15-2016 Смесі асфальтобетонні і асфальтобетон дренажувальні. Технічні умови. Москва. 2016. 31 с.
18. ДСТУ Б В.2.7-127:2015 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови. Київ. 2015. 26 с. (Інформація та документація).
19. ДСТУ 4044-2001 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. Київ. 2002. 21 с. (Інформація та документація).
20. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. Київ. 2017. 75 с. (Інформація та документація).
21. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. Київ. 2012. 49 с. (Інформація та документація).

References

1. Gregory J., Taylor P.E. (Copyright 2014). Open-Graded Friction Courses (OGFC). 22 p. URL: <https://www.cedengineering.com/userfiles/Open-Graded%20Friction%20Courses.pdf> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].
2. Prithvi S. Kandhal, P.E., Associate Director National Center for Asphalt Technology (2002) Design, Construction, and Maintenance of Open-Graded Asphalt Friction Courses. URL: http://driveasphalt.org/assets/content/resources/IS-115_Open_Graded_Asphalt_Friction_Courses.pdf (Last accessed: 20.04.2020) [in English].
3. H. Zhang, K. Anupam, A. Scarpas, C. Kasbergen & Sandra Erkens (2019): Effect of stone-on-stone contact on porous asphalt mixes: micromechanical analysis, *International Journal of Pavement Engineering*. DOI: <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1654105> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].
4. MS-2 Asphalt mix design methods. 7th edition. USA, 2014. 199 p. URL: https://yapim.otoyolas.com.tr/wp-content/uploads/kaliteyayinlari/16_EK_2_MS_2_asphalt_mix_design_methods.pdf (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

5. Pavement Interactive, Open Graded Friction Courses – Keeping an Open Mind. 2011. URL: <https://pavementinteractive.org/open-graded-friction-courses-keeping-an-open-mind/> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].
6. Huber, G. Performance Survey on Open-Graded Friction Course Mixes. TRB, *Synthesis of Highway Practice*. N 284. 44 p. 2000 [in English].
7. Kandhal, P.S. and R.B. Mallick. Design of New-Generation Open-Graded Friction Courses. National Center for Asphalt Technology, Research Report 99-3, December 1999 [in English].
8. Open Graded Friction Courses. The Federal Highway Administration Technical Advisory T5040.31. Washington, 1990. [in English].
9. Design and Performance of Foamed Bitumen Stabilised Pavements Progress Austroads (2015, June). Report 3. AP-T303-15. Sydney, 2015. URL: <https://austroads.com.au/publications/pavement/ap-t303-15> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].
10. Kendall M., Baker B., Evans P., Ramanujan J. (2001, March). Foamed Bitumen Stabilisation. The Queensland experience. 20th ARRB conference [in English].
11. Geistlinger, L. Open-Graded Friction Courses. *Roads & Bridges*. Arlington Heights, 1996. N 34 (9). P. 26-32. [in English].
12. Heheliya D.Y., Bohuslavskaia T.S. Osobennosti proektyrovaniya sostava y tekhnolohyy pryhotovleniya smesei drenyruishcheho asfaltobetona (Features of design of composition and technology of preparation of mixes of drainage asphalt concrete). *Avtomobylnye dorohi*. Moskva, 1982. N 5. P. 7-10. [in Russian].
13. EN 13108-7:2016 Bituminous mixtures – Material specifications – Part 7: Porous Asphalt (Information and documentation) [in English].
14. ASTM D7064/D7064M-08 (2013) Standard Practice for Open-Graded Friction Course (OGFC) Mix Design (Information and documentation) [in English].
15. ASTM D6932 / D6932M – 08 (2013) Standard Guide for Materials and Construction of Open-Graded Friction Course Plant Mixtures (Information and documentation) [in English].
16. TL Asphalt - StB 07 Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen (Information and documentation) [in Germany].
17. STO AVTODOR 2.15-2016 Asphalt concrete and asphalt concrete drainage mixtures (Smesy asfaltobetonnye y asfaltobeton drenyruishchyyi. Tekhnichyskiye uslovyia). Moskva. 2016. 31 p. [in Russian].
18. State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-127:2015) Cumishi asfaltobetonni i asfaltobeton shchebenevo-mastykovi. Tekhnichni umovy. Kyiv. 2015. 26 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
19. State Standard of Ukraine (DSTU 4044:2001) Bitumy naftovi dorozhni viazki. Tekhnichni umovy. Kyiv. 2002. 21 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
20. State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-319:2016) Sumishi asfaltobetonni i asfaltobeton dorozhni ta aerodromnyi. Metody vyprobuvan. Kyiv. 2017. 75 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
21. State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-119:2011) Sumishi asfaltobetonni i asfaltobeton dorozhni ta aerodromnyi. Tekhnichni umovy. Kyiv. 2012. 49 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

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

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

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

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

FEATURES DESIGN AND USE OF DRAINING ASPHALT CONCRETE

Abstract

Introduction. It is established that an additional measure to combat the negative impact of water on the road structure can be the use of drainage asphalt, which allows during rainfall quickly, without delay on the surface of the surface to drain surface water through the pores in the asphalt to the sidelines. This, in turn, reduces the negative impact of water on the durability of the road surface and increases traffic safety during precipitation. The stages of designing such asphalt concrete are formulated.

Problem statement. The long-term impact on the asphalt road surface of the aquatic environment is a determinant of its durability. The issue of timely removal of surface water from the pavement is a must and is solved by giving the road surface a cross slope. As practice shows, this does not sufficiently protect the road surface from the adverse effects of water. High operational safety, improved road performance is achieved by removing accumulations of water stains from the surface that reduce the adhesion of the wheels to the road surface. These qualities can be improved by the introduction of draining asphalt concrete.

Unfortunately, today in Ukraine there are no normative documents that would regulate the design, manufacture and execution of works on this technology, which makes it impossible to use it in practice and limits the optimization and development of the Ukrainian road sector in this direction.

Purpose. Perform an analysis of the existing experience of the design features of draining asphalt concrete for the further introduction and improvement of operational safety and operational characteristics of the road surfaces of Ukraine due to new road-building materials.

Materials and methods. Analysis of information sources and experience on the design of draining asphalt concrete and study of requirements for mineral materials and composition of such mixtures.

Results. An analytical review of the experience of designing prospective road-building material — draining asphalt concrete is conducted. The stages of selection of the composition of the mixture, the requirements for the crushed stone, the particle size composition, the content of binder and stabilizing additives are studied and analyzed.

Conclusions. Analysis of information sources on the design features of draining asphalt concrete found that draining asphalt is a special type of asphalt, which due to the peculiarities of the particle size of the mixture, the main part of which is single-fractional crushed stone (up to 90%), unlike typical asphalt, has a high enough porosity (18–28 %) and requires extremely high attention and strict requirements for crushed stone materials.

Key words: asphalt mixture, open void, draining asphalt concrete, grain composition, porosity.

УДК 625.745.1:691

Ілляш С. І.,¹ <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

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

Гончаренко В. В.,² <http://orcid.org/0000-0003-4240-054X>

¹Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

²Товариство з обмеженою відповідальністю «СТІ», м. Київ, Україна

ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ, ЯК СПОСІБ УСУНЕННЯ ЇХ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ТА ФРАКЦІЙНОЇ СЕГРЕГАЦІЇ

Анотація

Вступ. У цій статті розглянуті явища температурної та фракційної сегрегації асфальтобетонних сумішей, як одні із основних причин незадовільного стану асфальтобетонних покриттів на автомобільних дорогах України. Головну увагу приділено методу безперервного влаштування асфальтобетонних покриттів із використанням перевантажувачів.

Проблематика. Відповідно до Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення у 2020 році передбачається відновити до 6,5 тис. км доріг державного значення, які перебувають в аварійному стані, а також планується будівництво та реконструкція 9 об'їзних шляхів загальною протяжністю 101,5 кілометра. Та для того щоб відновлені шляхи слугували не менше розрахункових строків, необхідно передбачити застосування відповідних технологій виконання робіт з будівництва, які попередять передчасне їх руйнування.

Мета роботи. Виконання аналітичного огляду та висвітлення світового і вітчизняного досвіду використання сучасного методу укладання асфальтобетонних покриттів на автомобільних дорогах з використанням спеціальних антисегрегаційних перевантажувачів.

Матеріали та методи. Асфальтобетонні суміші при застосуванні перевантажувачів при їх укладанні. Аналітичні дослідження перевантаження асфальтобетонних сумішей, як способу усунення сегрегації.

Результати. Розглянуто питання щодо покращення якості автодорожніх покриттів, підвищення їх довговічності, а також удосконалення економічної ефективності при застосуванні методу укладання асфальтобетонних сумішей з використанням перевантажувачів. Головну увагу приділено вивченню питання щодо правильного застосування перевантажувачів із певними характеристиками та на що впливають ці характеристики.

Висновки. За виконаним аналітичним оглядом світового та вітчизняного досвіду використання перевантажувачів визначено, що вони є кращим на сьогодні обладнанням, які дозволяють усунути сегрегацію асфальтобетонних сумішей та встановлено доцільність застосування таких методів укладання асфальтобетонних сумішей. А також, визначено переваги використання даного методу порівняно із традиційним укладанням асфальтобетонних покриттів. Та оскільки, питання щодо використання зазначеного методу є ще недостатньо вивченим, але водночас актуальним — поставлено задачі щодо подальшого проведення досліджень.

Ключові слова: асфальтобетонна суміш, асфальтобетонне покриття, гранулометричний склад, капітальний ремонт, перевантажувач, сегрегація, якість покриття.

Вступ

У Зміні №1 до ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво» зазначено міжремонтні строки експлуатації дорожнього одягу автомобільних доріг загального користування з удосконаленим полегшеним типом покриття до 14 років, з капітальним типом покриття при високій інтенсивності дорожнього руху до 15 років. На сьогодні, на жаль, в Україні забезпечити нормативні міжремонтні терміни не завжди вдається. У силу великої кількості обставин, однією із основних причин є явище сегрегації асфальтобетонних сумішей.

Відомо, що асфальтобетонна суміш — це раціонально підібрана суміш в'язучого та різних за фракцією кам'яних матеріалів.

У процесі виробництва асфальтобетонної суміші, завантаженні в автосамоскиди, транспортуванні, вивантаженні в асфальтоукладацький та при її укладанні в шари дорожнього одягу, погіршується її однорідність, як фракційна, так і температурна. Втрату однорідності асфальтобетонної суміші на всіх технологічних стадіях називають сегрегацією [3].

Сегрегація асфальтобетонних сумішей виникає з таких причин:

– нерівномірність температур при транспортуванні асфальтобетонної суміші. Самоскид, навантажений асфальтобетонною сумішшю, як правило, витрачає значний час щоб дістатись від асфальтозмішувальної установки до місця безпосереднього укладання, долаючи чималі відстані або затримуючись через "тягучки" чи бездоріжжя. Чим довше триває транспортування, тим більше асфальтобетонна суміш остигає. Слід зазначити, що суміш остигає нерівномірно: біля стінок кузова самоскида та зверху швидше, а в глибині маси суміші повільніше [1]. Таким чином, виникає температурна нерівномірність суміші, яку і називають температурною сегрегацією. Це явище загрожує тим, що коли така суміш потрапляє в приймальний бункер асфальтоукладача, остиглі її частини укладаються недостатньо щільно на відміну від гарячих. У результаті подальшого укладання на готовому покритті утворюються пухкі зони, в які при подальшій експлуатації дорожнього полотна проникає вода, що досить швидко призводить до утворення в цих місцях ділянок руйнування [2].

Отже фактори, що формують температурну сегрегацію [4]:

- температура суміші при завантаженні її в автосамоскид;
- температура навколишнього середовища;
- розмір кузова по відношенню до кількості суміші, яка перевозиться;
- дальність і швидкість перевезення (час транспортування);
- охолодження асфальтобетонної суміші від кузова автосамоскида;
- час очікування перед вивантаженням суміші в бункер асфальтоукладацького;
- нерівномірність зернового складу асфальтобетонної суміші при її транспортуванні.

Окрім температурної сегрегації під час руху автосамоскида відбувається перерозподіл великих та дрібних фракцій в масі асфальтобетону, у цьому випадку виникає інший тип сегрегації — фракційний. Більш дрібні зерна мінерального матеріалу у складі суміші проникають крізь щилини між більшими зернами та зміщуються донизу [1]. Тому у бункер асфальтоукладача вивантажується зовсім не та суміш, яка була запроєктована, виготовлена на асфальтозмішувальній установці та завантажена в автосамоскид.

У результаті цієї сегрегації на покритті формуються локальні ділянки поверхні з концентрацією в одних місцях великого кам'яного заповнювача, а в інших — дрібного. При цьому одні ділянки будуть характеризуватись високою пористістю, недостатньою кількістю бітуму та грубою текстурою поверхні, а інші — нестачею крупного заповнювача з надмірним вмістом бітуму

та гладкою текстурою. Цей вид сегрегації зустрічається найбільш часто і вважається найбільш небажаним [4]. Такі ділянки дорожнього покриття схильні до передчасного руйнування у вигляді викришування, утворення вибоїн та колійності. Ділянка автомобільної дороги з характерними деформаціями, як наслідок сегрегації, наведена на рис. 1.



Рисунок 1 — Ділянка автомобільної дороги з характерними деформаціями, як наслідок сегрегації

Протягом останніх двох десятиліть у розвинених країнах прийнята концепція безперервного укладання асфальтобетонних покриттів. Її основний принцип — асфальтоукладальник не повинен зупинятися. Реалізація цієї ідеї більшим чином лежить в організаційній, а не технічній площині [3].

Отже фракційна сегрегація асфальтобетонних сумішей — зміна гранулометричного складу мінеральних матеріалів в однорідній асфальтобетонній суміші через окремі переміщення часток крупного і дрібного заповнювача та бітуму в об'ємі асфальтобетону [3].

Тому вивчення та запровадження таких заходів, як перевантаження асфальтобетонної суміші, як способу усунення температурної та фракційної сегрегації при влаштуванні асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг сприятиме уповільненню утворення деформацій, руйнувань асфальтобетону та збільшенню строку служби асфальтобетонних покриттів.

Виклад основного матеріалу

Методика безперервного влаштування асфальтобетонних покриттів із застосуванням перевантажувачів виникла приблизно 30 років тому у США. Основною метою роботи перевантажувача в процесі укладання асфальтобетонних сумішей було забезпечення високої швидкості укладання, зменшення зупинок асфальтоукладальника та найголовніше — виключити контакт автосамоскидів при вивантаженні в нього асфальтобетонних сумішей [5].

У США розписані нормовані вимоги за якісними показниками асфальтобетонних покриттів, за перевищення яких підрядникам платять додаткові кошти, за їх зниження стягують штрафи, за суттєве зниження — утримують суму від контракту, яка йде на перевлаштування

покриття або роботи з виправлення дефектів [6]. Тому в США умовно заборонено укладання асфальтобетонних сумішей без застосування перевантажувачів та детально описано технічні характеристики машин, які повинні використовуватись, оскільки не всі перевантажувачі здатні забезпечувати необхідні показники.

Проблеми, пов'язані із сегрегацією носять серйозний характер, їх усунення дуже важливе для виробництва високоякісних асфальтобетонних сумішей та забезпечення розрахункового строку служби автомобільних доріг. Відповідальність за усунення сегрегації та забезпечення довговічності автомобільних доріг лежить, як на виробниках асфальтобетонних сумішей, так і на департаментах, що встановлюють вимоги до виконання дорожньо-будівельних робіт та якості їх проведення, а також до дорожньої техніки та обладнання для їх виконання.

Сегрегація починається ще на етапі доставки, вивантаження і зберігання мінеральних матеріалів. При цьому для зменшення сегрегації необхідно правильно вивантажувати, сортувати і зберігати кам'яні матеріали на території асфальтобетонного заводу (АБЗ). Фракційна сегрегація щебеню при неправильному відвантаженні та зберіганні мінеральних матеріалів у конусі наведено на рис. 2.



Рисунок 2 — Фракційна сегрегація при неправильному відвантаженні та зберіганні мінеральних матеріалів

На етапі приготування асфальтобетонної суміші сегрегація проявляється при подачі окремих фракцій на конвеєр із холодних бункерів і залежно від типу асфальтобетонного заводу (безперервного або циклічної дії), триває або в змішувачі барабанного типу, або в гарячих бункерах. Фракційна сегрегація в гарячих бункерах асфальтобетонного заводу циклічної дії зображено на рис. 3.

Для зниження сегрегації важливим є правильне завантаження суміші в автосамоскиди з бункера накопичувача, при цьому вивантаження необхідно здійснювати порціями. Порядок завантаження порцій асфальтобетонної суміші в автосамоскиди наведено на рис. 4.

При подальшому транспортуванні та вивантаженні асфальтобетонної суміші з автосамоскида безпосередньо в приймальний бункер асфальтоукладальника фракційна сегрегація посилюється.



Рисунок 3 — Фракційна сегрегація в гарячих бункерах асфальтобетонного заводу

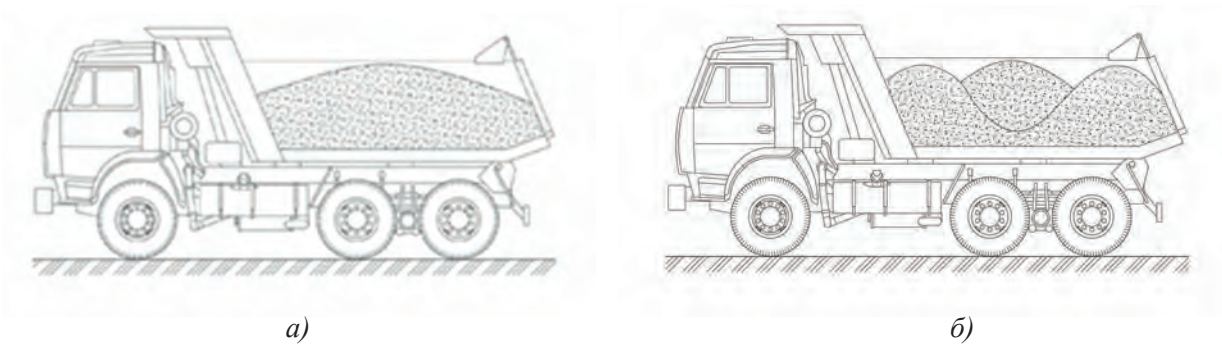


Рисунок 4 — Порядок завантаження порцій асфальтобетонної суміші в автосамоскиди: а) хибне завантаження асфальтобетонної суміші; б) правильне завантаження асфальтобетонної суміші

А також, на етапі вивантаження та доставки суміші до місця її укладання до фракційної сегрегації додається температурна, тобто нерівномірний розподіл суміші по температурі в займаному обсязі. У результаті, зони зі зниженою температурою суміші залишаються недоуціленими, що призводить до їх передчасного руйнування.

Нерівномірність температури суміші в кузові самоскида та нерівномірність температури суміші на поверхні щойно укладеного покриття дороги зображено відповідно на рис. 5 і рис. 6.

Найбільш ефективним рішенням на сьогоднішній день, яке дозволяє істотно знизити явище сегрегації, тим самим підвищити якість робіт та збільшити строк служби дорожнього покриття, є використання перевантажувачів асфальтобетонної суміші.

При здійсненні перевантаження спочатку суміш із самоскида плавно вивантажується у приймальний бункер перевантажувача, звідки шнеком вона подається до пластин конвеєра. Підтримувати рух завантаженої суміші допомагає вібромеханізм на дні бункера. Конвеєр, який завдяки високій продуктивності, дозволяє швидко звільнити самоскид та направляє матеріал

у проміжний бункер. Простір між конвеєром і бункером щільно закритий гумовим кожухом, з метою мінімізації контакту суміші з атмосферним повітрям. У бункері її перемішує, як правило, шнек з трикроковими витками, що звужуються до бортів бункера [7].

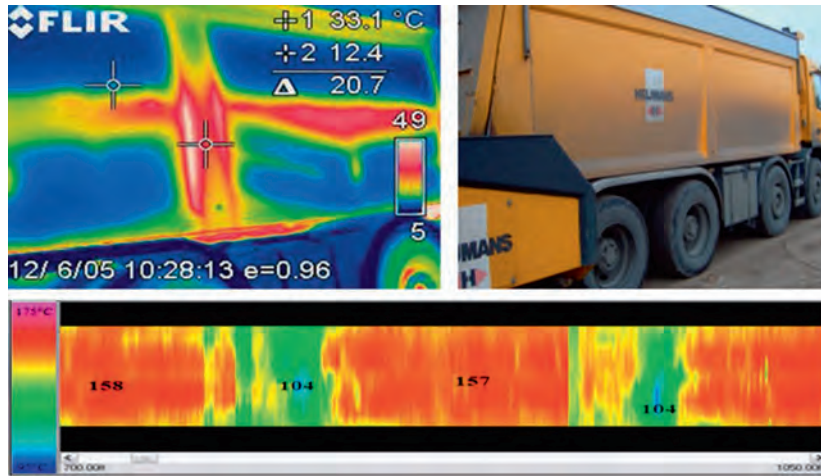


Рисунок 5 — Нерівномірність температури суміші в кузові самоскида

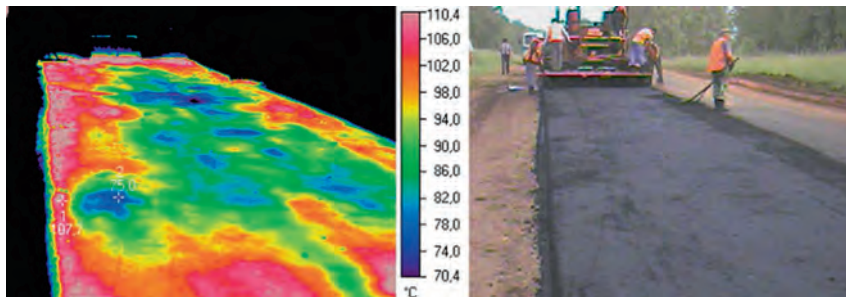


Рисунок 6 — Нерівномірність температури суміші на поверхні щойно укладеного покриття без використання перевантажувача

Асфальтобетонна суміш інтенсивно надходить з боків до центру бункера таким чином підтримується її постійний рух по всій масі, водночас виконується перемішування, вирівнювання температури та складу. Далі проміжним і розвантажувальним конвеєрами суміш подається в бункер асфальтоукладальника. Розвантажувальний конвеєр має змогу повертатись більш ніж на 50° в обидві сторони, що дає можливість рухатись навіть по сусідній смузі. Пропускна здатність цих конвеєрів визначає загальну продуктивність перевантажувача [7].

Перевантажувачі можуть бути різних моделей та від різних виробників з певними параметрами та характеристиками, але з метою більш якісного запобігання температурної і фракційної сегрегації асфальтобетонних сумішей основна конструктивна їх особливість повинна забезпечувати якомога коротший шлях проходження щільної однорідної суміші на всіх етапах перевантаження.

Рух перевантажувача залежить від руху асфальтоукладальника за допомогою спеціальних датчиків. З метою забезпечення мінімального впливу від самоскида передбачено спеціальну систему амортизації, яка захищає асфальтоукладальник від поштовхів. Перевантажувачі, як

правило, не обладнано робочим місцем оператора вони з обох боків облаштовані пультами управління і оператор управляє машиною, йдучи поруч. Над пультами управління знаходяться світлофори, якими оператор сигналізує водієві самоскида щодо спорожнення кузова [7].

Типовий мобільний перевантажувач наведено на рис. 7.



Рисунок 7 — Типовий мобільний перевантажувач

Отже по суті, перевантажувач — це пересувний бункер накопичувач, який перемішує асфальтобетонну суміш за допомогою спеціально сконструйованого шнека перед безпосередньою подачею в приймальний бункер асфальтоукладача. Перемішуючи матеріал в бункері, перевантажувач вирівнює температуру і склад суміші по всьому її об'ємі, ліквідуючи, таким чином, фракційну і температурну сегрегацію. Температуру суміші на поверхні щойно укладеного покриття на дорозі при використанні перевантажувача асфальтобетонної суміші наведено на рис. 8.

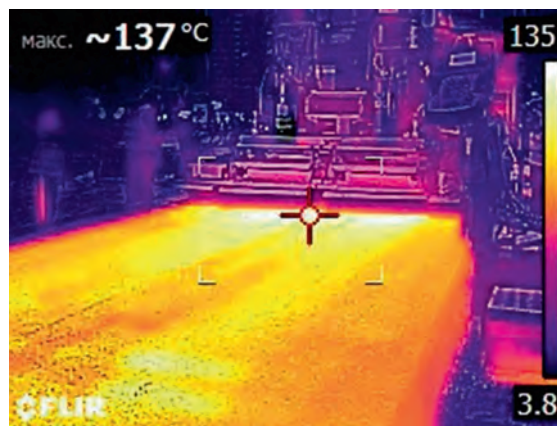


Рисунок 8 — Температура суміші на поверхні щойно укладеного покриття при використанні перевантажувача

У країнах Європи, Азії та у США накопичено значний досвід застосування перевантажувачів. Використання перевантажувачів дозволяє не просто збільшити строк служби покриттів автомобільних доріг, а й отримати значний економічний ефект за рахунок зниження поточних витрат на ремонтні роботи.

На основі статистичних даних різних країн світу було встановлено, що при нормальному терміні служби покриття від 12 до 15 років ділянки з сегрегацією служили на 2 роки менше за

слабо вираженої сегрегації, на 5 років — за середньо вираженої та 7 років — за сильно вираженої. Виходячи з витрат на ремонт встановлено, що це відповідає компенсації в 10 %, 20 % і 50 % від вартості будівництва нового покриття [8].

Крім вирішення проблеми фракційної і температурної сегрегації, застосування перевантажувачів при влаштуванні дорожніх одягів дозволяє забезпечити безперервне укладання асфальтобетонних сумішей без зупинки асфальтоукладальника, що також дозволяє уникнути утворення технологічних нерівностей, які утворюються при його зупинці на час очікування наступного автосамоскида із сумішшю. Це також дає певний економічний ефект від відсутності простоїв дорожньої техніки.

Застосування перевантажувачів дозволяє вирішити і ще одну не менш важливу проблему, яка виникає при контролі якості виконаних будівельних робіт з влаштування асфальтобетонних покриттів. А саме, проблему з оцінки зернового складу мінеральної частини асфальтобетонних сумішей. Як правило, оцінка зернового складу виконується за результатами випробувань ядерів або вирубок. Та потрібно відзначити, що явище фракційної сегрегації, що виявляється на всіх технологічних етапах випуску та при укладанні асфальтобетонних сумішей призводить до суттєвої неоднорідності розподілу щебеню в укладеному шарі покриття автомобільної дороги. Тому результати оцінки зернового складу, отримані в лабораторних умовах не можна вважати достовірними з високим ступенем ймовірності. Підвищити достовірність можна шляхом відбору великої кількості проб, яких вистачило б для статистичної обробки даних випробувань, але такі дії істотно зашкодять новому покриттю автомобільної дороги завдавши шкоди його цілісності.

Застосування перевантажувачів при укладанні асфальтобетонних сумішей, дозволить отримати найбільш достовірні результати при оцінці їх зернового складу при меншій кількості відбору зразків для контролю якості дорожніх покриттів та скоротити число конфліктних ситуацій між замовником, підрядником і незалежною контролюючою організацією.

Висновки

У країнах світу з добре розвинуеною інфраструктурою, таких як США, Німеччина, Іспанія, Канада, Китай, Японія, Австралія тощо застосування перевантажувачів при будівництві магістральних доріг є обов'язковим.

В Україні у Зміні № 1 до ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги. Частина I. Проектування Частина II. Будівництво» зазначено, що при влаштуванні дорожнього покриття із асфальтобетонних сумішей на міжнародних автомобільних дорогах I категорії потрібно обов'язково застосовувати перевантажувач. Доцільність застосування перевантажувача на інших автомобільних дорогах визначається техніко-економічним обґрунтуванням.

За статистичними даними провідних країн світу та досвідом вітчизняного використання перевантажувачів, вони є кращим на сьогодні обладнанням, які дозволяють усунути сегрегацію асфальтобетонних сумішей. Таким чином:

- технологія укладання асфальтобетонних сумішей з використанням перевантажувачів дозволяє одночасно усунути, як фракційну, так і температурну сегрегацію;
- застосування перевантажувачів дозволяє поліпшити якість асфальтобетонної суміші, що укладається в дорожнє покриття і суттєво підвищити термін його служби;
- застосування перевантажувачів дозволяє забезпечити безперервність процесу укладання асфальтобетонних сумішей з постійною швидкістю, що зменшує витрату праці та підвищує на (50–70) % продуктивність обладнання, яке задіяне у цьому процесі;
- використання перевантажувачів дозволяє забезпечити необхідну рівність покриття дороги за рахунок безперервності процесу укладання;

– у результаті застосування перевантажувачів досягається значний економічний ефект за рахунок скорочення витрат на виконання передчасних і поточних ремонтних робіт.

Використання перевантажувачів у технологічній послідовності укладання асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів є безперечною гарантією виконання якісних робіт. Та щоб досконало володіти цією технологією необхідно вирішити ще ряд важливих питань, наприклад – виявлення закономірності зміни показника сегрегації в'язучих і мінеральних матеріалів від вмісту бітуму.

Список літератури

1. Stroup-Gardiner M., Brown E. Segregation in Hot-Mix Asphalt Pavements (Сегрегація асфальтобетонних покриттів з гарячої асфальтобетонної суміші). National Cooperative Highway Research Program Report 441. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, 2000. 96 p. URL: <https://u.to/gospGA> (дата звернення: 18.03.2020).
2. Потеряев, И.К. Оптимизация системы «асфальтоукладчик – транспортные средства – асфальтосмесительная установка» при строительстве асфальтобетонных покрытий: дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2013. 195 с.
3. Туякова А.К. Прогнозирование организационно-технологических рисков в процессе строительства дорожных асфальтобетонных покрытий: дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2008. 146 с.
4. Williams J.C. The segregation of particulate materials. A review. *Powder Technology*. London, 1976. Vol. 15. Pp. 245-251. URL: <https://u.to/2YgpGA> (дата звернення: 12.03.2020).
5. Rowe G.M., Meegoda J.N., Jumikis A.A. Detection of Segregation in Asphalt Pavement Materials using the Aran Profile System. Northeast asphalt user. Producer Group Newport Marriot. Newport, 2002. URL: <https://u.to/q0JFGA> (дата звернення: 12.03.2020).
6. Кудяков, А.И. Температурная сегрегация асфальтобетонных смесей при строительстве дорожных покрытий. *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. Томск, 2009. № 1. С. 116-122.
7. Cross S.A., Brown E.R. Effect of Segregation on Performance of Hot Mix Asphalt. Highway Research Center. Auburn University. USA, 1992. URL: <https://u.to/XE1FGA> (дата звернення: 14.03.2020).
8. Detecting thermal segregation in asphalt pavements. URL: <http://surl.li/blcp> (дата звернення: 20.03.2020).
9. Honghai Liu, Ran Yin, Shaopeng Wu. Reducing the Compaction Segregation of Hot Mix Asphalt. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater Science Edition*. China, 2007. N 1. P. 132-135. URL: <https://u.to/na5LGA> (дата звернення: 21.03.2020).
10. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина I. Проектування Частина II. Будівництво. Київ, 2015. 104 с. (інформація та документація).
11. ДСТУ EN 12697-15:2018 Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 15. Визначення сегрегації (EN 12697-15:2003, IDT). Київ, 2018. 59 с. (інформація та документація).

References

1. Stroup-Gardiner M., Brown E. Segregation in Hot-Mix Asphalt Pavements. National Cooperative Highway Research Program Report 441. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, 2000. 96 p. URL: <https://u.to/gospGA> (Last accessed: 18.03.2020) [in English].

2. Poteriaev, I.K. Optimizatsiya sistemy «asfal'toukladchik – transportnyye sredstva – asfal'tosmesitel'naya ustanovka» pri stroitel'stve asfal'tobetonnykh pokrytiy (Optimization of the system "asphalt paver - vehicles - asphalt plant" at construction of asphalt pavements): PhD thesis. Omsk, 2013. 195 p. [in Russian].
3. Tuiakova A.K. Prognozirovaniye organizatsionno-tekhnologicheskikh riskov v protsesse stroitel'stva dorozhnykh asfal'tobetonnykh pokrytiy (Forecasting of organizational and technological risks in the course of construction of road asphalt pavements): PhD (Ing.). Omsk, 2008. 146 p. [in Russian].
4. Williams J.C. The segregation of particulate materials. A review. *Powder Technology*. London, 1976. Vol. 15. P. 245-251 URL: <https://u.to/2YgpGA> (Last accessed: 12.03.2020) [in English].
5. Rowe G.M., Meegoda J.N., Jumikis A.A. Detection of Segregation in Asphalt Pavement Materials using the Aran Profile System: Northeast asphalt user. Producer Group Newport Marriot. Newport, 2002. URL: <https://u.to/q0JFGA> (Last accessed: 12.03.2020) [in English].
6. Kudyakov A.I. Temperaturnaya segregatsiya asfal'tobetonnykh smesey pri stroitel'stve dorozhnykh pokrytiy (Temperature segregation of asphalt concrete mixes at construction of road coverings). *Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. Tomsk, 2009. № 1. P. 116-122 [in Russian].
7. Cross S.A., Brown E.R. Effect of Segregation on Performance of Hot Mix Asphalt. Highway Research Center. Auburn University. USA, 1992. URL: <https://u.to/XEIFGA> (дата звернення: 14.03.2020). (Last accessed: 14.03.2020) [in English].
8. Detecting thermal segregation in asphalt pavements. URL: <http://surl.li/blcp> (Last accessed: 20.03.2020). [in English].
9. Honghai Liu, Ran Yin, Shaopeng Wu. Reducing the Compaction Segregation of Hot Mix Asphalt. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater Science Edition*. № 1. 2007. P. 132-135. URL: <https://u.to/na5LGA> (Last accessed: 21.03.2020)). [in China].
10. State Building Norms (DBN V.2.3-4:2015) Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannya Chastyna II. Budivnytstvo (Highways. Part I. Design. Part II. Building). Kyiv, 2015. 104 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
11. State Standard of Ukraine (DSTU EN 12697-15:2018) Bitumomineralni sumishi. Metody vyprobuvannya haryachykh asfaltobetonnykh sumishey. Chastyna 15. Vyznachennya sehrehatsiyi (Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 15. Determination of the segregation sensitivity). Kyiv, 2018. 59 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Sergey Illyash,¹ <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

Vladimir Zelenovsky,¹ <https://orcid.org/0000-0001-5834-5456>

Valentin Goncharenko,² <http://orcid.org/0000-0003-4240-054X>

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

² STI Limited Liability Company, Kyiv, Ukraine

RELOADING OF ASPHALT MIXTURES AS A WAY TO ELIMINATE THEIR TEMPERATURE AND FRACTIONAL SEGREGATION

Abstract

Introduction. This article considers the phenomenon of temperature and fractional segregation of asphalt mixtures, as one of the main problems of unsatisfactory condition of asphalt concrete pavements

on Ukrainian highways. The main focus is on the method of continuous installation of asphalt concrete coatings using loaders.

Problem statement. According to the State Targeted Economic Program for the Development of Public Roads of the State Value in 2020, it is envisaged to restore up to 6.5 thousand kilometers of state roads in a state of emergency, as well as construction and reconstruction of 9 bypass roads with a total length of 101.5 kilometers. In order for the rehabilitated tracks to serve at least the estimated time frame, it is necessary to envisage the use of appropriate construction techniques that will prevent their premature destruction.

Objective. Carrying out of analytical review and presentation of the world and domestic experience of the use of modern method of laying asphalt concrete surfaces on roads with the use of special anti-segregation loaders.

Materials and methods. Asphalt concrete mixtures when reloaders are used when laying them. Analytical studies of overloading asphalt concrete mixtures as a way to eliminate segregation.

Results. The questions of improving the quality of road surfaces, increasing their durability, as well as improving the economic efficiency when applying the method of laying asphalt concrete mixtures with the use of loaders are considered. The main focus is on the question of the proper use of loaders with certain characteristics and what affect these characteristics.

Conclusions. Based on the analytical reviews carried out of the world and domestic experience of using the reloaders, it has been determined that they are the best equipment today, which eliminate the segregation of asphalt concrete mixtures and determine the appropriateness of such methods of laying asphalt concrete mixtures. In addition, the advantages of using this method in comparison with the traditional laying of asphalt concrete coatings are determined. However, as the use of this method is still not well understood, but at the same time it is relevant, further research is required.

Keywords: asphalt concrete mixture, asphalt concrete pavement, particle size distribution, overhaul, reloader, segregation, quality of pavement.

УДК 625.8

Нагайчук В. М.,¹ канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0001-9238-9276>**Радовський Б. С.**,² д-р техн. наук, проф., <https://orcid.org/0000-0001-5507-4734>¹ Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНД»), м. Київ, Україна² Лос-Анджелес, США

СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ВИКОРИСТАННЯ ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ

Анотація

Вступ. Розвиток автомобільного транспорту та автомобільних доріг повинен здійснюватись у тісному взаємозв'язку. На превеликий жаль, в Україні після створення мережі доріг загального користування у 70-х роках минулого століття, через нестабільне фінансування дорожньої галузі відбулося значне відставання розвитку та удосконалення доріг від світових темпів і тенденцій розвитку автомобільного транспорту. Як наслідок, це призвело до невідповідності стану українських доріг вимогам сучасних транспортних навантажень та неможливості пропуску існуючих транспортних засобів без руйнування доріг. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є пошук та застосування сучасних ефективних матеріалів і технологій, які дозволять відновити існуючу мережу доріг, забезпечити їх високу якість та довговічність доріг.

Проблематика. Реальна ситуація в дорожній галузі України вимагає прийняття невідкладних заходів щодо приведення стану мережі автомобільних доріг загального користування до нормативного. Мережа автомобільних доріг України проектувалась та будувалась у 70-х роках на діючі на той час розрахункові навантаження, а саме 6 тонн на вісь, які сьогодні зросли вдвічі. Через відсутність належного фінансування і порушення міжремонтних строків понад 90 % мережі автомобільних доріг не відповідає вимогам нормативних документів і потребують капітального ремонту. Розвиток автомобільного транспорту та збільшення його вантажопід'ємності також вимагають підвищення несної здатності доріг. У зв'язку з цим виникає нагальна потреба в пошуку ефективних матеріалів, які здатні сприймати сучасні транспортні навантаження та забезпечувати довговічність доріг в умовах змін природньо-кліматичних факторів.

Мета. Метою дослідження є контент-аналіз світового досвіду та підходів до використання цементобетонних покриттів, вимог нормативних документів до проектування та будівництва жорстких дорожніх одягів, а також визначення можливості застосування зазначених матеріалів і технологій в дорожній галузі України.

Матеріали та методи. Виконано аналіз публікацій щодо світового досвіду та сучасних підходів до використання цементобетонних покриттів.

Результати. Аналіз світового досвіду показав історію виникнення цементобетону та його еволюцію, шляхи та сучасні схеми його застосування, проблеми будівництва та експлуатаційного утримання дорожніх покриттів із цементобетону, а також сучасні підходи до виправлення їх недоліків або унеможливлення їх проявлення. Доведено, що для підсилення дорожнього одягу в умовах значного потепління клімату та необхідності забезпечення пропуску транспортних потоків, у складі яких є значна частка великовагових транспортних засобів, доцільно використовувати цементобетон. Цілий ряд його переваг перед асфальтобетоном, незалежність його міцності та деформативності від температури та вологості, а також тривалості дії навантаження, більший запас міцності на втому та здатність працювати при високій інтенсивності руху, а також довговічність

цементобетону, яка у 1,5–3,0 рази перевищує довговічність асфальтобетону, також підтверджують ефективність цього матеріалу для дорожнього будівництва.

Висновки. Огляд світового досвіду та підходів до використання цементобетонних покриттів дозволяє розглядати цей матеріал як ефективний, здатний вирішити проблеми сьогодення в дорожній галузі України.

Ключові слова: деформаційні шов, добавка до цементобетону, жорсткий дорожній одяг, цементобетон, покриття, цементобетон.

Вступ

Багато дискусій сьогодні ведеться щодо того, чи потрібно будувати автомобільні дороги з цементобетонним покриттям. Звісна річ, що любий будівельний матеріал має своє призначення та може бути застосованим у дорожньому будівництві.

Відомо, що використання того, чи іншого матеріалу буде залежати від завдань, які потрібно буде вирішити його застосуванням. Створення в Україні мережі автомобільних доріг загального користування у 70-ті роки минулого століття під розрахункові навантаження, які діяли на той час і тотальне порушення міжремонтних строків через постійне недофінансування дорожньої галузі призвело до того, що стан мережі доріг сьогодні не відповідає сучасним нормативним вимогам. Неузгодженість темпів розвитку автомобільного транспорту та приведення існуючої мережі доріг України до нормативного стану, призвели до невідповідності стану українських доріг вимогам сучасних транспортних навантажень та неможливості пропуску існуючих транспортних засобів без руйнування доріг. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є пошук і застосування сучасних ефективних матеріалів і технологій, які дозволять відновити існуючу мережу доріг, забезпечити високу їх якість та довговічність доріг.

Автори поставили собі за мету ознайомити читача з історією виникнення цементобетону та його еволюцією, перевагами та недоліками цього матеріалу, основними світовими тенденціями та підходами до проектування та влаштування цементобетонних покриттів.

Виклад основного матеріалу

Реальний стан мережі автомобільних доріг загального користування України, при якому понад 90 % доріг не відповідають вимогам нормативних документів за показниками міцності та рівності і потребують капітального ремонту, зобов'язує нас застосовувати матеріали та технології, які дозволять підвищити міцність дорожнього одягу, забезпечать можливість пропуску сучасних транспортних навантажень без обмежень їх руху в жаркий період року, будуть протистояти утворенню колії і сприятимуть подовженню довговічності дорожніх покриттів.

Таким матеріалом може бути бетон на портландцементі, який має цілий ряд переваг перед асфальтобетоном. Його міцність і деформативні характеристики практично не залежать від температури та вологості, що в умовах загального потепління клімату є дуже важливим. Він добре розподіляє напруження від прикладеного навантаження в любую пору року. Бетон краще сприймає повторні навантаження, а тому не вимагає великого запасу міцності на втому і добре працює при високій інтенсивності руху. Він не накопичує залишкових деформацій у теплий період року, тобто краще протистоїть утворенню колії літом, чого не скажеш про асфальтобетон. Цементобетон має менший знос при стиранні, що дозволяє йому більш тривалий час зберігати високий коефіцієнт зчеплення. Завдяки світлому кольору цементобетонне покриття краще освітлюється в темну пору доби. Головною перевагою цементобетонного покриття є його довговічність, яка у 1,5–3,0 рази перевищує довговічність асфальтобетону.

Вартість будівництва дорожніх одягів із цементобетонним покриттям дещо вища ніж з асфальтобетонним, але це окупується більшим строком служби між капітальними ремонтами. Фахівці ДП «ДерждорНД» провели технічний та економічний аналіз технологій та особливостей влаштування автомобільних доріг загального користування із цементобетонним покриттям [1]. У результаті аналізу дійшли до висновку, що в Україні, де цемент є вітчизняним в'язучим, а бітум імпортується за світовими цінами, вартість будівництва цементобетонних покриттів знаходиться на рівні вартості будівництва асфальтобетонних покриттів, а з урахуванням життєвого циклу будівництво цементобетонних покриттів має значну перевагу.

Недоліком цементобетонних покриттів називають той факт, що їх більш складніше ремонтувати. Але останнім часом розроблені і застосовуються ефективні технології ремонту та підсилення бетонних покриттів.

Самим важливим недоліком цементобетону є те, що це матеріал, який потребує високої культури виробництва і він не пробачає порушення технологічного регламенту. Повинні бути виконані всі вимоги до вихідних матеріалів, правильно запроєктований склад суміші, дотримані технологічні регламенти укладання бетону та догляду за ним. На думку авторів, цей недолік був основною причиною зупинки будівництва доріг із цементобетонним покриттям в країнах СНД в останні десятиліття.

Факти з історії розвитку цементобетонних доріг. Перше покриття із цементобетону було побудоване в портовому місті Інвернесс (Шотландія) у 1865 році на ділянці протяжністю 50 м (Blanchard, 1915) [2].

Масове будівництво доріг із бетонним покриттям почалося у США. У 1891 р. в невеликому місті Белфонтейн, штат Огайо (США), Дж. Бартоломью побудував першу коротеньку експериментальну ділянку на пішохідній доріжці вздовж MainStreet. Через 3 роки він вклав бетонне покриття на сусідній вулиці CourtStreet, поруч з будівлею окружного суду. Міська рада остерігаючись того, чи витримає бетонне покриття дію важких возів з окованими металом колесами, дозволила Бартоломью побудувати ділянку дороги на вулиці CourtStreet за умови, що він безкоштовно надасть цемент, внесе задаток 5000 доларів, гарантуючи строк служби цього покриття не менше 5 років (Snell, 2002) [3]. Необхідно відмітити, що покриття, яке було укладене у 1894 році, збереглося до цього часу. Коли святкували сторіччя покриття, Американська Асоціація цементобетону встановила пам'ятник Дж. Бартоломью на вул. MainStreet (Pasko, 1998) [4] (рис. 1).



Рисунок 1 — Пам'ятник Дж. Бартоломью — засновнику будівництва цементобетонних покриттів у США

У 1912 році протяжність доріг із цементобетонним покриттям у США складала 504 км, а у 1927 році — майже 50 000 км. З моменту будівництва перших бетонних доріг технологія бетонування, а також сам матеріал зазнав багато еволюцій. Сьогодні у США цементобетонне покриття мають дороги протяжністю майже 100 тис. км і вони побудовані на маршрутах з інтенсивним рухом. Якщо привести їх довжину до ширини однієї смуги проїзної частини, яка у США становить 3,66 м (12 футів), то вийде 805 тис. км (Pavement Consultancy Services, 1991) [5].

В Україні перша бетонна дорога була побудована у 1957 році на території Чернігівської та Сумської областей. Це дорога Кіпті – Глухів – Бачівськ. Конструкція дорожнього одягу була наступною: покриття із цементобетону товщиною 22 см на піщаній основі товщиною 20 см. На деяких ділянках використовували основу із цементогрунту товщиною 15 см. Зазначена дорога, не дивлячись на порушення міжремонтних строків та неналежне експлуатаційне утримання, прослужила 49 років і у 2006 році бетонне покриття було деформує методом віброрезонансного руйнування. Після вирівнювання деформує покриття чорним щебенем була влаштована основа з пористого асфальтобетону та двошарове асфальтобетонне покриття.

Звісна річ, що конструкції дорожнього одягу із цементобетонними шарами відносяться до дорожніх одягів жорсткого типу. Світовий досвід показує, що жорсткі дорожні одяги можна поділити на три типи (Taylor, 2007) [6] (рис. 2):

1. Прості зі швами (Jointed plain concrete pavement) — скорочено JPCP.
2. Армовані зі швами (Jointed reinforced concrete pavement) – JRCP.
3. Безперервно армовані (Continuously reinforced concrete pavement) – CRCP.

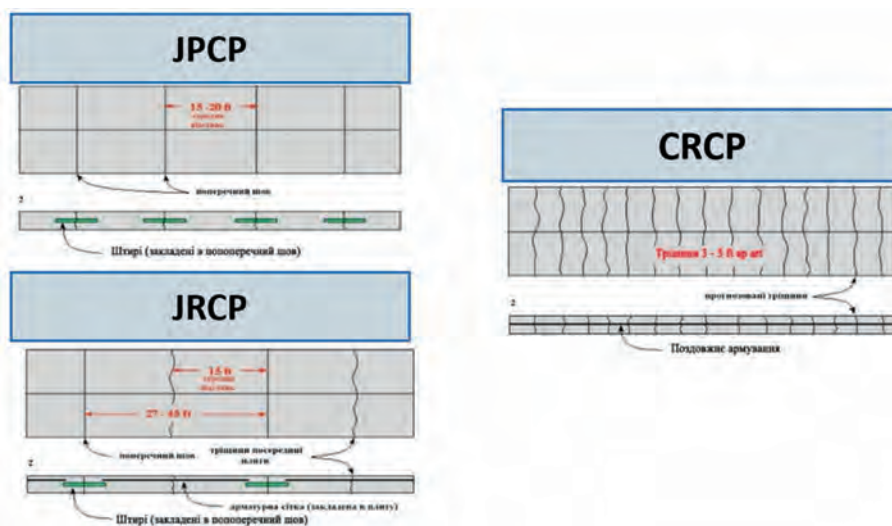


Рисунок 2 — Типи цементобетонних покриттів, що застосовуються в світі

Необхідно ще згадати про четвертий тип бетонних покриттів. У 1950–1970 роках у багатьох штатах бетонні покриття влаштовували двома шарами. На нижній шар вкладали металеву арматурну сітку, а в місцях швів встановлювали корзинки з стержнями, а потім бетонували верхній шар. При цьому склад бетону верхнього та нижнього шарів був однаковим. Такі конструкції називали армованими зі швами (Jointed reinforced concrete pavement — JRCP). Відстань між поперечними швами була більшою, ніж у неармованих (JPCP) — від 7,5 м до 15,0 м. З часом в середині 1970-х від них відмовилися і перейшли до простих зі швами (JPCP).

На відміну від цього в Європі, особливо в Австрії та Німеччині, досить часто влаштовують двошарові покриття (рис. 3). При цьому склади суміші для верхнього та нижнього шарів суттєво відрізняються. До бетону верхнього шару встановлюють підвищенні вимоги щодо шорсткості та зменшення шуму, а нижній влаштовують з більш дешевих матеріалів. У США двошарові бетонні покриття на дорогах зараз не використовуються.



Рисунок 3 — Одночасне влаштування двох шарів цементобетонного покриття

Найбільше розповсюдження мають прості жорсткі дорожні одяги з поперечними швами стиснення приблизно через 4–6 м, без арматурної сітки в плиті (JRCP). Чим тонша бетонна плита, тим коротша відстань між поперечними швами. Вона повинна перевищувати товщину плити в 20–25 разів. Такі конструкції будують приблизно 70 % дорожніх організацій США.

У більшості випадків покриття типу JRCP мають для з'єднання в поперечних швах стержні для передачі частини поперечної сили на сусідню плиту, але в деяких випадках стержні не застосовуються. Стержні виготовляють гладкими із вуглецевої сталі. Їх покривають нержавіючим металом або для захисту від корозії епоксидною смолою. Одну половину стержня обробляють бітумом, фарбою або іншою речовиною з метою створення плівки та ліквідації зчеплення з бетоном: стержні не повинні протистояти температурним поздовжнім переміщенням плит. У США приймають діаметр стержня 25 мм для покриття товщиною до 20 см, діаметр 32 мм при товщині 20–25 см і діаметр 38 мм — при товщині понад 25 см. У Німеччині приймають діаметр 25 мм. Довжину стержнів у США приймають 38–45 см, а в Німеччині — 50 см. У поздовжньому шві встановлюють анкерні стержні, тобто зчеплення з бетоном забезпечується в обох плитах. В Україні діаметр та довжину стержнів визначають розрахунковим методом згідно з ГБН В.2.3-37641918-557:2016. Зазвичай діаметр стержнів складає 22–25 мм, довжина стержня для поперечних швів — 50 см, поздовжніх — 80 см.

Другий тип конструкції (JRCP) має покриття з армованого бетону з поперечними швами через 7–9 м, навіть до 12 м. Без арматури при поперечному деформуванні плити випуклістю догори вона втрачає контакт з основою, і приблизно посередині довжини плити утворюється поперечна тріщина. Армвання сіткою дозволяє збільшити довжину плити, тобто зменшити кількість поперечних швів — самого трудомісткого та слабкого елемента конструкції. Процент поздовжнього армування — від 0,10 % до 0,25 %. Не дивлячись на те, що в таких конструкціях швів менше, ніж в конструкціях першого типу, ця перевага перекривається вартістю металевих сіток. В Україні нормативні документи передбачають армування плит при влаштуванні дорожнього одягу на слабких ґрунтах, на дорогах I–III категорій з насипами висотою більше ніж 3 м зі скельних

грунтів, насипами на болотах, які збудовані при частковому виборфуванні, насипом вище ніж 5 м з будь-яких ґрунтів, а також на ділянках доріг індивідуального проєктування.

Третій тип конструкції (CRCP) з безперервним армуванням покриття має поздовжню арматуру по всій довжині. Поперечні шви не влаштовуються. Процент поздовжнього армування — від 0,4 % до 0,8 %. Поздовжня арматура повинна працювати на розтяг за збільшення середньої по товщині температури покриття. Вона не передбачена для роботи на розтяг при згині. Тому поздовжня арматура розташовується посередині товщини плити. Температурні тріщини в таких покриттях виникають з кроком 0,9–1,5 м. Арматура стягує ці тріщини та не дає їм розкритися більше, ніж на 0,5 мм. Безперервно армоване покриття дорожче, але воно має більш рівну поверхню, ніж покриття із швами, і можуть служити довше. В Україні безперервно армовані цементобетонні покриття дозволяється влаштовувати за умови відповідного техніко-економічного обґрунтування.

Цементобетонне покриття має високу міцність при згині, воно добре розподіляє навантаження від колеса автомобіля по поверхні основи. У зв'язку з цим до основи не встановлюють високих вимог щодо міцності, але вона повинна забезпечувати рівну і безперервну опорну поверхню для бетонної плити. Відсутність чітко встановлених вимог до основи призводило до того, що цементобетонні покриття влаштовувались безпосередньо на земляному полотні незалежно від виду ґрунту та умов водовідведення. Як показав досвід, найбільш часто руйнувалися бетонні покриття через виплескування перезволоженого ґрунту з-під плити в місцях кромки покриття або поблизу швів при проїзді автомобілів. При повторних прикладаннях навантажень ґрунт доущільнювався, у верхній частині шару утворювались невеликі впадини, в яких після дощу накопичувалась вода. Подальші проїзди автомобілів витискали воду разом з дрібними частинками ґрунту. Під подошвою плити виникала пустота, і плита, залишившись без опори, руйнувалась (рис. 4).



Рисунок 4 — Виплескування перезволоженого ґрунту з-під плити

Крім цього, таке вимивання ґрунту з-під плити, було причиною утворення уступів у місцях швів, що значно погіршувало комфорт при проїзді і збільшувало динамічність навантаження. Такі уступи не тільки погіршують рівність покриття і відчуюються при проїзді, але також є причиною руйнування бетону під дією навантаження.

Коли висота уступу досягає 1,5 мм, його необхідно ліквідувати (як правило, фрезеруванням). Це дозволить відновити комфортність проїзду, але не міцність конструкції.

Оскільки безперервний контакт плити з опорною поверхнею порушений, плита працює як консольна балка, і приблизно на відстані 0,9–1,8 м від поперечного шва (там, де плита ще опирається на основу) в ній появиться поперечна тріщина. У подальшому поблизу цієї тріщини утвориться новий уступ.

Для недопущення виплескування води з дрібними частинками ґрунту та утворення уступів замість ґрунтів почали влаштовувати основу з неукріплених в'язучим зернистих матеріалів — гравію або піщано-гравійної суміші. Проте виплескування спостерігалось і надалі. У 1960 роках припустили, що ґрунт, укріплений цементом, дозволить вирішити цю проблему. Але подальший досвід показав, що цементоґрунт, насичений водою також виплескувався. Крім цього, в ньому утворюються усадочні тріщини при висиханні. У результаті від цементоґрунту, а також бітумоґрунту в якості основи жорсткого дорожнього одягу повністю відмовились в багатьох штатах, наприклад, у Каліфорнії, а також у деяких країнах Західної Європи (наприклад, у Німеччині, де його широко застосовували).

Сьогодні перевагу надають верхнім шарам основи із щебеню, пісного цементобетону або асфальтобетону. Це підтверджують результати досліджень, отримані у 2001 році при обстеженні восьми дослідних ділянок конструкцій дорожнього одягу на фрівеї I-65 (США) (Corley-Lay, 2002) [7]. Конструкція дорожнього одягу являла собою цементобетонне покриття товщиною 23 см з поперечними швами через 9 м на основі з різних матеріалів. Через 33 роки експлуатації основа товщиною 15–27 см з ґрунту, укріпленого цементом та товщиною 9–14 см з укріпленого цементом щебеню, виявились найгіршими. Найкращими були ділянки з асфальтобетонною основою товщиною 10 см. Проміжне місце займає основа з фракціонованого щебеню, по верху якого був влаштований тонкий шар з асфальтобетону (менше 2,5 см) для захисту основи від води в період дощів під час будівництва.

Такі проєктні рішення також не є ідеальними. У США та Європі під верхнім шаром основи жорсткого дорожнього одягу часто влаштовують один або декілька додаткових шарів основи. Додаткова основа повинна зменшити проникнення дрібних часток ґрунту із земляного полотна в основу, покращити дренаж, зменшити морозне пучиноутворення. При призначенні товщин додаткових шарів необхідно враховувати глибину залягання ґрунтових вод, глибину промерзання і схильність ґрунтів до морозного пучиноутворення.

Великий вплив на роботу жорсткого дорожнього одягу мають деформаційні шви. Вони, по суті, є собою організованими тріщинами, які штучно влаштовують у свіжоукладеному або затверділому бетоні у вигляді пазу глибиною $1/4$ – $1/3$ товщини плити з метою ослаблення перерізу в місці майбутньої тріщини. Вважається, що відстань між швами має бути приблизно рівною 20-кратній товщині цементобетонного покриття. У США відстань між швами, як правило, складає 3,5–5,0 м.

Існує декілька емпіричних правил призначення відстані між швами. Так, Американська асоціація цементобетонних покриттів (АСРА) рекомендує призначати максимальну відстань між швами у 24 рази більше товщини плити, якщо вона влаштована на не зміцненій основі, і у 21 раз більше — на зміцненій в'язучим основі (Taylor, 2007) [6]. Наприклад, при товщині плити 22 см відстань між швами повинна бути не більше 5,3 м на щебеневій основі і не більше 4,6 м на основі із пісного бетону.

В Україні державні будівельні норми ДБН В.2.3-4:2015 регламентують відстань між поперечними швами на укріпленій основі і на стабільному земляному полотні призначати за розрахунками, але не більше ніж 25 товщин покриття, на земляному полотні з очікуваним нерівномірним осіданням (включаючи насипи висотою понад 3 м) — 22 товщини покриття, а в місцях переходу із виїмок у високі насипи, у місцях примикання до транспортних споруд — 20 товщин покриття.

Деформаційні шви влаштовують у цементобетонних шарах для зменшення напружень, що виникають при сезонних і добових змінах температури повітря та усадці при твердінні. Звісна річ, що з метою недопущення утворення хаотичних тріщин у цементобетонній плиті при охолодженні та зменшенні лінійних розмірів плити покриття влаштовують шви стискання, а при підвищенні температури покриття для забезпечення можливості збільшення лінійних розмірів плити влаштовують шви розширення.

Якщо при влаштуванні швів стискання достатньо створити паз глибиною $1/4-1/3$ товщини плити щоб ослабити поперечний переріз плити в місці майбутньої тріщини, то при влаштуванні шва розширення необхідно забезпечити достатню ширину шва (не менше 20 мм) щоб забезпечити можливість збільшення поздовжнього розміру плити. Відстань між швами розширення назначають пропорційною довжині плити, наприклад, 25 м при відстані між швами стискання 5 м. Шов розширення влаштовують на всю товщину покриття, заповнюють його пружним матеріалом, здатним деформуватися.

Шви, як правило, нарізають у затверділому бетоні, після чого їх заповнюють мастикою. Метою заповнення шва є попередження засмічення дрібними твердими частинками в процесі експлуатації покриття. Якщо шви засмічені, то при підвищенні температури вони не будуть закриватися, що викличе випучування плит, відділення їх від основи з утворенням трикутного «трампліна» (рис. 5).

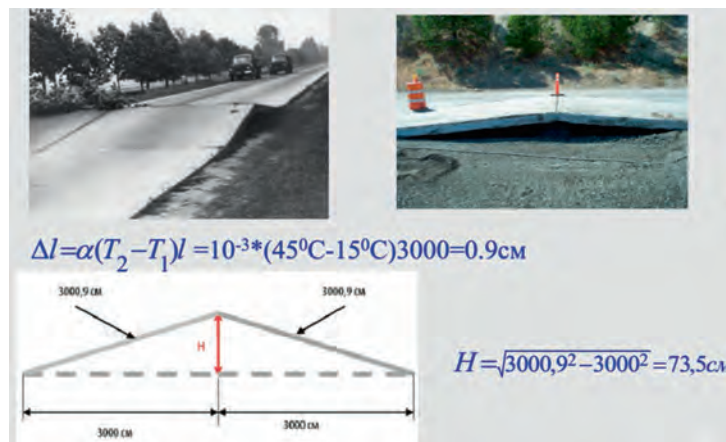


Рисунок 5 — Випучування плит: зліва дорога Київ – Одеса (1979 рік., фото І. З. Духовного), праворуч: штат Орегон (2006 рік)

Результати досліджень, які були проведені після 1970 року [8] показали недоцільність повсюдного влаштування швів розширення. Виявляється, що при підвищенні температури відбувається розширення кожної плити від середини до країв, не залежно від того, який із швів — розширення чи стискання — примикає до плити. Одностороннього розширення всіх точок плити від шва стискання до шва розширення не було встановлено (Глушков, 1987) [8]. При цьому ширина швів стискання і розширення внаслідок видовження плит менша в шві стискання і більша в шві розширення, оскільки шов розширення влаштований на всю товщину плити і переміщення в ньому відбувається більш вільно.

Таким чином, прийшли до висновку щодо недоцільності влаштовувати шви розширення через декілька швів стискання. Достатньо влаштовувати один шов з шириною, яка дозволить

погасити деформації розширення кожної плити окремо. Такий шов може виконувати роль шва стискання та розширення.

Результати досліджень (Delatte, 2008) [9] показали, що через декілька років експлуатації бетонних покриттів внаслідок зміни температури, шви розширення поступово закриваються і за рахунок цього шви стискання надмірно розкриваються при охолодженні. При цьому пропадає зчеплення між сусідніми плитами у шві стискання, що призводить до погіршення передачі навантаження з плити на сусідню, а також пошкоджується герметизація швів стискання. Такі результати також підтвердили недоцільність влаштування швів розширення.

Зараз шви розширення влаштовують лише на мостах, а також в місцях підходу бетонного покриття до оглядових колодязів, оголовків дренажних труб і до фундаментів споруд.

Важливим для забезпечення нормативних транспортно-експлуатаційних показників дорожнього покриття і, відповідно, комфортності та безпеки руху, є його шорсткість та зчеплення шини автомобіля з бетонним покриттям. Для цього цементобетонне покриття повинно мати борозни для покращення зчеплення з шиною. Спочатку влаштовували покриття з поперечними борознами глибиною приблизно 3 мм і шириною 3 мм на відстані 13–26 мм одна від одної. Але це стало причиною утворення транспортного шуму. Тоді перейшли до влаштування поздовжніх борозн глибиною 3–5 мм та відстанню між центрами 19 мм. Покриття зберігають таку текстуру в середньому біля 20 років.

В Європі використовують так звану технологію «Waschbeton», при якій на першому етапі після чистової обробки влаштованого бетонного покриття на поверхню наноситься уповільнювач тужавіння бетону, який проникає в покриття на глибину 1–2 мм і виконує функцію плівкоутворюючого матеріалу. На другому етапі через добу (після набору бетоном міцності при стиску не менше 8 МПа) поверхню покриття з уповільнювачем тужавіння зчищають за допомогою підмітальних машин або інших механізмів із щіткою. Так знімається цементне молочко, відкривається верх зерен щебеню і створюється шорстка поверхня, аналогічна за текстурою асфальтобетону (рис. 6). В Україні таку технологію називають «тихим бетоном».



Рисунок 6 — Створення шорсткої поверхні покриття за допомогою технології «Waschbeton»

У разі потреби, на зношеному бетонному покритті алмазним інструментом нарізають нові поздовжні борозни (рис. 7), які зменшують можливість защемлення плівки води в контактні колеса з покриттям, надають автомобілю бокову стійкість при русі на криволінійних ділянках. Після фрезерування алмазним інструментом текстура покриття зберігається 8–10 років.



Рисунок 7 — Відновлення шорсткості бетонного покриття за допомогою алмазного інструменту

Необхідно відмітити, що цементний бетон є найбільш поширеним на землі штучним матеріалом. Його щорічно виготовляють мільярди кубометрів. Якщо асфальтобетоном цікавляться в основному дорожники або хіміки, то цементним бетоном цікавиться набагато ширше коло інженерів у всіх галузях будівництва.

Основою основ цементобетону є склад бетонної суміші. Як відомо, цементний бетон це раціонально підібрана суміш гідралічного цементу, води, дрібного та крупного кам'яного матеріалу, а також мінеральних і хімічних домішок. У бетоні також є повітря. Традиційні бетони вміщують за обсягом 9–15 % цементу, 15–16 % води, 25–35 % дрібного кам'яного матеріалу і 30–45 % крупного кам'яного матеріалу.

Щонайменше 2/3 бетонних сумішей у США використовують портландцемент доповнений або заміщений іншими цементуючими матеріалами [6]. До них відноситься зола-винесення теплових електростанцій, молотий гранульований доменний шлак, мікрокремнезем (кварцевий пил, тонкий кремнеземний порошок), обпалений сланець, обпалена глина, метакаолін (продукт термічної обробки каоліну).

Для регулювання властивостей цементного бетону в пластичному або затверділому стані до складу цементобетонної суміші вводять різного роду добавки (як правило, більшість добавок розчиняються у воді).

Всі добавки до бетону поділяють на 13 груп:

1. Повітровтягуючі.
2. Прискорювачі (схвачування та твердіння).
3. Водопонижуючі (зменшують кількість води на 5–10 % без зниження рухомості суміші).
4. Уповільнювачі схвачування.
5. Пластифікатори.
6. Домішки для бетонів, що самоущільнюються.
7. Домішки для зимового бетонування.
8. Домішки для регулювання строків схвачування.
9. Домішки для зменшення усадки.
10. Інгібітори корозії арматури.
11. Літєві домішки для нейтралізації лужно-силікатної реакції.
12. Домішки для зменшення водопроникнення бетону.
13. Інші домішки: газоутворюючі; ті, що полегшують перекачування та обробку поверхні,

покращують адгезію бетону з арматурою, добавки розширення для компенсації усадки бетону, пігменти та інші.

Зазначені вище добавки застосовуються як для монолітних, так і для збірних елементів. Як правило, застосовують комплексні добавки у вигляді рідини.

Опису дії добавок на регулювання властивостей цементних сумішей та бетону при наявності їх великої кількості необхідно присвятити окремий огляд. Для наочності лише зазначимо, якщо у 1984 році книга-довідник про добавки під редакцією В. С. Рамчандрана, що вийшла у США, а її російське видання було опубліковане у 1988 році на 578 сторінках (Рамчандран, 1988) [10], то оновлене видання цієї ж книги на англійській мові (Ramachandran, 1997) [11] складало уже 1180 сторінок. Це характеризує й обсяги інформації про добавки, і темпи розвитку знань у цій галузі.

Висновки

Таким чином, аналізуючи вище зазначений світовий та вітчизняний досвід і підходи до проектування, будівництва та експлуатаційного утримання цементобетонних дорожніх покриттів, можна зробити ствердний висновок про те, що цементобетон може бути тим ефективним матеріалом, який дозволить вирішити проблеми сьогодення в дорожній галузі України. Його успішно можна використовувати для будівництва бетонних покриттів на дорогах із напруженим рухом і високою інтенсивністю руху з метою забезпечення пропуску сучасних транспортних засобів без обмежень в жарку пору року, а також високої якості та довговічності доріг.

Список літератури

1. Звіт про науково-дослідну роботу «Технічний та економічний аналіз технологій та особливостей влаштування автомобільних доріг загального користування із цементобетонним покриттям». Київ, 2019, 27 с.
2. Blanchard A.H. Elements of highway engineering. John Wiley&Sons. New York, 1915. 514 p.
3. Snell L.M., Snell B.G. Oldest concrete street in the United States. *Concrete International*. Detroit, 2002. P. 72-74.
4. Pasko T.J. Concrete pavements – past, present, and future. *Public Roads*. Washington, 1998. N 62 (1). P. 1-9.
5. Pavement Consultancy Services. Guidelines and methodologies for the rehabilitation of rigid highway pavements using asphalt concrete overlays. *Report for NAPA and SAPAE*. Beltsville, 1991. P. 1-7.
6. Taylor P.C., S.H. Kosmatka, G.F. Voigt. Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: A State-of-the-Practice Manual. Iowa, 2007. P 326.
7. Corley-Lay J., C.S. Morrison. Thirty-Three year performance of jointed concrete test sections in North Carolina. *Transportation Research Record*. North Carolina, 2002. N 1806. P. 88-94.
8. Глушков Г.И. и др. Жесткие покрытия аэродромов и автомобильных дорог. Москва, 1987. 255 с.
9. Delatte N. Concrete Pavement Design, and Performance. London and New York, 2008. P 372.
10. Рамчандран В.С., Фельдман Р.Ф., Коллепарди М. и др. Добавки в бетон: справочное пособие. Москва, 1988. 578 с.
11. Ramachandran V. S. Concrete Admixtures Handbook Properties. *Science and Technology, second Edition*. Detroit, 1977. 1180 p.

References

1. Zvit pro naukovo-doslidnu robotu «Tekhnichniy ta ekonomichniy analiz tekhnolohii ta osoblyvostei vlashtuvannia avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia iz tsementobetonnyim pokryttiam» (Report on the research work «Technical and economic analysis of technologies and features of arrangement of public roads with cement pavement»). Kyiv, 2019. 27 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
2. Blanchard A.H. Elements of highway engineering. John Wiley&Sons. New York, 1915. 514 p. [in English].
3. Snell L.M., Snell B.G. Oldest concrete street in the United States. *Concrete International*. Detroit, 2002. P. 72-74. [in English].
4. Pasko T.J. Concrete pavements – past, present, and future. *Public Roads*. Washington, 1998. N 62 (1). P. 1-9. [in English].
5. Pavement Consultancy Services. Guidelines and methodologies for the rehabilitation of rigid highway pavements using asphalt concrete overlays. *Report for NAPA and SAPAE*. Beltsville, 1991. P. 1-7. [in English].
6. Taylor P.C., S.H. Kosmatka, G.F. Voigt. Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: A State-of-the-Practice Manual. Iowa, 2007. P 326. [in English].
7. Corley-Lay J., C.S. Morrison. Thirty-Three year performance of jointed concrete test sections in North Carolina. *Transportation Research Record*. North Carolina, 2002. N 1806. P. 88-94. [in English].
8. Glushkov G.I. & etc. Zhestkye pokrytya aerodromov u avtomobilnykh doroh (Rigid pavement of airfields and roads). Moscow, 1987. 255 p. [in Russian].
9. Delatte N. Concrete Pavement Design and Performance. London and New York, 2008. P 372. [in English].
10. Ramachandran V.S. Dobavky v beton (Additives in concrete): reference manual. Moscow, 1988. 578 p. [in Russian].
11. Ramachandran V. S. Concrete Admixtures Handbook Properties. *Science and Technology, second Edition*. Detroit, 1977. 1180 p. [in English].

Vasyl Nagaychuk,¹ Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0001-9238-9276>

Borys Radovskiy,² D.Sc., Prof., <https://orcid.org/0000-0001-5507-4734>

¹ State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

² Los Angeles, USA

WORLD EXPERIENCE AND MODERN APPROACHES TO THE USE OF CEMENT CONCRETE PAVEMENT

Abstract

Introduction. Road and highway development must be closely interconnected. Unfortunately, in Ukraine, after the creation of a network of public roads in the 1970s, due to the unstable financing of the road industry, there has been a significant lag in the development and improvement of roads from world rates and trends in the development of road transport. As a result, this has led to the nonconformity of

the state of Ukrainian roads with the requirements of modern transport loads and the inability to pass existing vehicles without destroying the roads. One way to solve this problem is to find and use modern, efficient materials and technologies that will help to restore the existing network of roads, ensure high quality and durability of roads.

Problem statement. The real situation in the road sector of Ukraine requires the adoption of urgent measures to bring the state of the network of public roads to the normative one. The Ukrainian highway network was designed and built in the 1970s with the existing calculated loadings of that time, namely 6 tons per axle, which has doubled today. Due to lack of proper financing and violation of overhaul terms, more than 90 % of the highway network do not meet the requirements of regulations and need major overhaul. The development of road transport and its growth loading capacity also require an increase in the carrying capacity of roads. In this regard, there is an urgent need to find efficient materials that can handle modern transport loads and ensure road durability in the face of changing climatic factors.

Purpose. The purpose of the study is a content analysis of the world experience and approaches to the use of cement pavements, requirements of regulations for the design and construction of rigid road pavements, as well as to determine the possibility of using these materials and technologies in the road industry of Ukraine.

Materials and methods. The analysis of publications concerning the world experience and modern approaches to the use of cement pavement is carried out.

Results. The analysis of the world experience has shown the history of cement concrete origin and its evolution, ways and current schemes of its application, problems of construction and maintenance of road pavements made of cement concrete, as well as modern approaches to correcting their defects or preventing their manifestation. It is proved that it is advisable to use cement concrete to enhance the road pavement in conditions of significant climate warming and the need to ensure the passage of traffic flows which include a large proportion of heavy vehicles. A number of its advantages over asphalt concrete, the independence of its strength and deformability from temperature and humidity, as well as the duration of loading, a higher margin of fatigue strength and the ability to operate at high traffic intensity, as well as durability of cement concrete, which is 1.5–3 times higher than durability of asphalt concrete, also prove the effectiveness of this material for road construction.

Conclusions. An overview of the world experience and approaches to the use of cement pavement allow reviewing this material as effective, able for solving the problems of today in the road industry of Ukraine.

Keywords: expansion joint, rigid road pavement, additive to cement concrete, cement concrete.

УДК 625.7/.8

Славінська О. С., *д-р техн. наук, проф.*, <http://orcid.org/0000-0002-9709-0078>**Бубела А. В.**, *канд. техн. наук, доц.*, <http://orcid.org/0000-0002-5619-003X>**Бондаренко Л. П.**, *канд. техн. наук, доц.*, <http://orcid.org/0000-0002-8239-065X>**Чечуга О. С.**, *канд. техн. наук, доц.*, <http://orcid.org/0000-0003-1643-6354>*Національний транспортний університет, м. Київ, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ДРЕНАЖІВ МІЛКОГО ЗАКЛАДАННЯ ЗА ІНТЕНСИВНІСТЮ ВОДОВІДВЕДЕННЯ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ВІБРАЦІЇ

Анотація

Вступ. Суттєвим наслідком недостатнього водовідведення та перезволоження дорожньої конструкції є зниження її міцності та несної здатності внаслідок зменшення модуля пружності ґрунтів земляного та шарів основи дорожнього одягу. Не завжди ефективні спроби герметизації дорожнього покриття, погіршення його транспортно-експлуатаційного стану в процесі експлуатації не можуть забезпечити зменшення інтенсивності проникнення води в дорожню конструкцію. Це потребує влаштування особливо на перезволожених ділянках доріг дренажних конструкцій мілкового закладання.

Проблематика. Дренажі мілкового закладання влаштовують в робочій зоні земляного полотна, вони є підземними спорудами, що унеможлиблює проводити спостереження за режимом їх роботи. Наведений в роботі аналіз досліджень обумовлює необхідність визначення ефективності роботи дренажних конструкцій мілкового закладання, як за інтенсивністю водовідведення, так і під впливом вібраційної дії транспортних засобів. Єдиним шляхом вирішення цієї актуальної проблеми є проведення експериментальних досліджень на великомасштабних моделях, що максимально відповідають натурним умовам.

Мета. Метою даної роботи є дослідження режиму роботи поперечних ДМЗ (ПДМЗ) за інтенсивністю водовідведення з урахуванням впливу вібрації на лабораторній установці дорожньої конструкції.

Матеріали та методи. В навчально-науковій лабораторії кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету на експериментальні установці дорожньої конструкції було проведено серію досліджень роботи двох типів дренажних конструкцій мілкового закладання, з трубчастою дренаю, обсипаною крупнозернистим піском та з щебеним ядром. Параметри установки відповідають III та IV категорії автомобільної дороги. Відповідно до проведених натурних вимірювань показників вібрації, було спроектовано та побудовано установку імітації вібрації від дії транспортних засобів. Експерименти проводилися, як з вібраційним впливом від транспортних засобів, так і без нього. Установка дорожньої конструкції оснащена системою імітації дощових опадів, яка працювала в режимі інтенсивності дощових опадів 5 %.

Результати. Під час досліджень визначено режими формування водного потоку та виміряно інтенсивність водовідведення дренажної траншеї з трубчастою дренаю та дренажної траншеї зі щебеним ядром. За результатами вимірів проаналізовано вплив вібрації від дії транспортних засобів на два типи дренажних конструкцій та отримано кореляційно-регресійні залежності для визначення їх інтенсивності водовідведення залежно від початкової вологості земляного полотна.

Висновки. Згідно з результатами експериментальних досліджень конструкція дренажу

мілкого закладання з щелебевим ядром відводить більшу кількість води в середньому на 10 % без впливу вібрації, та на 14 % більше під впливом вібрації, за часом, відповідно, в 7 та 11 разів швидше, ніж конструкція з трубчастою дренаю. Це підтверджує її більш високу ефективність роботи. При порівнянні відповідних типів дренажних конструкцій між собою без дії вібрації та з нею, можна дійти висновку, що на інтенсивність водовідведення конструкції з трубчастою дренаю вібрація майже не впливає

Ключові слова: вібрація, дорожня конструкція, дренаж мілкого закладання, дренажний шар, дренажна труба, щелебеве ядро.

Вступ

Дорожні конструкції з покриттями, переважно влаштованими на основі органічних в'язучих, зазнають суттєвих тепловолігісних впливів, що посилюються не тільки за рахунок природного старіння в'язучого, наявністю тріщин і вибоїн, а також від постійної вібраційної дії транспортних засобів. З метою запобігання накопиченню вологи у шарах основи дорожнього одягу, у робочій зоні земляного полотна та, відповідної, втрати несної здатності влаштовують дренажі мілкого закладання (ДМЗ). ДМЗ — це підземні споруди і дослідити режим їх роботи складно. Єдиним шляхом вирішення цієї актуальної проблеми є проведення експериментальних досліджень на великомасштабних моделях, що максимально відповідають натурним умовам. Питання щодо дослідження режимів роботи дорожньої конструкції та визначення параметрів елементів дренажних систем мілкого закладання носять розрізнений характер.

Вплив води на дорожню конструкцію з точки зору проникності шарів дорожнього одягу, роботи дренажних систем та екологічних питань досліджено в роботі [1]. Поглинання води залежить, як від інтенсивності опадів, так і від експлуатаційного стану дорожнього покриття, узбіч та дренажу мілкого закладання. З метою отримання фундаментального розуміння шкідливого впливу води на асфальтобетонне покриття автор [1] розглядає ці процеси в мікромасштабі. Але в роботі не враховується вплив інфільтруючої вологи на шари основи дорожнього одягу та інтенсивність виведення її дренажною системою.

Вплив статичної понаднормової ваги транспортних засобів на напружено-деформований стан дорожньої конструкції та, зокрема, конструктивних елементів трубчастих поперечних ДМЗ розглянуто в роботі [2]. Проте лишилось відкритим питання вібраційного впливу на роботу дренажної конструкції.

У роботі [3] запропоновано дослідження вібраційних властивостей ґрунтів, на основі яких визначено ефект зниження поглинання хвиль вібрації в ґрунті земляного полотна зі збільшенням його щільності. Оцінка впливу динамічного навантаження від транспортних засобів (ТЗ) на дорожнє покриття на основі дослідження генерації вібрації, що викликана нерівностями його поверхні наведена в роботі [4]. Наведені числові результати показали, що генерація вібрації принципово залежить від поздовжньої нерівності дорожнього покриття і значно меншою мірою від збільшення швидкості руху ТЗ. Але питання, як впливає вібрація на загальний стан дорожньої конструкції з дренажем мілкого закладання авторами [3, 4] була розглянута.

Вище наведений аналіз досліджень обумовлює нову, актуальну наукову проблему з визначення ефективності роботи дренажних конструкцій мілкого закладання, як за інтенсивністю водовідведення, так і під впливом вібраційної дії транспортних засобів.

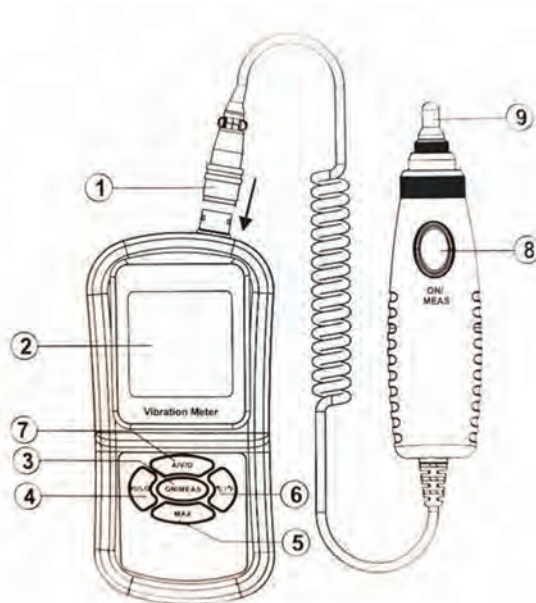
Метою даної роботи є дослідження режиму роботи поперечних дренажів мілкого закладання (ПДМЗ) за інтенсивністю водовідведення з урахуванням впливу вібрації.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні задачі:

- проведення моделювання впливу вібрації на дорожню конструкцію на основі параметра вібропереміщення, який відповідає дії від транспортних засобів;
- проведення дослідження двох типів конструкцій ПДМЗ за інтенсивністю водовідведення з вібраційним впливом та без нього;
- побудовані та досліджені кореляційно-регресійні залежності для визначення інтенсивності водовідведення кожного типу конструкції ПДМЗ.

Основна частина

Для моделювання впливу вібрації від дії транспортних засобів на дорожню конструкцію було здійснено виїзд на вулицю Богатирську м. Київ (за сприянням Оболонського ШЕУ). Вимірювання показників впливу вібрації на дорожню конструкцію проводилися приладом GM-63B з виносним датчиком, який дозволяє проводити вимірювання від впливу всіх видів віброуючих механічних споруд за такими величинами як прискорення (m/s^2), швидкість ($m\cdot s$) та переміщення (мм) (рис. 1).



1 — роз'єм ручки (з напрямком); 2 — дисплей; 3, 8 — кнопка включення; 4 — кнопка вибору частоти; 5 — кнопка фіксації максимального значення; 6 — кнопка вибору одиниці вимірювання температури; 7 — кнопка вибору режиму вимірювання (прискорення / швидкість / переміщення); 9 — наконечник детектора

Рисунок 1 — Схема приладу GM-63B з виносним датчиком

Замір проводили на проїзній частині на відстані одного метру від смуги накату. Для забезпечення точності вимірювань у покритті робили отвори діаметром 6 мм та глибиною 40 мм. В отвори монтували виносний провідний датчик (рис. 2 а).

Стан покриття на даній ділянці був задовільний: незначна колійність, відсутні вибоїни, незначні поперечні тріщини. За допомогою приладу проводили виміри від впливу легкових та вантажних ТЗ. При русі легкових ТЗ з масою до 2 тонн зі швидкістю 60 км/год вібропереміщення складало від 0 мм до 0,001 мм. При русі вантажних ТЗ з масою більше 20 тонн і кількістю осей 6 зі швидкістю 60 км/год — від 0,002 мм до 0,004 мм.

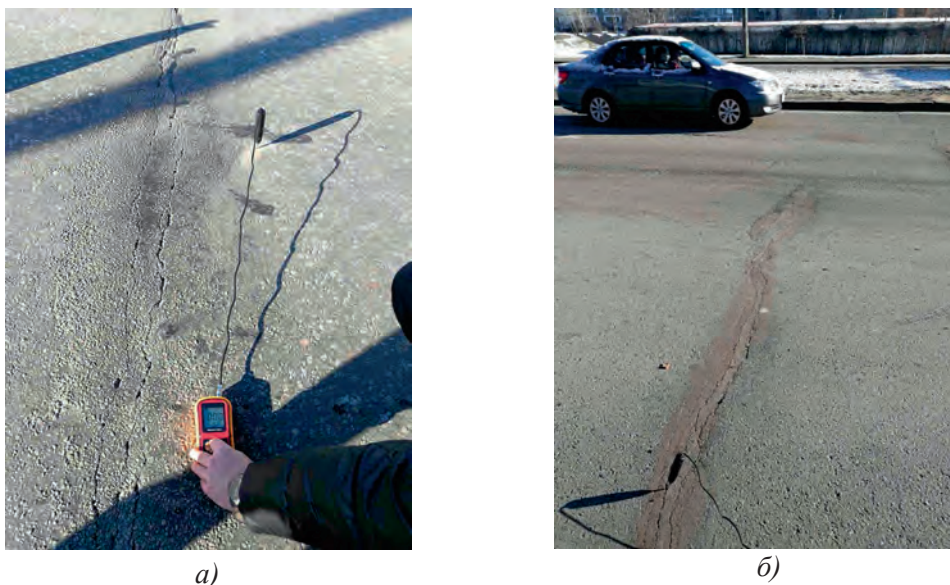


Рисунок 2 — Вимірювання показників вібрації приладом GM-63B по вул. Богатирській м. Київ: а) на ділянці № 1; б) на ділянці № 2

Наступна ділянка вимірювання знаходилася на тій же вулиці, але були деякі відмінності у стані покриття: окрім колійності та тріщин на покритті були вибоїни. Для заміру вібропереміщення використовувалися поперечні тріщини в покритті (рис. 2 б).

У результаті було визначено, що при русі легкових ТЗ з масою до 2 тонн зі швидкістю 60 км/год вібропереміщення складало від 0,001 мм до 0,003 мм; при русі вантажних ТЗ з масою більше 20 тонн та кількістю вісей 6 зі швидкістю 60 км/год — від 0,004 мм до 0,018 мм. Погодні умови при проведенні всіх вимірювань були однакові, температура повітря — (3–4) °С.

Відповідно до проведених натурних вимірювань показників вібрації, було спроектовано та побудовано установку імітації вібрації (УІВ) від дії ТЗ.

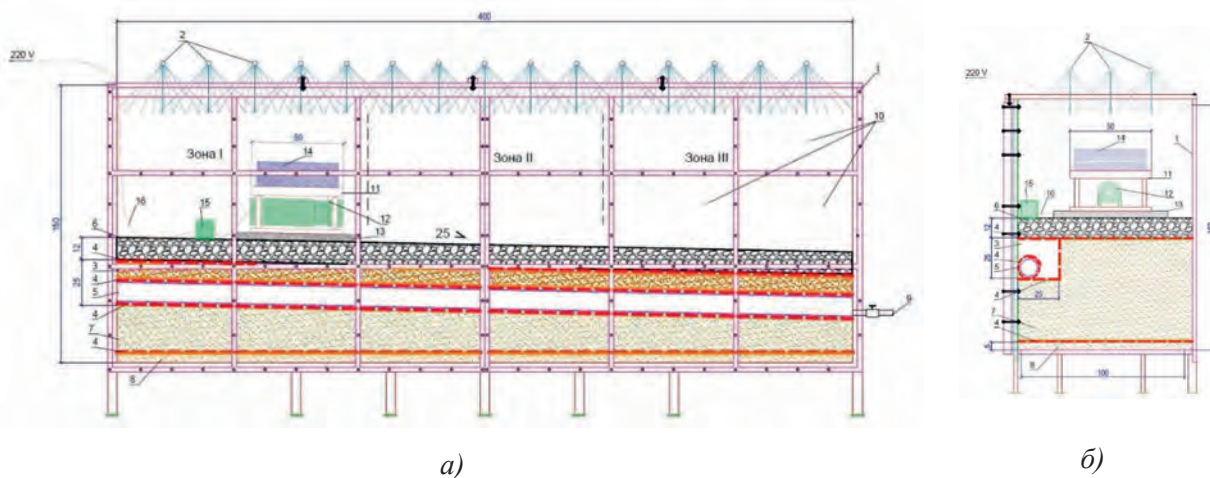
УІВ складається з гумової платформи товщиною 35 мм, металевого листа розміром 500 мм × 500 мм × 3 мм, металевого каркаса з піддоном для розміщення додаткового навантаження, електродвигуна потужністю 1,5 кВт, реостату для регулювання обертів двигуна. Вага УІВ складає 53 кг.

УІВ дозволяє відтворювати ті діапазони параметрів вібрації, які відповідають реальним характеристикам сучасних ТЗ. Для додаткового навантаження використовували мішки з піском. Для імітації вібрації від дії легкових ТЗ додаткове навантаження не використовувалося, а для великовагових ТЗ — складало 25 кг. При збільшенні додаткового навантаження параметри вібропереміщення майже не змінювалися.

У навчально-науковій лабораторії кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету спроектована та побудована

експериментальна установка, яка моделює дорожню конструкцію в натуральну величину. Розміри установки дозволяють влаштувати один метр погонної довжини дорожньої конструкції з ПДМЗ (половину в поперечному профілі дороги III–IV категорій). Параметри установки наведені на рис. 3 і рис. 4.

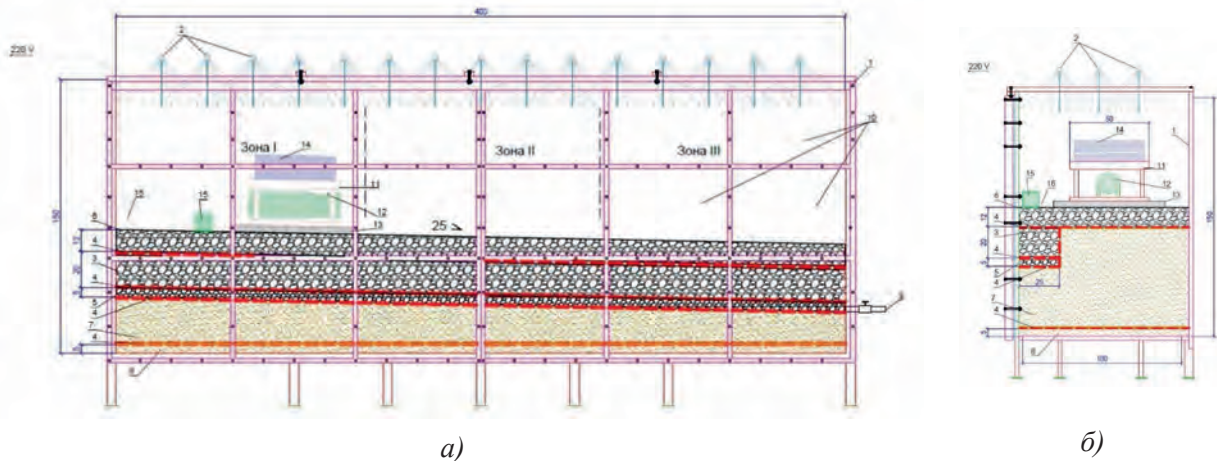
В установці влаштовано робочий шар земляного полотна (ЗП) загальною глибиною 55 см (грунт — суглинок легкий). Перед проведенням кожного дослідження виконували вимірювання вологості ґрунту ЗП. Для можливості спостереження за всіма процесами, які відбуваються в дорожній конструкції, передня фронтальна стінка зроблена з прозорого оргскла. Вздовж стінки у ЗП влаштовано траншею розмірами 25 см × 25 см з похилом 5 ‰. Дослідження проводили для двох конструкцій ПДМЗ. Траншею конструкції ПДМЗ по периметру обклали геосинтетичним матеріалом (ГСМ) та наповнювали різними матеріалами. Конструкція ПДМЗ № 1 складалась із труби полівінілхлориду (ПВХ) діаметром 10 см, обгорнутої ГСМ та обсіпаної крупнозернистим митим кварцовим піском фр. 2–3 мм (рис. 3).



а) бокова площина; б) торцева площина; I, II, III — відповідно зони проведення вимірювань; 1 — корпус експериментальної установки; 2 — система імітації дощових опадів; 3 — заповнювач дренажної траншеї — кварцовий митий пісок фракції 2–3 мм; 4 — прошарок ГСМ; 5 — дренажна труба ПВХ діаметром 100 мм з отворами; 6 — дренажний шар — митий щебінь фракції 20–40 мм; 7 — ґрунт — супісок пилуватий; 8 — шар дрібнозернистого піску; 9 — відвідний отвір (кран); 10 — передня стінка корпусу експериментальної установки з оргскла; 11 — корпус установки імітації вібрації від автомобіля; 12 — електродвигун ексцентричний ИВ-01-50Е; 13 — демпферний прошарок з гуми; 14 — навантаження на віброустановку; 15 — прилад для регулювання обертів електродвигуна 12; 16 — провід для під’єднання до мережі 220 В

Рисунок 3 — Експериментальна установка з КДМЗ № 1 з труби ПВХ

Конструкція ПДМЗ № 2 була влаштована зі щелевеного ядра: в нижній частині фр. 5–10 товщиною 5 см; прошарок із ГСМ; у верхній частині фр. 20–40 мм товщиною 20 см (рис. 4). Наповнена матеріалами траншея, разом із ЗП, накривалися ГСМ. В якості площинного дренажу було влаштовано шар із митого щебню фр. 20–40 мм товщиною 12 см. Установка дорожньої конструкції оснащена системою імітації дощових опадів, яка працювала в режимі інтенсивності дощових опадів 5 ‰ забезпечення згідно метеорологічних даних [5] для Київської області. На поверхню дренуючого шару площею 4 м² надходило 25 літрів води.



а) бокова площина; б) торцева площина; I, II, III — відповідно зони проведення вимірювань; 1 — корпус експериментальної установки; 2 — система імітації дощових опадів; 3 — заповнювач дренажної траншеї — митий щебінь фракції 20–40 мм; 4 — прошарок ГСМ; 5 — заповнювач дренажної траншеї — митий щебінь фракції 5–10 мм; 6 — дренажний шар — митий щебінь фракції 20–40 мм; 7 — ґрунт — супісок пилюватий; 8 — шар дрібнозернистого піску; 9 — відвідний отвір (кран); 10 — передня стінка корпусу експериментальної установки з оргскла; 11 — корпус установки імітації вібрації від автомобіля; 12 — електродвигун ексцентричний ИВ-01-50Е; 13 — демпферний прошарок з гуми; 14 — навантаження на віброустановку; 15 — прилад для регулювання обертів електродвигуна 12; 16 — провід для під'єднання до мережі 220 В

Рисунок 4 — Експериментальна установка з КДМЗ № 2 з щелевеного ядра

Попередньо на дренуючий шар було встановлено УІВ, яка починала працювати відразу після закінчення надходження дощових опадів. У процесі проведення експериментальних досліджень підбиралися параметри вібропереміщення, що відповідають легковому та великоваговому ТЗ. Випробування від дії вібрації для кожного дослідження тривало 10 хв.

До складу контрольованих параметрів впливу входили: напруга і сила струму електродвигуна; тривалість випробувань, хв; амплітуда вібрацій, мм; величина питомого статичного навантаження.

Для впливу на ґрунт використовували статичний вантаж 14 (рис. 3, рис. 4), у поєднанні з віброімпульсами. Енергія від електродвигуна 12 (рис. 3, рис. 4) надходила в блок-перетворювач і далі віброімпульси направлялись через демпферний прошарок із гуми 13 (рис. 3, рис. 4) на поверхню дренуючого шару. Блок-перетворювач виконував функцію формування зворотно-поступального руху із заданими параметрами амплітуди і частоти. Для перетворення обертального руху у вібраційний використовувалася схема з ексцентриком.

Під час дослідження проводилися вимірювання: інтенсивності водовідведення дренажної траншеї обох типів конструкцій. Результати вимірювань наведені у табл. 1 і табл. 2. Дослідження проводилися як з вібраційним впливом від ТЗ, так і без нього. Особливість роботи конструкції ПДМЗ № 1 від конструкції ПДМЗ № 2 полягає в тому, що вона працює в двох режимах водовідведення: 1 — сформований потік; 2 — розформований потік (краплі).

Таблиця 1

Загальний об'єм відведеної води з конструкції ПДМЗ № 1

Ч. ч.	Об'єм води, який надійшов до конструкції, л	Об'єм відведеної води під час сформованого потоку, л	Час сформованого потоку, хв	Загальний об'єм відведеної води, л	Загальний час відведення води t , хв
Без вібрації					
1	25	8,6	26	10,6	206
2	25	11,5	27	13,5	207
3	25	11,8	26	15,8	206
З вібрацією					
4	25	10,5	20	14,3	203
5	25	11,7	28	14,0	205

Інтенсивність водовідведення конструкції ПДМЗ № 2 перевищувала відповідний показник конструкції ПДМЗ № 1.

Таблиця 2

Загальний об'єм відведеної води з конструкції ПДМЗ № 2

Ч. ч.	Об'єм води, який надійшов до конструкції, л	Об'єм відведеної води під час сформованого потоку, л	Час сформованого потоку, хв	Загальний об'єм відведеної води, л	Загальний час відведення води t , хв
Без вібрації					
1	25	13,3	32	13,3	32
2	25	14,0	41	14,0	41
3	25	16,7	18	16,7	18
З вібрацією					
4	25	17,0	16	17,0	16
5	25	16,0	22	16,0	22

Для адаптації результатів експериментальних досліджень відповідно до натурних умов та отримання уніфікованих залежностей необхідно було провести кореляційно-регресійний аналіз і виконати серію числових експериментів на їх основі.

Аналіз кореляційного поля між кількістю відфільтрованої води та часом її фільтрування дозволяє висунути гіпотезу про наявність функціонального зв'язку між цими двома величинами. Перевірку даної гіпотези виконували на основі методів кореляційно-регресійного аналізу [6, 7].

Рівняння регресії прийняли у вигляді гіперболічної функції виду:

$$\hat{Q}(t) = a + \frac{b}{t}, \quad (1)$$

де $\hat{Q}(t)$ — розрахункова кількість відведеної води (по відношенню до початкового об'єму);
 t — час відведення води, хв.;

$a, \varphi \varphi b$ — безрозмірні параметри регресії.

Коефіцієнти a та b , що входять до рівняння регресії (1) визначають на основі методу найменших квадратів (МНК) за формулами [6, 7]:

$$b = \frac{n \sum \frac{Q_i}{t_i} - \sum \frac{1}{t_i} \cdot \sum Q_i}{n \sum \frac{1}{t_i^2} - \left(\sum \frac{1}{t_i} \right)^2}, \quad (2)$$

$$a = \frac{1}{n} \sum Q_i - \frac{b}{n} \sum \frac{1}{t_i}. \quad (3)$$

Для оцінки щільності зв'язку між досліджуваними параметрами обчислюють коефіцієнт парної кореляції за формулою:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{\sum (Q_i - \bar{Q}_i)^2}}. \quad (4)$$

Значимість параметрів регресії оцінюють за F-критерієм Фішера для прийнятого рівня значущості β , порівнюючи його критичне (табличне) значення $F_{\text{табл.}}$ з фактичним значенням $F_{\text{факт.}}$, що визначається за формулою:

$$F_{\text{факт.}} = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{k_2}{k_1}, \quad (5)$$

де $k_1 = m; k_2 = n - m - 1;$
 m — кількість параметрів при факторній ознаці;
 n — кількість спостережень.

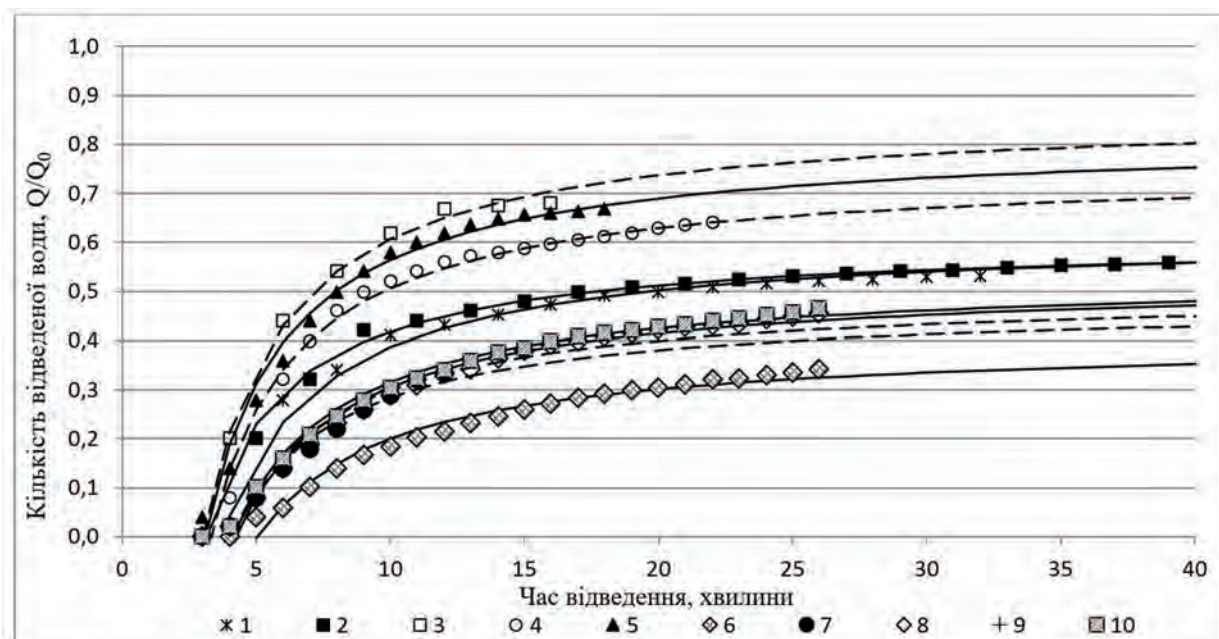
Виконавши розрахунки за формулами (1)—(5) із використанням даних експериментальних досліджень були отримані наступні результати кореляційно-регресійного аналізу (табл. 3, рис. 5).

Таблиця 3
Результати кореляційно-регресійного аналізу експериментальних даних

Ч. ч.		Рівняння кореляційно-регресійної моделі	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт детермінації	Значення критерію Фішера при $\beta = 0,05$	
					Критичне значення	Фактичне значення
1	2	3	4	5	6	7
Конструкція ПДМЗ № 1 (дренаж труба, щебінь, без вібрації)						
1	Експеримент 1 ($W_{3п} = 11,4\%$)	$\hat{Q}(t) = 0,356 - \frac{1,3924}{t}$	0,9325	0,8809	4,3009	162,7200
2	Експеримент 2 ($W_{3п} = 11,3\%$)	$\hat{Q}(t) = 0,4958 - \frac{1,8178}{t}$	0,9674	0,9358	4,3009	320,8300
3	Експеримент 3 ($W_{3п} = 11,0\%$)	$\hat{Q}(t) = 0,5064 - \frac{1,82}{t}$	0,9746	0,9498	4,3009	416,2400
Конструкція ПДМЗ № 1 (дренаж труба, щебінь, вібрація)						
4	Експеримент 4 ($W_{3п} = 12,0\%$)	$\hat{Q}(t) = 0,4766 - \frac{1,929}{t}$	0,9876	0,9754	5,5914	277,1005
5	Експеримент 5 ($W_{3п} = 10,9\%$)	$\hat{Q}(t) = 0,4988 - \frac{2,0083}{t}$	0,9938	0,9877	5,5914	563,1400

	1	2	3	4	5	6
Конструкція ПДМЗ № 2 (дренаж, щебінь, без вібрації)						
6	Експеримент 6 ($W_{зп}=13,6\%$)	$\dot{Q}(t) = 0,6159 - \frac{2,2944}{t}$	0,9905	0,981	4,6672	671,8100
7	Експеримент 7 ($W_{зп}=13,1\%$)	$\dot{Q}(t) = 0,6052 - \frac{1,8677}{t}$	0,9971	0,9942	4,4139	3111,1400
8	Експеримент 8 ($W_{зп}=13,0\%$)	$\dot{Q}(t) = 0,8158 - \frac{2,5108}{t}$	0,9916	0,9832	4,6001	821,1900
Конструкція ПДМЗ № 2 (дренаж, щебінь, вібрація)						
9	Експеримент 9 ($W_{зп}=13,0\%$)	$\dot{Q}(t) = 0,8706 - \frac{2,6429}{t}$	0,9984	0,9968	5,98	1894,6410
10	Експеримент 10 ($W_{зп}=12,5\%$)	$\dot{Q}(t) = 0,8706 - \frac{2,7318}{t}$	0,9902	0,9805	4,4139	904,4564

На основі отриманих рівнянь кореляційно-регресійних моделей (табл. 3), побудовані апроксимаційні криві експериментальних даних (рис. 5).



1, 2, 3, 4, 5 — Конструкція ПДМЗ № 2 (вологості земляного полотна відповідно 13,6 %, 13,1 %, 13 %, 13 %, 12,5 %); 6, 7, 8, 9, 10 — Конструкція ПДМЗ № 1 (вологості земляного полотна відповідно 11,4 %, 12 %, 11,3 %, 10,9 %, 11 %). Суцільна лінія — без вібрації, пунктирна лінія — з вібрацією

Рисунок 5 — Апроксимація експериментальних даних регресійними залежностями

Для уніфікації рівнянь, наведених у табл. 3, потрібно визначити залежність режиму роботи дренажних конструкцій від вологості земляного полотна $W_{зп}$.

Виходячи з експериментальних замірів вологостей земляного полотна $W_{зп}$ для кожного з експериментів були визначені коефіцієнти a і b для регресійних моделей, наведених у табл. 1 у вигляді функціональних залежностей:

$$\begin{cases} a(W_{зп}) = a_1 W_{зп} + b_1, \\ b(W_{зп}) = a_2 W_{зп} + b_2. \end{cases} \quad (6)$$

Підставивши експериментальні та розрахункові дані в (6) отримаємо:

– для конструкції ПДМЗ № 1, з вібрацією:

$$\begin{cases} 0,4766 = 11,1a_1 + b_1, \\ 0,4998 = 10,4a_1 + b_1 \end{cases} \Rightarrow a_1 = -0,0331; b_1 = 0,8445; \quad (7)$$

$$\begin{cases} -1,929 = 11,1a_2 + b_2, \\ -2,0083 = 10,4a_2 + b_2 \end{cases} \Rightarrow a_2 = 0,1133; b_2 = -3,1865; \quad (8)$$

$$\begin{cases} a(W_{зп}) = -0,0331W_{зп} + 0,8445, \\ b(W_{зп}) = 0,1133W_{зп} - 3,1865. \end{cases} \quad (9)$$

– для конструкції ПДМЗ № 2, з вібрацією:

$$\begin{cases} 0,8706 = 13a_1 + b_1, \\ 0,7753 = 11,3a_1 + b_1 \end{cases} \Rightarrow a_1 = 0,0561; b_1 = 0,1418; \quad (10)$$

$$\begin{cases} -2,6429 = 13a_2 + b_2, \\ -2,7318 = 11,3a_2 + b_2 \end{cases} \Rightarrow a_2 = 0,0523; b_2 = -3,3227; \quad (11)$$

$$\begin{cases} a(W_{зп}) = 0,0561W_{зп} + 0,1418, \\ b(W_{зп}) = 0,0523W_{зп} - 3,3227. \end{cases} \quad (12)$$

Аналогічним чином були визначені параметри $a(W_{зп})$, $b(W_{зп})$ для роботи установок без вібрації.

Таким чином, підставивши отримані вирази для $a(W_{зп})$, $b(W_{зп})$ у рівняння (табл. 3) отримаємо кореляційно-регресійні залежності для визначення інтенсивності водовідведення для кожної із дренажних конструкцій залежно від початкової вологості земляного полотна.

Для конструкції ПДМЗ № 1:

– без вібрації:

$$\dot{Q}(t) = \left(\frac{0,3887}{t} - 0,1367 \right) \cdot W_{зп} - \frac{6,0571}{t} + 1,9967; \quad (13)$$

– з вібрацією:

$$\dot{Q}(t) = \left(\frac{0,1133}{t} - 0,0331 \right) \cdot W_{зп} - \frac{3,1865}{t} + 0,8445; \quad (14)$$

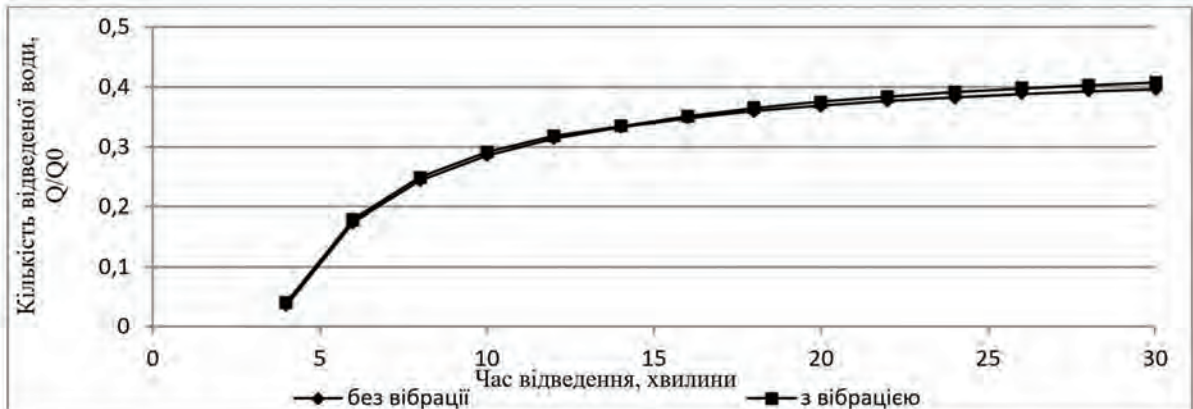
Для конструкції ПДМЗ № 2:

– без вібрації:

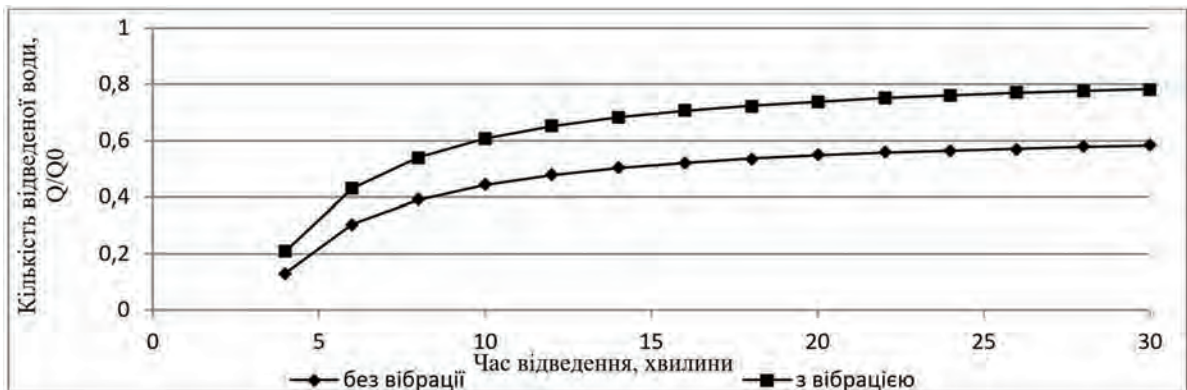
$$\hat{Q}(t) = \left(\frac{0,2543}{t} - 0,0965 \right) \cdot W_{3п} - \frac{5,3857}{t} + 1,9059; \quad (15)$$

– з вібрацією:

$$\hat{Q}(t) = \left(\frac{0,0523}{t} + 0,0561 \right) \cdot W_{3п} - \frac{3,3227}{t} + 0,1418. \quad (16)$$



а)



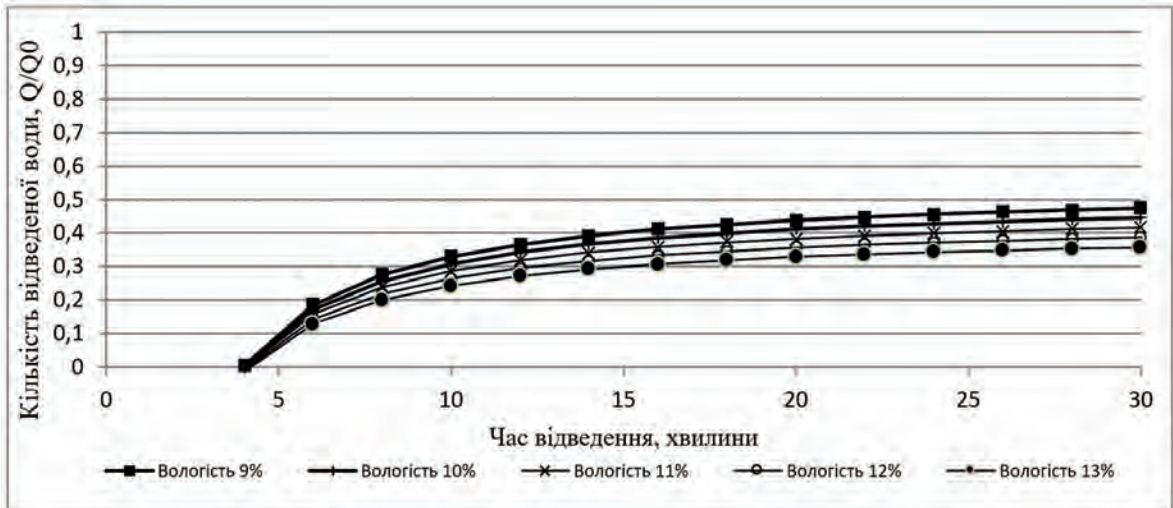
б)

Рисунок 6 — Залежність впливу вібрації на інтенсивність водовідведення на початковому етапі впливу вібрації: а) конструкція ПДМЗ № 1; б) конструкція ПДМЗ № 2

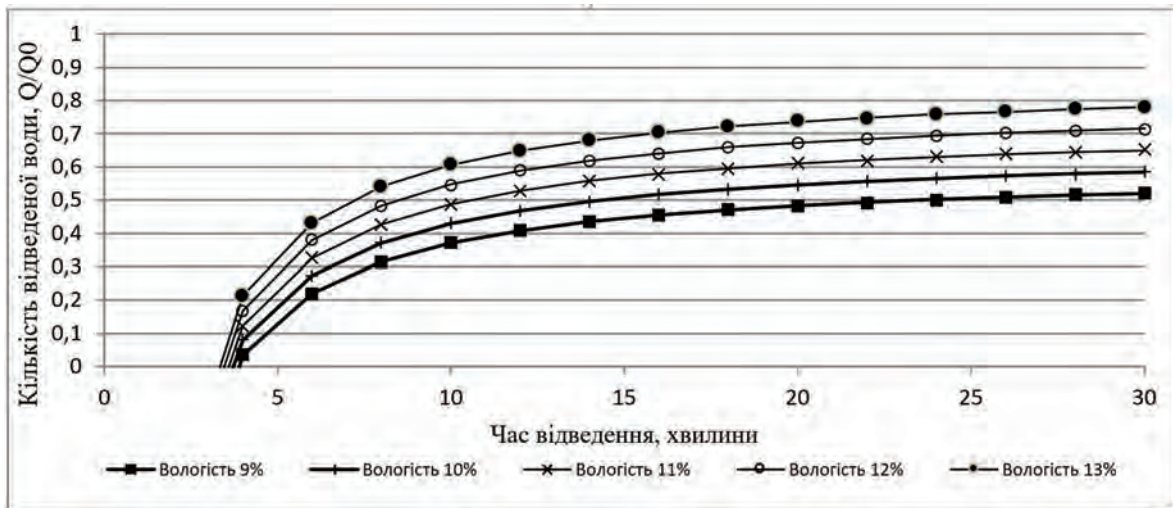
На основі отриманих залежностей було проведено серію числових експериментів із дослідження впливу вібрації на інтенсивність водовідведення дренажними установками залежно від вологості земляного полотна.

Зокрема, було досліджено залежність впливу вібрації на інтенсивність водовідведення на початковому етапі експлуатації дренажних конструкцій (рис. 6). Аналіз графіків (рис. 6) дозволяє зробити висновок, що на початковому етапі впливу вібрації для конструкції ПДМЗ № 1 інтенсивність водовідведення мало змінюється, тоді як для конструкції ПДМЗ № 2 цей вплив є більш суттєвим.

Відповідно до отриманих залежностей побудовані числові залежності інтенсивності водовідведення за різних значень вологостей ЗП.



а)



б)

Рисунок 7 — Часові залежності інтенсивності водовідведення при різних вологостях земляного полотна під впливом вібрації: а) конструкція ПДМЗ № 1; б) конструкція ПДМЗ № 2

Аналіз графіків функцій (рис. 6, рис. 7) показав, що за одних і тих самих значеннях аргументу (часу водовідведення) для конструкції ПДМЗ № 1 значення функції (кількість відведеної води) близькі один до одного (в межах 2–3 %), у випадку конструкції ПДМЗ № 2 — їх різниця є більш суттєвою (в межах 25 %). Це можна пояснити тим, що наповнювач траншеї в конструкції ПДМЗ № 2 має контактну структуру з більшим коефіцієнтом фільтрації порівняно з наповнювачем конструкції ПДМЗ № 1. Але слід зазначити, що за збільшення інтенсивності водовідведення під впливом вібрації в конструкції ПДМЗ № 2 відбувається більше замулювання ГСМ, що з часом може привести до зменшення його водопроникності (рис. 8).



Рисунок 8 — Стан ГСМ після проведення експериментальних досліджень в конструкції ПДМЗ № 2

Спостерігалось замулювання ГСМ, який був розложений на земляному полотні під дренажним щебневим шаром. Тому (якщо це передбачено проєктом) влаштовувати дренажні шари необхідно з митого щебеню з метою забезпечення необхідної інтенсивності водовідведення всієї дренажної конструкції, що вимагає додаткового часу для проведення наступних досліджень.

– побудувати та дослідити кореляційно-регресійні залежності для визначення інтенсивності водовідведення кожного типу конструкції ПДМЗ.

Висновки

1. Проведено моделювання впливу вібрації на дорожню конструкцію на основі параметру вібропереміщення, який відповідає дії від транспортних засобів. У результаті було визначено, що при русі легкових ТЗ з масою до 2 тонн зі швидкістю 60 км/год вібропереміщення складало до 0,003 мм; при русі вантажних ТЗ з масою більше 20 тонн та кількістю вісей 6 од. зі швидкістю 60 км/год — до 0,018 мм. Відповідно до проведених натурних вимірювань показників вібрації, було спроектовано та побудовано установку імітації вібрації (УІВ) від дії ТЗ. В процесі проведення експериментальних досліджень підбиралися параметри вібропереміщення, що відповідають легковому та великоваговому ТЗ.

2. Робота двох типів конструкцій ПДМЗ розглядалася при інтенсивності зливових опадів 5 % забезпеченості. Наведені результати дослідження інтенсивності водовідведення двох типів конструкцій ПДМЗ під впливом та без дії вібрації. Аналіз експериментальних досліджень дозволяє зробити висновок про те, що конструкція ПДМЗ № 2 з щебневим ядром відводить більшу кількість

води в середньому на 10 % без впливу вібрації, та на 14 % більше під впливом вібрації, за часом, відповідно, у 7 та 11 разів швидше, ніж конструкція ПДМЗ № 1 з трубчастою дренажною. Це дає підставу стверджувати про її більш високу ефективність роботи. Але порівнюючи відповідні типи конструкцій ПДМЗ між собою без дії вібрації та з нею, можна дійти висновку, що на інтенсивність водовідведення конструкції ПДМЗ № 1 вібрація майже не впливає за рахунок того, що труба ПВХ має подвійний захист — наповнювач з крупнозернистого піску та геотекстиль, який обгорнутий на тілі труби. Що стосується інтенсивності водовідведення конструкції ПДМЗ № 2, то дія вібрації її посилює за рахунок більшого коефіцієнта фільтрації наповнювача траншеї, але такий процес суттєво впливає на замулювання шару ГСМ в конструкції і відповідно на довговічність її роботи.

3. На основі представлених результатів отримано кореляційно-регресійні залежності для визначення інтенсивності водовідведення для кожної із дренажних конструкцій залежно від початкової вологості земляного полотна. Надійність та значимість регресійних моделей підтверджується показниками коефіцієнтів парної кореляції, детермінації та критеріїв Фішера. Це дає можливість адаптувати результати експериментальних досліджень до натурних умов при відомих змінах вологості ґрунту, з якого буде влаштовуватись ЗП.

Список літератури

1. Dawson A. Water in Road Structures: Movement, Drainage and Effects (Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering). *Springer Netherlands*. 2009. Volume 7. 464 p.
2. Slavinska O., Savenko V., Bubela A., Yaremov A. Investigation of the work of the road construction at the sites by pipedrenes from materials of different origin. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Volume 2, Issue 7-92. С. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126512> (дата звернення: 20.04.2020).
3. Agostinacchio M., Ciampa D., Olita S. The vibrations induced by surface irregularities in road pavements – a Matlab@approach. *European Transport Research Review*. 2014. Volume 6. P. 267–275. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12544-013-0127-8> (дата звернення: 20.04.2020).
4. Долгов Д.В. Влияние частоты и амплитуды вибрационного воздействия на характер деформационного поведения связанных грунтов. *Строительные и дорожные машины*. 2013. № 6. С. 45–47.
5. Довідник № 4. Кліматичні характеристики та кліматичне районування території України для регулювання водно-теплого режиму в дорожньому будівництві. *UKRAVTODOR: NTU*. 2018. 98 с. (Інформація та документація).
6. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб пособие для вузов. 9-е изд. Москва, 2003. 479 с.
7. Огірко О.І., Галайко Н.В. Теорія ймовірностей та математична статистика: навчальний посібник. Львів, 2017. 292 с.

References

1. Dawson A. Water in Road Structures: Movement, Drainage and Effects (Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering). *Springer Netherlands*. 2009. Volume 7. 464 p. [in English].
2. Slavinska O., Savenko V., Bubela A., Yaremov A. Investigation of the work of the road construction at the sites by pipedrenes from materials of different origin. *Eastern-European Journal of*

Enterprise Technologies. 2018. Volume 2, Issue 7-92. С. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126512> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

3. Agostinacchio M., Ciampa D., Olita S. The vibrations induced by surface irregularities in road pavements – a Matlab® approach. *European Transport Research Review*. 2014. Volume 6. P. 267–275. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12544-013-0127-8> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

4. Dolhov D.V. Vliyaniye chastoty i amplitudy vibratsionnogo vozdeystviya na kharakter deformatsionnogo povedeniya svyazannykh gruntov (Impact of frequency and amplitude of vibration on the nature of deformation behavior of bound soils). *Construction and road machines*. 2013. № 6. P. 45–47. [in Russian].

5. Dovidnyk № 4. Klimatychni kharakterystyky ta klimatychne rayonuvannya terytoriyi Ukrayiny dlya rehulyuvannya vodno-teplovoho rezhymu v dorozhn'omu budivnytstvi (Manual № 4. Climatic characteristics and climatic zoning of the territory of Ukraine for the regulation of water-thermal mode in road construction). *UKRAVTODOR: NTU*. Kyiv, 2018. 98 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

6. Hmurman V.E. Teoryya veroyatnostey y matematycheskaya statystyka: Ucheb posobye dlya vuzov (Probability theory and mathematical statistics: Manual for Universities). 9th Issue. Moscow, 2003. 479 p. [in Russian].

7. Ohirko O.I., Halaiko N.V. Teoriya ymovirnostey ta matematychna statystyka (Probability theory and mathematical statistics) : Manual. Lviv, 2017. 292 p. [in Ukrainian].

Olena Slavinska, D.Sc., Prof., <http://orcid.org/0000-0002-9709-0078>

Andrii Bubela, Ph.D., Associate Prof., <http://orcid.org/0000-0002-5619-003X>

Lyudmila Bondarenko, Ph.D., Associate Prof., <http://orcid.org/0000-0002-8239-065X>

Oleksandr Chechuha, Ph.D., Associate Prof., <http://orcid.org/0000-0003-1643-6354>

National Transport University, Kyiv, Ukraine

RESEARCH OF THE WORK OF SMALL DRAINAGE DRAINAGE ON THE INTENSITY OF DRAINAGE, TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF VIBRATION

Abstract

Introduction. A critical consequence of insufficient drainage and overwetting of the road structure is a reduction in its strength and bearing capacity due to decrease of the elasticity modulus of the subgrade soils and the pavement base layers. Attempts of sealing the road pavement are not always effective; the deterioration of its riding qualities during operation cannot reduce the intensity of water penetration into the road structure. It requires the arrangement of shallow drainage systems, especially on the overwettered road sections.

Issue statement. Shallow drainage systems are arranged in the working area of the subgrade, they are underground structures which makes it impossible to monitor their performance. Analysis of the research provided in the paper causes the need to identify the efficiency of shallow drainage systems performance, both by the intensity of drainage and under the impact of vibration from vehicles. The only way to solve this urgent issue is to conduct experimental research on large-scale models that maximally meet the field conditions.

Objective. The objective of this work is to study the performance of transverse shallow drainage systems (TShD) by the intensity of drainage taking into account the impact of vibration using the laboratory facility of the road structure.

Materials and methods. In the educational and scientific laboratory of the Department of Transport Construction and Property Management of the National Transport University, a series of studies of two types of shallow drainage systems with tubular drain covered with coarse sand and crushed stone core was carried out on an experimental facility of the road structure. The installation parameters correspond to the III and IV categories of the highway. In accordance with the field measurements of vibration indicators, the facility simulating the vibration from the vehicles was designed and built. The experiments were performed both with and without vibration impact from vehicles. The road structure facility is equipped with a rainfall simulation system which operated in the mode of rainfall intensity of 5 % precipitations.

Results. During the research, the modes of water flow formation were determined and the intensity of draining by a drainage trench with a tubular drain and by a drainage trench with a crushed stone core was measured. According to the results of measurements, the impact of vibration from the vehicles on two types of drainage systems was analyzed and correlation-regression dependencies to determine their drainage intensity depending on the initial humidity of the subgrade were obtained.

Conclusions. According to the results of experimental studies, the shallow drainage system with crushed stone core drains more water by an average of 10 % without vibration impact, and by 14 % more under the vibration impact, in time, respectively, in 7 and 11 times faster than the system with tubular drain. This confirms its higher efficiency. When comparing the respective types of drainage systems with each other without vibration and with it, it can be concluded that the intensity of drainage of the system with a tubular drain is almost not affected by vibration.

Keywords: vibration, road structure, shallow drainage, drainage layer, drainage pipe, crushed stone core.

УДК 332.64:625.7/.8

Харченко А. М., канд. тех. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0001-8166-6389>

Чечуга О. С., канд. тех. наук, доц., <http://orcid.org/0000-0003-1643-6354>

Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ГРОШОВОЇ ОЦІНКИ ЗЕМЕЛЬ ПРИ ЇХ ВІДВЕДЕННІ ПІД АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ В МЕЖАХ НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ

Анотація

Вступ. Пріоритетами держави щодо розвитку дорожньо-транспортного комплексу є запровадження так званого «Великого будівництва доріг», що обумовлює постійно зростаючу потребу у відведенні земельних ділянок для нового будівництва та реконструкції існуючих автомобільних доріг. Цей процес супроводжується здійсненням відчуження земельних ділянок різного виду права власності та призначення. Обов'язковою умовою процедури відчуження земельних ділянок є грошова оцінка земель, визначення якої має ряд особливостей для населених пунктів.

Проблематика. Існуючий механізм грошової оцінки земельних ділянок у населених пунктах при їх відведенні для цілей будівництва та реконструкції автомобільних доріг має дуже узагальнений характер, не враховує специфічні особливості процесу відведення таких ділянок та має ряд прогалин як у нормативно-правовій базі, так і у інформаційній та методичній основі оцінювання.

Мета. Метою дослідження є визначення недоліків та проблемних місць у здійсненні грошової оцінки земель при відведенні земельних ділянок для цілей будівництва та реконструкції автомобільних доріг межах населеного пункту, а також розробка пропозицій щодо удосконалення грошової оцінки земель.

Матеріали та методи. В дослідженні розглянуті комплексні методи здійснення грошової оцінки земельних ділянок населених пунктів, які ґрунтуються на експертному та нормативному методичних підходах, з урахуванням особливостей відчуження земельних ділянок для суспільних потреб.

Результати. Результатами роботи є алгоритм отримання земельних ділянок під будівництво автомобільних доріг та пропозиції щодо удосконалення грошової оцінки земель при відведенні для автомобільних доріг в межах населеного пункту.

Висновки. Реалізація запропонованого алгоритму отримання земельних ділянок під будівництво автомобільних доріг, пропозицій та розроблених послідовностей щодо удосконалення грошової оцінки земель при відведенні для автомобільних доріг в межах населеного пункту дозволить підвищити ефективність процесу оцінки та покращить якість інформаційної та методичної основи оцінювання земельних ділянок.

Ключові слова: автомобільна дорога, відчуження, населений пункт, оцінка земельних ділянок, суспільні потреби.

Вступ

Процес відведення земельних ділянок для будівництва нових автомобільних доріг і реконструкції існуючих супроводжується вирішенням комплексу земельних питань, важливими елементами якого є рентний характер використання та відчуження земель, обов'язковість компенсації власникам землі та землекористувачами нанесених збитків і заподіяних втрат при повному або частковому вилученні земельних ділянок чи обмеженні прав щодо розпорядження землею та її використання.

Важливою складовою у врегулюванні земельних відносин під час будівництва є визначення вартості земель, які підлягають відведенню. Оцінена вартість земельних ділянок детермінує ставки платежів до бюджету та розмір компенсації власникам землі й землекористувачам [1]. Визначення реальної справедливої вартості земельної ділянки — складна багатопараметрична задача, яка побудована на вирішенні протиріч, що виникають: між власниками землі і місцевими органами влади (коли мова йде про оподаткування); між покупцем і продавцем (коли здійснюється майнові операції); між місцевими органами влади та землекористувачами (коли визначається розмір компенсації) [2]. Особливо гостро ці протиріччя виникають при плануванні будівництва в населених пунктах. Окрім того, визначення вартості на основі нормативної оцінки земель додатково утруднене тим, що, на жаль, така оцінка виконана не для всіх населених пунктів та містить не завжди своєчасно оновлені дані. Окремою проблемою слід зазначити ще питання резервування земель для нового будівництва, створення придорожніх смуг та охоронних зон автомобільних доріг у межах населеного пункту.

Розробкою методології грошової оцінки земель у свій час займалися такі вчені як: І. Бистряков, В. В'юн, П. Гайдучий, Д. Добряк, А. Драпиковський, В. Месель-Веселяк, І. Михасюк, П. Мосіюк, Л. Новаковський, М. Олійник, А. Онищенко, О. Панчук, Б. Пасхавер, П. Саблук, В. Трегобчук, М. Федоров, А. Чупіс, В. Шиян, О. Шпичак, В. Юрчишин та ін. Дослідження таких науковців, як Т. Анопрієнко, Ю. Дехтяренко, М. Лихогруда, В. Мельничука, В. Кілочка, Н. Кузіна, Л. Сухомліна спрямовані на обґрунтування концепції розвитку земельних відносин, удосконалення методичних підходів до нормативної грошової оцінки земель населених пунктів, теоретичне узагальнення питань земельної ренти. Роботи В. Андрейцевого, Г. Балюка, А. Гетьмана, В. Гуревського, М. Краснової, П. Кулинича, М. Марчука, В. Мунтяна, В. Носіка, О. Погрібного, В. Семчика, Є. Суєтнова, Н. Титової, Ю. Шемшученка, М. Шульги присвячені дослідженням в галузі забезпечення майнових прав на земельні ділянки, але слід зазначити, що питанням забезпечення правового статусу земель, відведених під будівництво автомобільних доріг, науковцями приділено дуже мало уваги.

Таким чином, наукове та практичне обґрунтування заходів щодо удосконалення грошової оцінки земель під час планування розбудови автомобільних доріг в межах населеного пункту є актуальним питанням у сучасних соціально-економічних умовах.

Мета дослідження полягає у теоретичному узагальненні та визначенні недоліків грошової оцінки та розробленні практичних рекомендацій з удосконалення розрахунку грошової оцінки земельних ділянок населених пунктів для відведення під будівництво чи реконструкцію автомобільних доріг.

Основна частина

Регулювання земельних питань для потреб дорожнього господарства здійснюється згідно з Земельним Кодексом України [3], Закону України «Про автомобільні дороги» [4], Закону України «Про відчуження земельних ділянок, інших об'єктів нерухомого майна, що на них розміщені, які перебувають у приватній власності, для суспільних потреб» [5], Закону України «Про оцінку земель» [6] та ін. Цей процес супроводжується здійсненням грошової оцінки земельних ділянок, яка залежно від призначення та порядку проведення поділяється на нормативну і експертну згідно з [6]. Нормативну грошову оцінку земельних ділянок використовують для визначення розміру земельного податку, державного мита при міні, спадкуванні та даруванні земельних ділянок згідно з законом, орендної плати за земельні ділянки державної та комунальної власності, втрат сільськогосподарського та лісогосподарського виробництва, вартості земельних ділянок площею понад 50 гектарів для розміщення відкритих спортивних і фізкультурно-оздоровчих споруд, а також при розробці показників та механізмів економічного стимулювання раціонального використання та охорони земель. Експертна грошова оцінка земельних ділянок проводиться з метою визначення вартості об'єкта оцінки на дату оцінки. Окрім зазначених випадків, грошова оцінка є обов'язковою складовою усіх інвестиційних процесів.

Аналіз чинного законодавства дозволив визначити етапи отримання земельних ділянок під будівництво автомобільних доріг загальнодержавного значення (рис. 1).

Після погодження розташування автомобільної дороги з'ясується вид права власності на земельну ділянку. Якщо дана земельна ділянка належить на праві приватної власності, то процедура отримання земельної ділянки для цілей будівництва або реконструкції автомобільної дороги вибудовується згідно з [5]. При цьому орган виконавчої влади чи орган місцевого самоврядування, що прийняв рішення про відчуження земельної ділянки, повинен досягнути згоди з власником щодо її викупу для суспільних потреб, а у разі недосягнення — в одноособовому порядку приймає рішення про примусове відчуження земельних ділянок та інших об'єктів нерухомого майна, що на них розміщені, для цілей будівництва.

Наступним етапом проведення незалежної експертної грошової оцінки з метою повного відшкодування вартості земельної ділянки та інших об'єктів нерухомого майна, що на них розміщені, яка не може бути нижчим за ринкову вартість відповідної земельної ділянки та нерухомого майна. Якщо власник земельної ділянки не погоджується з розміром відшкодування, то питання розміру відшкодування вирішується в судовому порядку.

Слід зазначити, що законодавство щодо відчуження земельних ділянок із приватної власності для суспільних потреб визначає лише загальні положення та не передбачає конкретний механізм реалізації. Зокрема, не враховується проблематика розміщення об'єктів інфраструктури в населених пунктах, де земельні ділянки розроблені та можуть належати як на праві приватної власності особам, так і знаходитися у користуванні або в оренді. Крім того, утрудненим та багатофакторним є процес визначення викупної ціни з урахуванням упущеної вигоди від примусового відчуження земельних ділянок, інших об'єктів нерухомого майна, що на них розміщені, для цілей будівництва. На практиці ця проблематика призводить до численних судових спорів стосовно розміру визначеної викупної ціни чи розміру упущеної вигоди, що значно затримує процес отримання земельної ділянки.

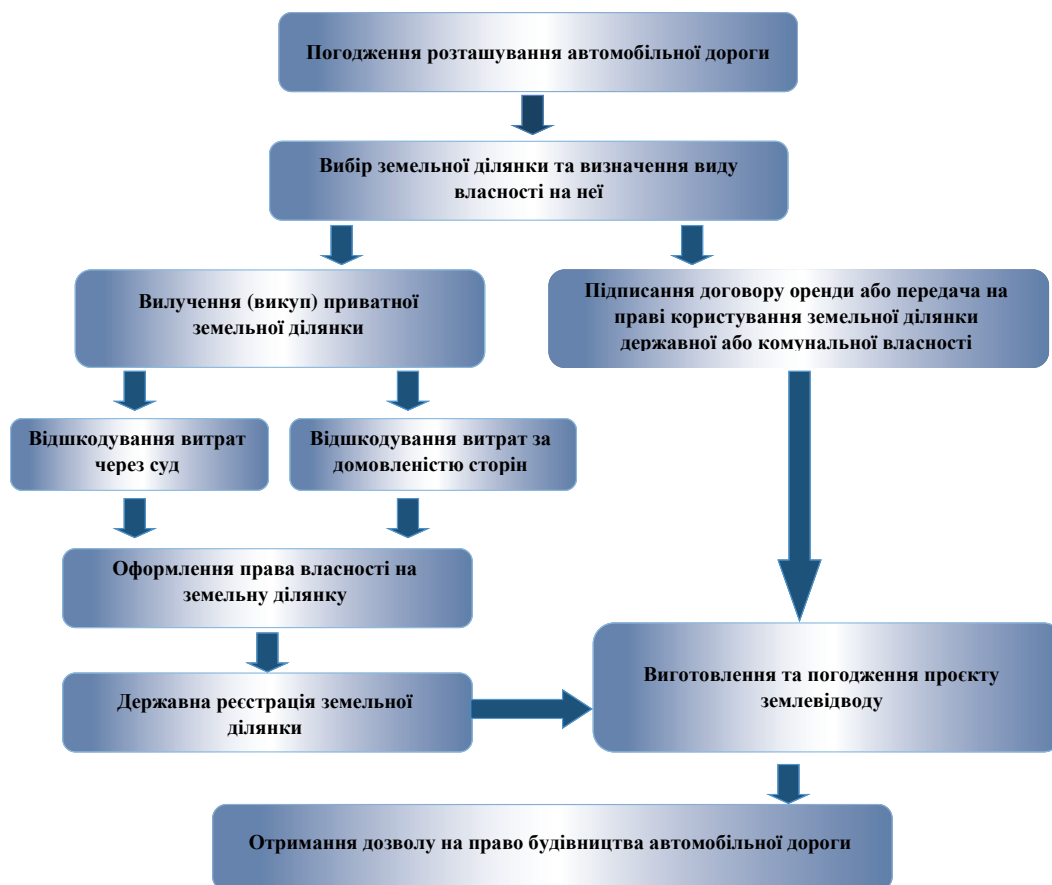


Рисунок 1 — Алгоритм отримання земельних ділянок під будівництво автомобільних доріг

Попередньо визначене експертним шляхом повне відшкодування вартості земельної ділянки та розміщеного на ній нерухомого майна у грошовій формі здійснюється шляхом внесення органом виконавчої влади чи органом місцевого самоврядування, що прийняв рішення про відчуження земельної ділянки, коштів на депозит нотаріальної контори в порядку, встановленому законодавством, за місцем розташування земельної ділянки, або перерахування коштів на зазначений власником банківський рахунок. При цьому право власності на земельну ділянку та інші об'єкти нерухомого майна переходить до держави чи територіальної громади. Після чого проводиться державна реєстрація права власності на земельну ділянку. З моменту переходу до держави або територіальної громади права власності на земельну ділянку, відчужену для суспільних потреб чи з мотивів суспільної необхідності, право оренди, емфітевізису, суперфіцію щодо неї припиняється.

Використання та розпорядження викупленою земельною ділянкою, іншими об'єктами нерухомого майна, що на ній розміщені здійснюються в порядку, встановленому [5], для забезпечення суспільних потреб, що стали підставою для викупу таких об'єктів.

У випадку відчуження земельних ділянок державної або комунальної власності, що знаходяться у користуванні або оренді, відбувається підписання договору оренди або передача на праві користування земельної ділянки для цілей будівництва або реконструкції автомобільної дороги. У такому випадку здійснюється інвентаризація земельних ділянок та розміщеного на них

нерухомого майна з можливою передачею іншому балансоутримувачу. Процес інвентаризації включає й процедуру переоцінки вартості земельних ділянок та розміщеного на них нерухомого майна. Така процедура може мати різноманітний характер та залежить від багатьох факторів. Зокрема, необхідно встановити відповіді на наступні питання: чи буде відбуватися зміна призначення земельної ділянки або балансоутримувача, чи буде змінюватися вид права власності, на якій правовій основі буде використовуватися дана ділянка, чи потребує суттєвих змін землевпорядна документація та ін.

Порядок визначення грошової вартості земельних ділянок прописаний у [6]. У випадку проведення нормативної грошової оцінки земельної ділянки в межах населеного пункту слід застосовувати розроблену для об'єктів дорожнього господарства методику [7–8], яка включає наступні етапи:

1. Визначення витрат на освоєння та облаштування території, що визначають за Довідником показників нормативної грошової оцінки земель населених пунктів Держгеокадастру згідно з технічною документацією з нормативної грошової оцінки земель населених пунктів, затвердженої відповідними сільськими, селищними, міськими радами.
2. Визначення коефіцієнту, який характеризує функціональне використання земельної ділянки.
3. Визначення коефіцієнту, який характеризує місцеположення земельної ділянки, з урахуванням регіональних, зональних та локальних чинників.
4. Визначення коефіцієнтів індексації нормативної грошової оцінки земельних ділянок.
5. Визначення грошової вартості земельної ділянки.

Головними недоліками визначення нормативної грошової оцінки є те, що поділ території на оціночні райони — економіко-планувальне зонування території багатьох населених пунктів здійснювався методом об'єднання оціночних районів у економіко-планувальні зони, які не переглядалися довгий час, отже, визначені коефіцієнти місцеположення є недостовірними, а несвоєчасне проведення нормативної грошової оцінки призводить до низької базової вартості землі за квадратний метр у населеному пункті. Також, слід зазначити, що визначення базової вартості землі побудоване не на ринковій інформаційній основі і не враховує кон'юнктури ринку землі [9].

Основними шляхами мінімізації недоліків проведення нормативної грошової оцінки земель населених пунктів є (рис. 2) [9]:

1. Спрощення та прозорість механізму розрахунків нормативної грошової оцінки земель та окремих земельних ділянок населених пунктів.
2. Встановлення та затвердження нормативів рентного доходу територій населених пунктів.
3. Встановлення та диференціація нормативів рентного доходу від землі для окремих груп населених пунктів та залежно від факторів антропогенного впливу.
4. Визначення ставки капіталізації з урахуванням реальних показників доходності від володіння, користування та розпорядження земельними ділянками в межах населених пунктів з урахуванням умов, що склалися на ринку капіталу.
5. Приведення інформаційної бази виконання нормативної грошової оцінки до реальних ринкових умов.
6. Врахування особливостей проведення нормативної оцінки населених пунктів різного статусу.
7. Встановлення чітких термінів дії технічної документації з нормативної грошової оцінки.

Послідовність реалізації необхідних змін до методики та процедури нормативної грошової оцінки населених пунктів така (рис. 2) [9]:

1. Виконати аналіз стану розвитку населених пунктів та визначити значення параметрів витрат на освоєння та облаштування території населеного пункту в розрахунку на 1 м^2 (грн). Прописати чітку методичну послідовність виконання розрахунків параметрів витрат.

2. Виконати обґрунтування змін у формулі розрахунку нормативної грошової оцінки земель населених пунктів, зокрема, згідно з твердженнями [9] необхідна заміна показника витрат на освоєння та облаштування території на показник рентного доходу.

3. Визначити кореляційний зв'язок між величиною показника витрат і величиною рентного доходу, з одного боку, та чисельністю населення населеного пункту — з іншого боку.

4. Розробити методичні підходи для визначення норми капіталізації рентного доходу.

5. Скоригувати формулу розрахунку нормативної грошової оцінки квадратного метра земельної ділянки з урахуванням наданих пропозицій.

Реалізація приведені послідовності удосконалення процедури виконання нормативної грошової оцінки земель населених пунктів при відведенні земельних ділянок під будівництво або реконструкцію автомобільних доріг дозволить привести нормативну грошову оцінку до сучасних ринкових вимог та підвищить ефективність методики визначення вартості.



Рисунок 2 — Послідовність удосконалення процедури виконання нормативної грошової оцінки земель населених пунктів (адаптовано з [9])

Висновки

Процес відведення земельних ділянок для цілей будівництва та реконструкції автомобільних доріг супроводжується грошовою оцінкою, яка для населених пунктів, в умовах сьогодення, має дуже узагальнений характер та не враховує специфічні особливості процесу відведення таких ділянок, має недоліки та протиріччя у нормативно-правовій, інформаційній та методичній базі.

Розроблений алгоритм отримання земельних ділянок під будівництво автомобільних доріг і пропозиції щодо удосконалення грошової оцінки земель при відведенні для будівництва та реконструкції автомобільних доріг у межах населеного пункту мають на меті підвищення ефективності процесу оцінки та покращення якості інформаційної та методичної основи оцінювання земельних ділянок і будуть покладені у подальші дослідження в цьому напрямку.

Список літератури

1. Податковий Кодекс України від 17.11.2011 № 4057-VI // База даних Законодавство України/ Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17> (дата звернення 01.04.2020).
2. Новаковська І.О., Стецюк М.П., Іщенко Н.Ф. Сучасний стан нормування відведення земельних ділянок для потреб автомобільного транспорту. *Сучасні питання економіки і права*. Київ, 2019. Вип. 1 (9). С. 134-144.
3. Земельний кодекс України від 25.10.2001. № 2768-III // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2768-14> (дата звернення 01.04.2020).
4. Про автомобільні дороги: Закон України від 08.09.2005 № 2862-IV // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2862-15> (дата звернення 01.04.2020).
5. Про відчуження земельних ділянок, інших об'єктів нерухомого майна, що на них розміщені, які перебувають у приватній власності, для суспільних потреб від 17.11.2009 № 1559-VI // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1559-17>.
6. Про оцінку земель від 11.12.2003 № 1378-IV // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/ru/1378-15> (дата звернення 01.04.2020).
7. МР Д 1.2-37641918-884:2017 Методичні рекомендації з проведення вартісної оцінки автомобільних доріг і споруд на них. Київ, 2017. 92 с. (Інформація та документація).
8. Slavinska, O., Savenko, V., Kharchenko, A., Bubela, A. Development of mathematical model of valuation of road transport assets as a composition information and management system. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. United Kindom, 2017. Vol.90. P. 43-56.
9. Лихогруд О.М. Удосконалення нормативної грошової оцінки населених пунктів в сучасних умовах. *Теорія і практика природокористування*. Київ, 2015. Вип. 3. С. 26-29.

References

1. Podatkovyi kodeks Ukrainy of 02.02.2010 N 2755-VI // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17> (Last accessed: 29.04.2020).
2. Novakovskaya I, Stetsyuk M, Ishchenko N. Suchasnyi stan normuvannia vidvedennia zemelnykh dilianok dlia potreb avtomobilnoho transport (The current state of regulation of land allocation for the needs of road transport). *Modern issues of economics and law*. Kiev, 2019. Issue. 1 (9). P. 134-144. [in Ukraine].
3. Land Code of Ukraine of October 25, 2001. № 2768-III // Database Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2768-14> (Zemelnyi kodeks Ukrainy vid 25.10.2001. № 2768-III // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy/Verkhovna rada Ukrainy. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2768-14> (Last accessed: 20.04.2020) [in Ukrainian].
4. Pro avtomobilni dorohy: Law of Ukraine of 08.09.2005 N 2862-IV // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2862-15> (Last accessed: 01.04.2020) [in Ukrainian].
5. Pro vidchuzhennia zemelnykh dilianok, inshykh ob'ektiv nerukhomoho maina, shcho na nykh rozmishcheni, yaki перебувають у приватній власності, для суспільних потреб : Law of Ukraine of 17.11.2009 N 1559-VI // Database Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1559-17> (Last accessed: 20.04.2020) [in Ukrainian].
6. Pro otsinku zemel: Law of Ukraine of 11.12.2003 N 1378-IV // Database Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/ru/1378-15> (Last accessed: 20.04.2020) (vid 11.12.2003 № 1378-IV // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL:<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/ru/1378-15> (Last accessed: 20.04.2020) [in Ukrainian].
7. Metodychni rekomendatsii Methodical recommendations (MR D 1.2-37641918-884:2017) Metodychni rekomendatsii z provedennia vartisnoi otsinky avtomobilnykh dorih i sporud na nykh (Methodical recommendations are from the leadthrough of cost estimation of highways and buildings on them). Kyiv, 2017. 92 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
8. Slavinska O., Savenko V., Kharchenko A., Bubela A. Development of mathematical model of valuation of road transport assets as a composition information and management system. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. United Kindom, 2017. Vol. 90. P. 43-56 [in English].
9. Likhogryd O. Udoshkonalennia normatyvnoi hroshovoi otsinky naselenykh punktiv v suchasnykh umovakh (Improving the normative monetary valuation of settlements in modern conditions). *Theory and practice of nature management*. Kiev, 2015. N 3. P. 26-29 [in Ukrainian].

Anna Kharchenko, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0001-8166-6389>

Oleksandr Chechuha, Ph.D., Associate Prof., <http://orcid.org/0000-0003-1643-6354>

National Transport University, Kyiv, Ukraine

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR IMPROVING THE MONETARY VALUE OF LAND AT THEIR ALLOCATION FOR ROADS WITHIN THE SETTLEMENT

Abstract

Introduction. The state's priorities for the development of the road transport complex are the introduction of the so-called «Great Road Construction», which causes an ever-increasing need to allocate land for new construction and reconstruction of existing roads. This process is accompanied by the implementation of the alienation of land of various ownership types and purpose. A prerequisite for the procedure of land expropriation is land monetary valuation, the definition of which has a number of features for settlements.

Problems. The existing mechanism of monetary valuation of land plots in settlements when allocating them for the purposes of construction and reconstruction of roads is very generalized, does not take into account the specifics of the process of such plots allocation and has a number of gaps in the legal framework and information and methodological basis.

Goal. The purpose of the study is to identify shortcomings and problems in the implementation of monetary valuation of land in the allocation for roads construction and reconstruction within the settlement, as well as the development of proposals to improve the monetary valuation of land.

Materials and methods. The study considers complex methods of monetary valuation of settlements land plots, which are based on expert and normative methodological approaches, taking into account the peculiarities of the alienation of land for public needs.

Results. The results of the work are algorithm for obtaining land for road construction and proposals to improve the monetary valuation of land in the allocation of roads within the settlement.

Conclusions. Implementation of Implementation of the proposed algorithm for obtaining land for road construction, proposals and developed sequences for improving the monetary valuation of land in the allocation of roads within the settlement will increase the efficiency of the valuation process and improve the quality of information and methodological basis for land valuation.

Key words: land valuation, roads, alienation, public needs, settlement.

УДК 626/627

Башкевич І. В.,¹ канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0001-7640-4317>

Корецький А. С.,¹ канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0003-0307-0306>

Онищенко А. М.,¹ д-р. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

Островець Б. М.,² канд. техн. наук, ст. наук. співр., <https://orcid.org/0000-0002-3373-5535>

Потапенко Л. С.,² <https://orcid.org/0000-0002-1303-7801>

¹ Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

² Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ, Україна

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ХВИЛІ ПРОРИВУ ГРЕБЛІ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ ТРАНСПОРТНОЇ СПОРУДИ

Анотація

Вступ. Під час складання техніко-економічного обґрунтування проектно-кошторисної документації ремонту мостового переходу через р. Кунка ділянки автомобільної дороги М-12 Стрий – Тернопіль – Кропивницький – Знам'янка (через Вінницю) у зв'язку із близькістю низки водосховищ, які утворені греблями застарілої конструкції з підвищеним напором та високою ймовірністю пошкодження мостового переходу від утворення та проходження хвилі прориву, виникла проблема розробки заходів забезпечення переїзду через мостовий перехід.

Чинниками гідродинамічної небезпеки порушення стану гідротехнічних споруд для ділянки дороги та мостового переходу (МП) може бути розташування об'єкта інфраструктури у нижньому б'єфі греблі, де внаслідок як природних, так і техногенних та інших факторів можуть виникнути такі події, як, наприклад, пропуск катастрофічної повені чи руйнування греблі через зменшення її міцності.

Проблематика. Аналіз інформаційних джерел щодо розрахунку параметрів хвилі прориву показав, що методика недостатньо розроблена та визначається інженерними формулами.

Мета. Виконати математичне моделювання параметрів прориву греблі, проаналізувати її вплив на конструкцію мостового переходу та розробити рекомендації про захисні заходи.

Методи дослідження. Математичне моделювання з використанням рівнянь нерозривності та руху рідини, рівняннями збереження маси, імпульсу та енергії.

Результати. Результати розрахунків свідчать, що створ переходу у нижньому б'єфі варто розташовувати від греблі на відстані більше $20 \cdot H_n$ (напір хвилі прориву H_n може складати до 9 м).

Каскадне розташування декількох водосховищ вимагає розрахунку з урахуванням можливості послідовного прориву декількох гребель, який було проведено на базі створеної математичної моделі.

Згідно з вимогами нормативних документів і проведеним модельним розрахункам, можливість утворення хвилі прориву вимагає перенесення автомобільної траси мінімум на 200 м від греблі.

Висновки. На базі проведених розрахунків та аналізу кінематики та морфодинаміки потоків у створі проєктованого мосту на етапі ремонту, розроблені рекомендації про необхідні компоновочні та конструктивні захисні заходи.

Ключові слова: гідроморфодинаміка, гребля, прорив, русло, числове моделювання.

Вступ

Чинниками гідродинамічної небезпеки порушення стану гідротехнічних споруд для ділянки дороги та мостових переходів у нижньому б'єфі греблі можуть бути як природні, так і техногенні (наприклад, руйнування греблі через зменшення її міцності) та інші фактори. Руйнування (прорив) гідротехнічної споруди є багатофакторним процесом і виникає внаслідок дії різноманітних сил природи (землетруси, буревії, повені, зливи та інші гідрометеофактори, навіть розмиви внаслідок концентрованої фільтрації через нори тварин тощо), або діяльності людини (транспорт, масштабне бомбування, диверсії), або через конструктивні дефекти (неякісні матеріали, тріщини), або помилки при проєктуванні. Методика розрахунку параметрів хвилі прориву недостатньо розроблена та визначається інженерними формулами [1, 2, 7, 8].

За своєю фізичною сутністю хвиля прориву — це неконтрольований рух потоку суміші води та мулу, при якому глибина, ширина, нахил поверхні і швидкість плинину змінюються в часі [3–8]. При цьому визначаються параметри трансформації хвилі прориву (пропуску) на задану відстань L від греблі залежно від топографії місцевості та інших перепон.

Для складання просторової моделі поширення хвилі прориву слід скористатися кресленнями планового розташування греблі та автодороги із залученням висотної зйомки, яка позначена відмітками та ізолініями.

Висота хвилі прориву і швидкість її поширення залежить від обсягу й глибини водоймища, площі дзеркала водного басейну, розмірів прориву, різниці рівнів води у верхньому і нижньому б'єфах, гідрологічних і топографічних умов русла ріки та її заплав. У районі нульового створу (тіла греблі) висоту хвилі прориву $H_{\text{но}}$ визначають за формулами додатка 5.3 [2].

Основна частина

Теорія моделювання руху хвилі прориву. Обчислення прориву греблі під дією природних чи техногенних катастрофічних навантажень є складною математичною задачею, оскільки первісно контактне середовище, яке складається з водосховища, донного намула та ґрунтового тіла греблі, що мають різні фізико-механічні властивості, після катастрофічного прориву греблі перетворюється на неоднорідну водно-ґрунтову суміш. У разі введення деяких спрощень, що не впливають на кінцевий результат проривних течій, є можливість сформулювати постановку задачі для проведення числових розрахунків.

Для цього можливе застосування сучасних програмних систем, наприклад програмний комплекс OpenFOAMinCDF, що є у вільному користуванні [2], але вимагає проведення додаткових перетворень для задоволення граничних умов.

У рамках задачі рух ґрунтової суміші розглядається у вигляді в'язкої рідини, який описується диференціальними рівняннями нерозривності та руху, рівняннями збереження маси, імпульсу та енергії. У тривимірній системі керуючі рівняння механіки рідкого середовища можуть бути записані у диференціальній формі, що складається у такій системі рівнянь:

- збереження маси:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0, \quad (1)$$

- збереження кількості руху:

$$\frac{\partial \rho \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) = \rho \mathbf{g} + \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma}, \quad (2)$$

– збереження енергії:

$$\frac{\partial \rho e}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho e \mathbf{u}) = \rho g \mathbf{u} + \nabla \cdot (\boldsymbol{\sigma} \mathbf{u}) - \nabla \cdot \mathbf{q} + \rho Q, \quad (3)$$

де ρ — щільність рідини;
 \mathbf{u} — тривимірне поле швидкості;
 $\boldsymbol{\sigma}$ — тензор напруження зсуву;
 e — повна питома енергія;
 Q — джерело енергії обсягу;
 \mathbf{q} — тепловий потік;
 g — вектор прискорення сили тяжіння.

Ця система з трьох рівнянь невизначена, оскільки кількість невідомих змінних більше, ніж кількість рівнянь. Для ньютонівської, нестисливої (ρ постійне) та ізотермічної рідини система рівнянь (1), (2) і (3) може бути спрощена до вигляду:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{u} \mathbf{u}) = \mathbf{g} - \nabla p + \nabla \cdot (v \nabla \mathbf{u}), \quad (5)$$

де v — кінематична в'язкість;
 p — кінематичний тиск.

Помноживши рівняння імпульсу на щільність рідини, отримаємо остаточну форму рівнянь нерозривності та імпульсу для однорідного поля рідини у вигляді:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial \rho \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) = -\nabla P + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \rho \mathbf{g} + F, \quad (7)$$

де P — тиск ($P = p \rho$);
 $\boldsymbol{\tau}$ — тензор в'язкістних напружень;
 F — джерело імпульсу відносно поверхневого натягу:

$$F = \int_{S(t)} \sigma \kappa \mathbf{n}' \delta(\mathbf{x} - \mathbf{x}') dS, \quad (8)$$

де κ — кривизна;
 \mathbf{n} — нормальний вектор контактної поверхні.

Член в'язкого напруження можна змінити за допомогою формули закону Ньютона, щоб отримати більш зручний вигляд. Остаточна форма цього члену є такою:

$$\nabla \cdot \boldsymbol{\tau} = \nabla \cdot \left(\mu \left[\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T \right] \right) = \nabla \cdot (\mu \nabla \mathbf{u}) + (\nabla \mathbf{u}) \cdot \nabla \mu. \quad (9)$$

Градiєнт модифікованого тиску визначається як:

$$\begin{aligned} \nabla p^* &= \nabla P - \nabla (\rho \mathbf{g} \cdot \mathbf{x}) \\ &= \nabla P - \rho \mathbf{g} - \mathbf{g} \cdot \mathbf{x} \nabla \rho. \end{aligned}$$

Для того, щоб визначити, яку частину осередку займає в'язка рідина, а яку — повітря:

$$\alpha(x, y, z, t) = \begin{cases} 1 & \text{— для зони } (x, y, z, t), \text{ зайнятій} \\ & \text{рідиною 1} \\ 0 < \alpha < 1 & \text{— для зони } (x, y, z, t) \text{ контакту} \\ 0 & \text{— для зони } (x, y, z, t), \text{ зайнятій} \\ & \text{рідиною 2} \end{cases} \quad (10)$$

На поверхні розділу неоднорідностей виконуються контактні умови.

Переніс індикаторної функції у часі визначається рівнянням адвекції:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha \mathbf{u}) = 0. \quad (11)$$

Рівняння (11) показує, що в нестисливій рідині збереження маси еквівалентно збереженню об'єму і, отже, спостерігається збереження функції α . Властивості локальної рідини (ρ і μ), яка є сумішшю фізичних властивостей обох рідин (індекси 1 та 2 позначають різні рідини) визначаються рівняннями:

$$\rho = \alpha \rho_1 + (1 - \alpha) \rho_2, \quad (12)$$

$$\mu = \alpha \mu_1 + (1 - \alpha) \mu_2. \quad (13)$$

Збереження фазової функції має важливе значення, особливо у випадку рідин з високою щільністю, де невеликі похибки у об'ємній частині створюють значні похибки у фізичних властивостях. Введемо додатковий термін у функцію фазового розмежування, а саме член штучного стиснення у вигляді рівняння транспортування:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha \bar{\mathbf{u}}) + \underbrace{\nabla \cdot [\mathbf{u}_r \alpha (1 - \alpha)]}_{\text{Artificial compression term}} = 0, \quad (14)$$

де $\mathbf{u}_r = \mathbf{u}_1 - \mathbf{u}_2$ — вектор відносної швидкості між двома рідинами, який також називають швидкістю стиснення, та є середньою швидкістю, розрахованою усередненою швидкістю між двома рідинами:

$$\bar{\mathbf{u}} = \alpha \mathbf{u}_1 + (1 - \alpha) \mathbf{u}_2.$$

Постановка задачі і вихідні дані. В межах цього дослідження проведено тестовий розрахунок катастрофічного прориву греблі за математичною моделлю миттєвого руйнування в рамках плоскої двомірної хвилі. Для проведення розрахунків була створена система програм на базі комплексу OpenFOAMinCDF, що є у вільному користуванні шляхом адаптації розрахункової сітки, граничних та початкових умов для реалізації використання багатофазового розрешувача interFoam.

Відстань між трасою дороги та греблею складає 30 м, що неприпустимо згідно з чинними нормами проектування [1–3], оскільки виникає можливість розмиву насипу автомобільної дороги та МП в зоні гашення енергії хвилі прориву.

Моделювання руху водно-грунтового потоку при прориві греблі описується рухом в'язкої рідини з вільною поверхнею з наступними параметрами:

- динамічна в'язкість водно-грунтової суміші $\nu = 1 \text{ Па} \cdot \text{с}$;
- в'язкість водно-грунтової суміші $\nu = 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$;
- в'язкість повітря $\nu = 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$;
- відмітка дамби 199 м, відмітка дороги 197 м;
- ширина греблі ставка $L = 100 \text{ м}$, відстань від дамби до дороги $l_d = 33 \text{ м}$, ширина насипу дороги $B_d = 40 \text{ м}$.

На даний час відсутні достатні топографічні, гідрологічні та геологічні дані для проведення розрахунків отвору МП.

Вивчення топографії місцевості показало, що траса дороги перетинає постійний водотік р. Кунка в межах с. Кунка з достатньо великою площею водозбору до створу МП. Визначення площі водозбору р. Кунка до греблі с. Кунка на трасі М-12 (ділянка Вінниця – Гайсин) пікет 475+034 км проведено за допомогою програмного забезпечення QGIS [10], що дало площу водозбору в розмірі $S = 133,23 \text{ км}^2$ (рис. 1). По аналогії з прикладом, який наведено в додатку 2 [1] об'єм водосховищ складає приблизно $V = 1,2 \cdot 10^6 \text{ м}^3$, а витрата хвилі прориву греблі ставка може скласти $Q = 740 \text{ м}^3/\text{с}$.

Результати математичного моделювання в рамках плоскої задачі наведені на рисунках 2–5, де методом фазових кольорів позначено водно-грунтова суміш- червоний колір, повітря — синій колір, насип автотраси — сірий колір. Лінійні розміри показані в масштабі 1:10 .

Показано, що в умовах близького розташування дороги та мостового переходу, коли може бути порушено протікання витрат матеріалів прориву через отвір МП внаслідок утворення ґрунтового затору, відбувається перелив хвилі прориву висотою до 2 м через автотрасу та МП з утворенням катастрофічної зони розмиву ділянки траси автодороги та самого мосту. Приблизно така сама висота хвилі прориву пройде через заплаву частину дороги обох берегів річки. Більш точно параметри хвилі прориву може бути отримано в рамках більш складної тривимірної постановки задачі.

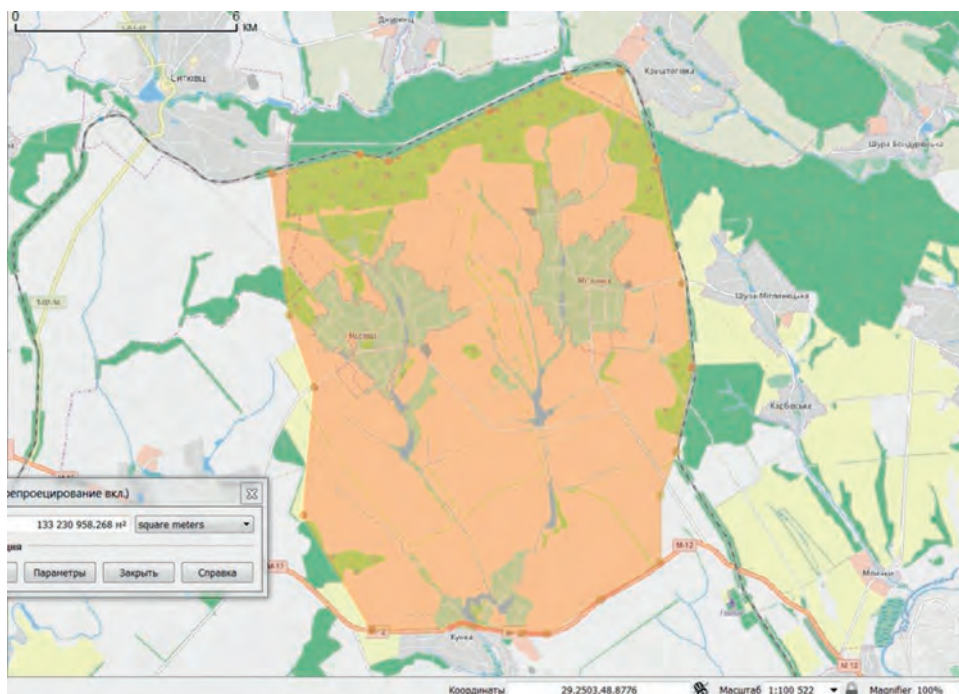


Рисунок 1 — Схема розрахунку площі водозбору р. Кунка та притоків

Також, проведено математичне моделювання руху потоку водно-грунтової суміші у випадку, коли частина потоку проходить на ділянці мостового переходу з отвором під мостом висотою до 3 м. Результати моделювання наведені на рисунках 6–10. За результатами обчислення видно, що і в цьому випадку також не можна виключати перелив через насип автодороги хвилі прориву, якщо врахувати просторове стиснення потоку річищем потоків із заплави. У режимі постпроцесорної обробки даних можна отримати швидкості потоку та тиск на конструкцію мосту.

Таким чином, проведений модельний розрахунок свідчить, що хвиля прориву створює значну загрозу для автодорожнього насипу, мостового переходу та дорожнього полотна.

Слід звернути увагу, що паралельна автомобільній трасі залізнична колія ділянки Вінниця – Гайсин – Черкаси проведена по водорозділу басейну р. Кунка (рис. 1) з урахуванням найменшого обсягу земляних та дорожніх робіт та уникнення небезпечної дії хвилі прориву.

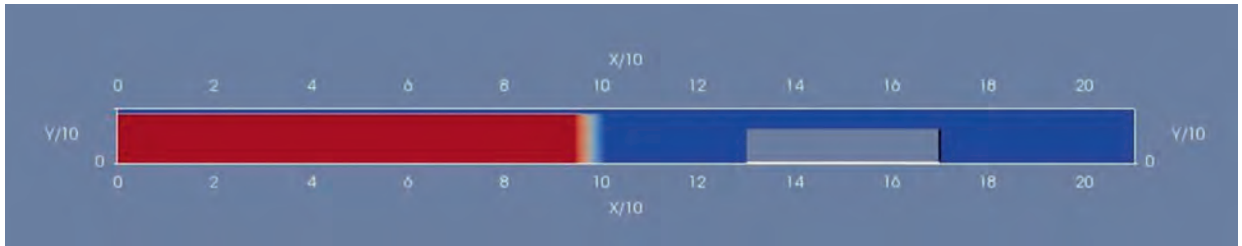


Рисунок 2 — Модель прориву греблі в початковий момент $t = 0$ с

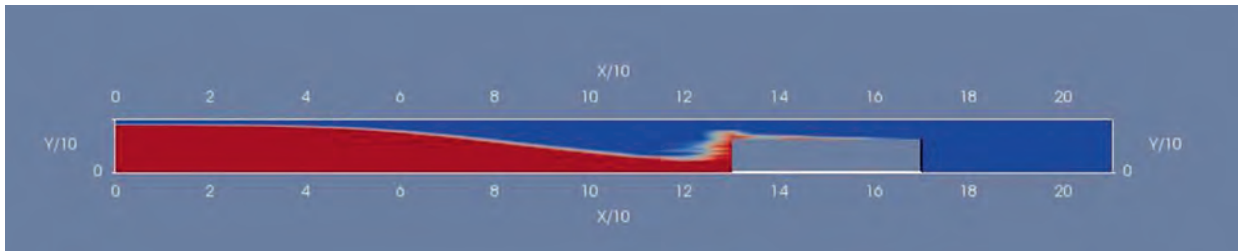


Рисунок 3 — Модель прориву греблі через $t = 5$ с

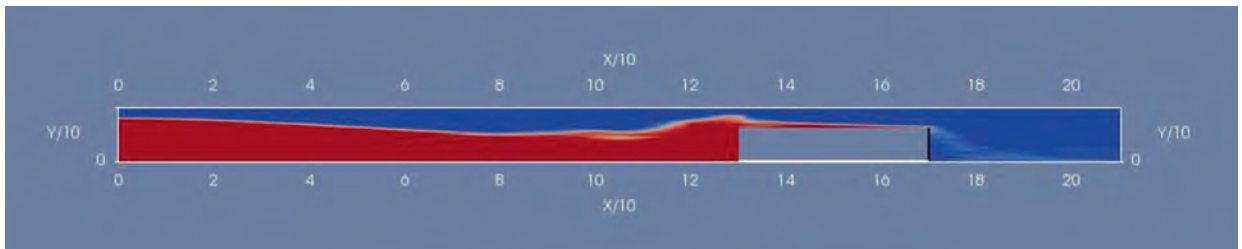


Рисунок 4 — Модель прориву греблі через $t = 10$ с

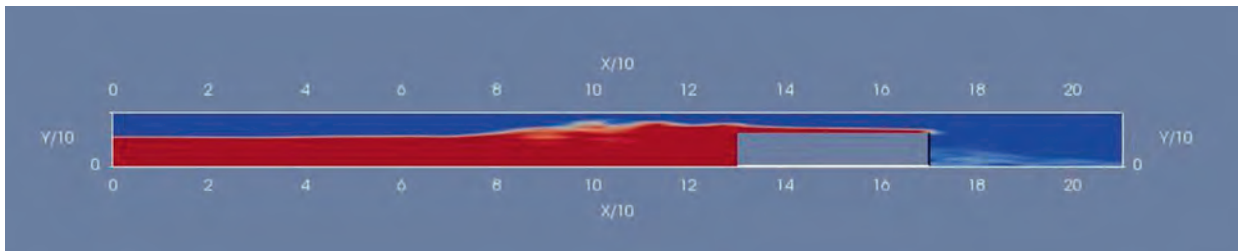


Рисунок 5 — Модель прориву греблі через $t = 15$ с

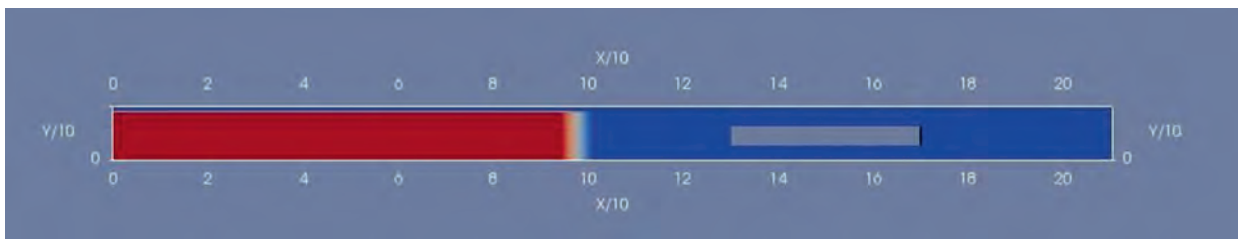


Рисунок 6 — Модель прориву греблі зі збільшеною висотою отвору мостового переходу в початковий момент $t = 0$ с

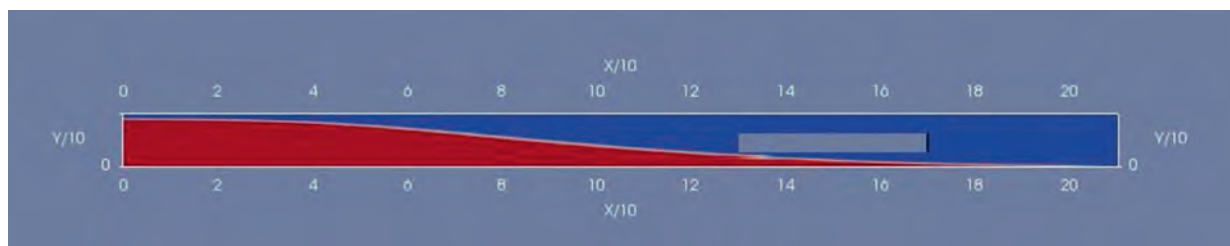


Рисунок 7 — Модель прориву греблі зі збільшеною висотою отвору мостового переходу через $t = 5$ с

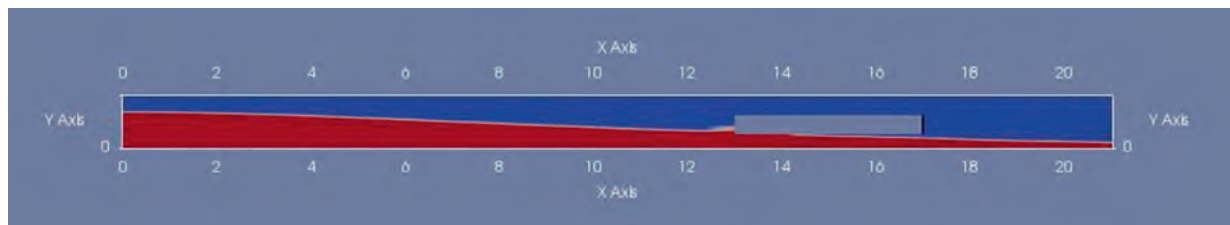


Рисунок 8 — Модель прориву греблі зі збільшеною висотою отвору мостового переходу через $t = 10$ с



Рисунок 9 — Модель прориву греблі зі збільшеною висотою отвору мостового переходу через $t = 15$ с

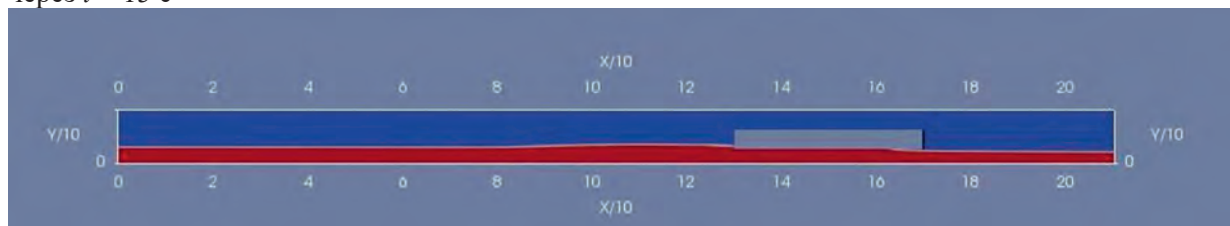


Рисунок 10 — Модель прориву греблі зі збільшеною висотою отвору мостового переходу через $t = 20$ с

Висновки

1. Розрахунки отвору МП в даний час не можуть бути проведені в достатньому обсязі та точності через відсутність вихідних даних про наявні каскадні розташування декількох водосховищ вище траси дороги.

2. Каскадне розташування декількох водосховищ вимагає розрахунку з урахуванням можливості послідовного прориву декількох гребель, який було проведено на базі створеної математичної моделі. Результати розрахунків свідчать; що створ переходу у нижньому б'єфі варто

розташовувати від греблі на відстані більше $20 \cdot H_n$ (напір хвилі прориву H_n може складати до 9 м) .

3. Згідно з вимогами нормативних документів та проведеним модельним розрахунком, можливість утворення хвилі прориву вимагає перенесення автомобільної траси мінімум на 200 м від греблі.

4. Для захисту МП можуть бути рекомендовані додаткові заходи захисту насипу автомобільної дороги на ділянці греблі та МП плитами та струмененапрямними дамбами біля отвору.

Список літератури

1. ДБН В.2.4-3:2010 Гідротехнічні, енергетичні та меліоративні системи і споруди, підземні гірничі виробки. Гідротехнічні споруди. Основні положення. Київ, 2010. 62 с. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-802> (дата звернення: 20.04.2020) (Інформація та документація).

2. Пособие к СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы» по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки (ПМП-91). Москва, 1992. URL: https://znaytovar.ru/gost/2/Posobie_k_SNiP_2050384_Posobie.html (дата звернення: 20.04.2020) (Інформація та документація).

3. Методические рекомендации по определению расходов воды при проектировании переходов через водотоки в зоне воздействия некапитальных плотин. Москва, 1981, 17 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/41/41542/index.htm> (дата звернення: 20.04.2020) (Інформація та документація).

4. Лиштван Л. Л. Определение зоны затопления при прохождении прорывной волны. *Гидротехника и мелиорация*. Москва, 1981. № 4. С 37–38.

5. Henderson F. M. Open Channel Flow. New-York, 1966. 522 p.

6. Montes J. S. Hydraulics of Open Channel. New-York, 1998. 697 p.

7. Степанов К.А. Упрощенная методика моделирования распространения волны прорыва для обеспечения защиты земель от наводнения. *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. № 4 (12). 2013 г., с. 130-140. URL: <http://www.cawater-info.net/bk/dam-safety/files/stepanov.pdf> (дата звернення: 20.04.2020).

8. Методичні рекомендації цивільного захисту. Розд. 3.2. Характеристика осередків ураження, що виникають при аваріях на гідротехнічних спорудах. Харків, 2011. (Інформація та документація).

9. OpenFOAM®: Opensource CFD documentation. Extended Code Guide. URL: <http://www.openfoam.com/documentation/cpp-guide/html/> .

10. QGIS Training Manuals URL: https://docs.qgis.org/testing/en/docs/training_manual/ (дата звернення: 20.04.2020).

References

1. State Building Norms (DBN V.2.4-3: 2010) Hidrotekhnichni, enerhetychni ta melioratyvni systemy i sporudy, pidzemni hirnychi vyrobky. Hidrotekhnichni sporudy. Osnovni polozhennia (Hydrotechnical, energy and land reclamation systems and structures, underground mining. Hydraulic structures. Key Points). Kiev, 2010. 62 p. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-802> (Last accessed: 20.04.2020) (Information and documentation) [in Ukrainian].

2. Posobiye k SNiP 2.05.03-84 «Mosty i truby» po izyskaniyam i proyektirovaniyu

zheleznodorozhnykh i avtodorozhnykh mostovykh perekhodov cherez vodotoki (PMP-91) (Guide to SNiP 2.05.03-84 Bridges and pipes» for the survey and design of railway and road bridges through waterways (PMP-91). Moscow, 1992. URL: https://znaytovar.ru/gost/2/Posobie_k_SNiP_2050384_Posobie.html (Last accessed: 20.04.2020) (Information and documentation) [in Russian].

3. Metodicheskiye rekomendatsii po opredeleniyu raskhodov vody pri proyektirovaniy perekhodov cherez vodotoki v zone vozdeystviya nekapitalnykh plotin (Guidelines for determining water consumption in the design of crossings through waterways in the impact zone of non-capital dams MTsNIIS). Moscow, 1981. 17 p. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/41/41542/index.htm> (Last accessed: 20.04.2020) [in Russian].

4. Lishtvan L. L. Opredeleniye zony zatopeniya pri prokhozhenii proryvnoy volny (Determination of the flood zone during the passage of a breakthrough wave). *Gidrotehnika i melioraciâ*. Moscow, 1981. No. 4. p. 37-38 [in Russian].

5. Henderson F. M. Open Channel Flow. New-York, 1966. 522 p. [in English].

6. Montes J. S. Hydraulics of Open Channel. New-York, 1998. 697 p. [in English].

7. Stepanov K.A. Uproshchennaya metodika modelirovaniya rasprostraneniya volny proryva dlya obespecheniya zashchity zemel ot navodneniya (Simplified methodology for modeling the propagation of a breakthrough wave to protect lands from flooding). *Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems*. N 4 (12) 2013. P. 130-140. URL: <http://www.cawater-info.net/bk/dam-safety/files/stepanov.pdf> (Last accessed: 20.04.2020) [in Russian].

8. Metodychni rekomendatsii tsyvilnoho zakhystu. Rozd. 3.2. Kharakterystyka osередkiv urazhennia, shcho vynykaiut pry avariiakh na hidrotekhnichnykh sporudakh (Guidelines for protection. Section 3.2. Characteristics of centers of destruction occurring during accidents at hydraulic structures). Kharkov, 2011 [in Ukrainian].

9. OpenFOAM®: Opensource CFD documentation. Extended Code Guide. URL: <http://www.openfoam.com/documentation/cpp-guide/html/> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

10. QGIS Training Manuals URL: https://docs.qgis.org/testing/en/docs/training_manual/ (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

Iryna Bashkevych,¹ Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0001-7640-4317>

Andrii Koretskyi,¹ Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0003-0307-0306>

Artur Onyshchenko,¹ D.Sc., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

Borys Ostroverh,² Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-3373-5535>

Liudmila Potapenko,² <https://orcid.org/0000-0002-1303-7801>

¹ National Transport University, Kyiv, Ukraine

² Institute of Hydromechanic of NAS Ukraine, Kyiv, Ukraine

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF A DAM BREAK ON THE DURABILITY OF THE TRANSPORT STRUCTURE

Abstract

Introduction. When drawing up the feasibility study of the design and estimate documentation for the repair of the bridge over the river Kunka at section of the highway M-12 Stryi – Ternopil – Kropyvnytskyi – Znamenka (through Vinnytsia) due to the proximity of a number of reservoirs, which are formed by dam structures with an increased head and a high probability of damage to the bridge from the

formation and passage of the breakthrough wave, there was a problem of development of safety measures for crossing the bridge.

Hydrodynamic hazards of impaired hydraulic structures for the road and bridge section may be due to the location of the infrastructure object in the lower beef of the dam, where both natural and man-made and other factors may cause such events as, for example, a catastrophic flood or the dam destruction by reducing its strength.

Problem statement. The analysis of information sources regarding the calculation of the breakthrough wave parameters showed that the technique is not well developed and is determined by engineering formulas.

Purpose. To perform mathematical modeling of the dam breakthrough parameters, to analyze its impact on the design of the bridge and to develop recommendations for protective measures.

Methods of research. Mathematical modeling with using continuity and fluid equations; mass, momentum and energy conservation equations.

Results. The results of the calculations show that the transition point in the lower beef should be positioned more than $20 \cdot H_n$ from the dam (the H_n breakthrough wavelength can be up to 9 m).

The cascading arrangement of several reservoirs requires the calculation, taking into account the possibility of sequential breaking of several dams, which was carried out on the basis of the created mathematical model.

According to the regulations and model calculations, the possibility of formation of a breakthrough wave requires the transfer of the highway at least 200 m from the dam.

Conclusion. Based on the calculations and analysis of the kinematics and morphodynamics of flows in the design of the designed bridge at the stage of repair, recommendations on the necessary layout and design protective measures are developed.

Keywords: hydromorphodynamics, dam, breaking, channel, numerical modeling.

УДК 624.21:625.745.1

Боднар Л. П., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-4754-721X>

Завгородній С. С., <https://orcid.org/0000-0003-1928-4544>

Коваль П. М., канд. техн. наук, проф., <https://orcid.org/0000-0002-0040-5900>

Панібратець Л. Г., <https://orcid.org/0000-0003-0683-9299>

Яструбінецький В. Л., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-4837-3303>

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДЕФЕКТІВ КОНСТРУКЦІЙ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ НА ЇХ НЕСНУ ЗДАТНІСТЬ

Анотація

Вступ. На автомобільних дорогах значно зросли вага та інтенсивність руху транспортних засобів. Встановлено, що вирішення проблеми безпечного утримання мостів залежить від коректного визначення вантажопідйомності мостів із врахуванням впливу дефектів їх конструкцій. Кожен рік у світі внаслідок перевантаження відбуваються руйнування мостів із важкими наслідками, тому задача визначення впливу дефектів на несну здатність конструкцій є актуальною.

Проблематика. В умовах обмеженого фінансування дорожньої галузі України вік автодорожніх мостів постійно збільшується, зростає кількість дефектів у конструкціях. Вирішення проблеми безпечного утримання мостів пов'язане з необхідністю визначення вантажопідйомності мостів з урахуванням впливу дефектів їх конструкцій, цьому присвячено ряд робіт. Але в цих роботах не закладений системний підхід до забезпечення надійної і безпечної експлуатації мостів. В Укравтодорі функціонує Аналітична експертна система управління мостами (АЕСУМ). У цьому програмному комплексі акумулюється вся інформація результатів обстежень мостів на дорогах державного значення, тут є дані про дефекти елементів споруд.

Мета. Метою роботи є розроблення на основі аналізу даних обстежень автодорожніх мостів, які зберігаються в АЕСУМ, методики виявлення дефектів, які впливають на несну здатність конструкцій та можуть викликати руйнування споруд.

Матеріали та методи. Розглянуто сучасне поняття несної здатності автодорожнього моста і його основних елементів, а також види несної здатності залежно від досягнення граничних станів 1 і 2 групи. Наведені приклади втрати несної здатності конструкціями мостів внаслідок досягнення ними граничних станів, визначено причини руйнувань. За результатами аналізу матеріалів обстежень автодорожніх мостів із використанням бази даних АЕСУМ виявлені дефекти конструкцій мостів, які впливають на несну здатність мостів і можуть викликати руйнування мостів.

Результати. Виконано систематизацію дефектів у програмному комплексі АЕСУМ щодо їх впливу на несну здатність конструкцій, використання якої дозволить визначати мости з можливістю їх руйнування. Це дозволить визначати споруди, які необхідно першочергово ремонтувати та забезпечити надійну і безаварійну експлуатацію автодорожніх мостів.

Висновки. За матеріалами обстежень з бази даних АЕСУМ виконаний аналіз дефектів конструкцій автодорожніх мостів і визначений вплив цих дефектів на несну здатність конструкцій. Виявлено дефекти конструкцій автодорожніх мостів, які можуть викликати руйнування споруд. Виконано систематизацію дефектів у програмному комплексі АЕСУМ щодо їх впливу на несну здатність конструкцій, використання якої дозволить визначати мости з можливістю їх руйнування.

Це дозволить визначати споруди, які необхідно першочергово ремонтувати і забезпечити надійну і безаварійну експлуатацію автодорожніх мостів.

Ключові слова: автодорожній міст, безпека експлуатації мостів, дефект підвищеної небезпеки, несна здатність, типовий проєкт.

Вступ

За останні роки Україні значно зросли вага та інтенсивність руху транспортних засобів на автомобільних дорогах. Більшість мостів, які експлуатуються на цих дорогах, збудовано за нормами, проєктні навантаження яких не відповідають сучасним навантаженням на транспортні споруди [1]. Внаслідок проблем експлуатації ряд мостів експлуатуються з дефектами конструкцій, які зменшують їх несну здатність. Це негативно впливає на вантажопідйомність мостів, у 2019 році на дорогах державного значення відбулися обвалення мостів у Тернопільській і Харківській областях.

Проблема експлуатації мостів із дефектами конструкцій в умовах обмеженого фінансування дорожньої галузі набуває особливої актуальності на сучасному етапі, тому що вік мостів постійно збільшується, ресурс їх елементів вичерпується. Вирішення проблеми безпечного утримання мостів пов'язане з необхідністю визначення вантажопідйомності мостів з урахуванням впливу дефектів їх конструкцій, цьому присвячено ряд робіт [2, 3, 4]. Але в цих роботах не закладено системний підхід до забезпечення надійної та безпечної експлуатації мостів.

Варто звернути увагу на те, що кожен рік у світі відбуваються руйнування мостів із важкими наслідками. Так у роботі [5] виконано аналіз причин аварій і руйнувань ряду мостів і зроблено висновки, що це відбувається внаслідок перевантажень споруд, втоми конструкцій, деградації матеріалів, несприятливого впливу середовища. У цій роботі відмічено, що відбувається прогресуюче руйнування мостів. Треба враховувати можливість локальних відмов конструктивної системи, тому що повний захист від них неможливий. Але важливо заблокувати можливість виходу з ладу визначальних елементів системи.

В Укравтодорі функціонує Аналітична експертна система управління мостами (АЕСУМ) [6, 7]. У цьому програмному комплексі акумулюється вся інформація результатів обстежень мостів на дорогах державного значення, тут є дані про дефекти елементів споруд.

Мета дослідження — розробити на основі аналізу даних обстежень автодорожніх мостів, які зберігаються в АЕСУМ, методику виявлення дефектів, які впливають на несну здатність конструкцій і можуть викликати руйнування споруд.

Основна частина

1. Сучасне поняття несної здатності автодорожнього моста і його основних елементів. Види несної здатності елементів моста

Відповідно до вимог основного діючого нормативного документа з проєктування мостів ДБН В.2.3-22:2009 [8], п. 4.3.2, несна здатність моста — це недопущення будь-якого з перерахованих нижче граничних станів 1 групи:

- втрата несної здатності ґрунтів основи (зсуви, розмиви тощо);
- втрата стійкості положення;
- втрата міцності;
- втрата стійкості форми;
- втрата витривалості.

Несну здатність ґрунтів основи визначають під час проєктування моста на основі даних інженерно-геологічних вишукувань. При обстеженні мостів слід приділити увагу різним відхиленням конструкцій моста в плані і профілі від проєктного положення. Це особливо важливо у разі розташування споруд на ґрунтах із можливістю додаткових нерівномірних деформацій — просадних, карстових, схильних до зсуву, а також на підроблюваних територіях.

В Україні основні зони розташування ґрунтів, що просідають — Запорізька та Дніпропетровська області, карстових — Львівська, Рівненська та Волинська області, підроблювані території — Донбас, Криворіжжя, Волинь, Львівщина.

Відсутність своєчасного кваліфікованого обстеження ґрунтів основи моста може призвести до значних додаткових деформацій споруди і, у подальшому, великих витрат на його відновлення.

Приклад 1. Міський шляхопровід через залізничні колії станції Нікополь у 2001 році був закритий на капітальний ремонт (схема прогонів шляхопроводу 14+33+33+14 м, 20 м завширшки). У результаті тривалого витoku води в глинисті ґрунти основи, що просідає, від близько розташованого підземного водопроводу, стоян шляхопроводу з боку центру міста (опора 0) просів на 1,5 м і змістився вбік від проєктного положення на 2 м. Осідання проміжної опори 1 склало 66 см.

Під час капітального ремонту шляхопроводу було виконано наступні основні роботи:

- демонтаж 13 балок прогонової будови 0-1 на насип підходів (залізобетонні таврові балки довжиною 14 м за типовим проєктом Вип. 56);
- повне розбирання стояна 0;
- спорудження нового стояна 0;
- підйом прогонової будови 1-2 на опорі 2 на висоту 66 см (13 балок довжиною 33 м з попередньо напруженого залізобетону) за допомогою плоских домкратів Фрейсіне;
- монтаж 13 балок прогонової будови 0-1 у проєктне положення;
- заміна мостового полотна на шляхопроводі.

Приклад 2. Шляхопровід у Дніпропетровській області через залізницю на автомобільній дорозі Т-04-32 Божедарівка – Малософіївка – Нікополь, км 103+052.

У результаті витoku води в глинисті ґрунти просідної основи проміжна опора опустилася на 25 см. У 2007 році підйом прогонової будови (6 залізобетонних балок за типовим проєктом Вип. 56) було виконано за допомогою плунжерних домкратів і відновлено проєктний рівень опори.

Втрата стійкості положення (перекидання). Цей вид втрати несної здатності елементів мостів відноситься, в основному, до конструкцій берегових опор (стоянів). Можливо, наприклад, перекидання відкрilка стояна від бокового тиску ґрунту насипу у разі порушення (або відсутності) зв'язку відкрilка зі шафовою стінкою.

Недопущення втрати міцності. Міцність — це основний вид несної здатності прогонових будов і опор мостів.

Міцність конструкцій залізобетонних мостів перевіряється за максимальними зусиллям:

- згинальним моментом;
- поперечною силою.

Несну здатність залізобетонних конструкцій мостів за згинальним моментом визначають за формулами (3.17)–(3.20) ДБН В.2.3-14:2006 [9], п. 3.62, п. 3.63. У цих формулах застосовують гіпотезу А. Ф. Лолейта – А. А. Гвоздева, згідно з якою несна здатність залізобетонних конструкцій за згинальним моментом визначають парою внутрішніх зусиль: у стиснутій зоні — це опір стисненню бетону і розташованої в цій зоні арматури, у розтягнутій зоні – опір розтягуванню арматури. При цьому напруження в стиснутій зоні рівні розрахунковим опорам бетону та арматури на стиск, а напруження в розтягнутій арматурі — розрахунковому опорі арматури на розтяг.

Незважаючи на істотні умовності (рівномірне розподілення напружень у стиснутій зоні

бетону, одночасне досягнення бетоном і арматурою граничних значень), ця гіпотеза витримала майже вікову критику і до цього часу залишається визначальною під час проектування, завдяки своїм безперечним перевагам:

- простота розрахунку, що дозволяє проектувальнику самому перевірити результати розрахунку;
- збіг результатів розрахунку (у межах статистичного відхилення) з результатами численних випробувань залізобетонних балок на згин до руйнування.

Несну здатність залізобетонних конструкцій мостів за поперечною силою визначають за формулами (3.56)–(3.57) ДБН В.2.3-14:2006, [9]. Тут використовується формула граничної рівноваги М. С. Боришанського: несну здатність залізобетонної конструкції за поперечною силою визначають як суму проєкцій на вертикаль зусиль розтягу в бетоні та відігнутій арматурі в межах похилої тріщини (розташованої поблизу опори балки), а також зусиль розтягу у вертикальній арматурі (хомутах) в межах похилої тріщини.

Втрата стійкості форми. Цей вид втрати несної здатності елементів мостів відноситься, в основному, до стиснутих сталевих елементів сталевих і сталезалізобетонних прогонових будов. У балкових прогонових будовах — це верхній пояс і стінка балок, а також ребра жорсткості, в наскрізних прогонових будовах (фермах) — елементи верхнього поясу і висхідні розкоси.

Втрата витривалості. Відповідно до ДБН В.2.3-14:2006 [9] для автодорожніх і міських мостів розрахунку на витривалість підлягають тільки плити проїзної частини.

2. Визначення дефектів елементів мостів, які впливають на їх несну здатність та викликають руйнування споруди

За результатами аналізу матеріалів обстежень автодорожніх мостів із використанням бази даних АЕСУМ виявлено дефекти конструкцій мостів, які впливають на несну здатність мостів і можуть викликати руйнування моста. Ці дефекти зведено в табл. 1. Кодування і назви дефектів (стовбці 1 і 2) прийнято згідно з СОУ 45.2-00018112-026:2008 [10]. У колонці 3 зазначено, на який вид втрати несної здатності та яким чином впливає даний дефект, а також яка причина його появи.

Таблиця 1

Дефекти конструкцій мостів, які впливають на несну здатність мостів

Код	Назва дефекту	Види несної здатності
Дефекти прогонових будов із ненапруженого залізобетону		
059	Силкові тріщини в стиснутій зоні бетону	Втрата міцності за згинальним моментом. Причина — недостатній опір бетону плити на стиск
064	Пошкодження бетону від вилуговування найбільшої частини плити проїзної частини	
065	Пошкодження бетону від його розморожування найбільшої частини плити проїзної частини	
070	Фільтрація води крізь плиту проїзної частини з пошкодженням бетону (вилуговування, розморожування)	
069	Корозія арматури	Втрата міцності за згинальним моментом. Причина — втрата перерізу стрижнів

Продовження таблиці 1

Код	Назва дефекту	Види несної здатності
060	Наскрізнi похилі тріщини в ділянках біля опор	Втрата міцності за поперечною силою. Причина — недостатній опір розтягу хомутив та відігнутої арматури
071	Окремі пошкодження поперечного об'єднання балок	Втрата міцності. Причина — перевантаження окремих балок
073	Місцеве порушення поперечних зв'язків між елементами прогонових будов	
074	Руйнування поперечного об'єднання балок прогонових будов з утворенням груп балок, які не забезпечують самостійне сприйняття нормативних навантажень	
077	Прогини блоків збірних мостів нерівномірні	
080	Зміщення діафрагм прогонових будов в плані і по вертикалі	Втрата міцності. Причина –перевантаження окремих балок
081	Руйнування зварних швів металевих накладок діафрагм	
078	Відсутнє надійне обпирання головних балок на опорні частини чи ригелі	
Дефекти прогонових будов із попередньо напруженого залізобетону		
087	Тріщини в розтягнутому бетоні	Втрата міцності. Причина — недостатня кількість арматури або недостатній рівень попереднього натягу арматури
088	Похилі силові тріщини в опорних зонах	Втрата міцності за поперечною силою. Причина — недостатня кількість арматури
099	Чисельні раковини в стиснутому бетоні	Втрата міцності. Причина — зменшення стиснутої зони бетону
103	Порушення поперечних зв'язків між елементами	Втрата міцності. Причина — перевантаження окремих балок
104	Порушення спільної роботи елементів прогонової будови	
107	Пошкодження опорних частин	Втрата міцності. Причина – зміщення окремих балок з опорних частин та перевантаження решти балок
108	Угон опорних частин	
Дефекти прогонових будов сталевих мостів		
116	Корозія зв'язків	Втрата міцності (для всіх елементів). Для стиснутих елементів ферм — втрати стійкості форми. Причина — зменшення площі поперечного перерізу
117	Корозія балок	
118	Корозія елементів ферм	
119	Корозія основних несних елементів	
121	Погнутості елементів решітки	Втрата міцності елементів верхніх поясів. Причина — вітрове навантаження поперек мосту
122	Місцеві деформації на полицях балок	
123	Місцеві деформації на поясах балок	

Продовження таблиці 1

Код	Назва дефекту	Види несної здатності
129	Розриви горизонтальних зв'язків по верхньому поясу ферм прогонових будов з їздою понизу	Втрата стійкості форми елементів верхніх поясів. Причина — роздільна робота верхніх поясів Втрата міцності балок або ферм. Причина — зменшення площі поперечного перерізу балок або елементів ферм
130	Залишкові прогини балок	Втрата міцності балок або ферм. Причина — зменшення площі поперечного перерізу балок або елементів ферм
131	Провисання ферм	
136	Тріщини від втоми в косинках ферм та інших елементах	Втрата міцності елементів та з'єднань
137-175	Дефекти елементів вузлів і з'єднань прогонових будов сталевих мостів	
Дефекти прогонових будов сталезалізобетонних мостів		
180-188	Корозія металу прогонових будов сталезалізобетонних мостів	Втрата міцності. Причина — зменшення площі поперечного перерізу
190-203	Місцева деформація стиснутих елементів ферм, місцева деформація поясів ферм, викривлення елементів, деформації стиснутих елементів ферм, деформації решітки ферм, прогини елементів, вм'ятини в елементах мостів внаслідок ударів транспорту	Втрата стійкості форми стиснутих елементів ферм. Причина — вм'ятини в елементах мостів внаслідок ударів транспорту
210-214	Тріщини зварних швів, тріщини втомленості в елементах ферм	Втрата міцності. Причина — зменшення робочої площі поперечного перерізу
Дефекти залізобетонної плити сталезалізобетонних мостів		
244	Сітка тріщин у зонах розміщення упорів сталезалізобетонних мостів через розладнання з'єднання зі сталевими балками	Втрата міцності. Причина — зменшення несної здатності елементів
245, 248	Неякісне ущільнення бетону в окремих збірних плитах, проломи плити мостового полотна	
Дефекти ригелів опор		
348, 352, 357, 358	Оголення арматури та корозія арматури ригелів опор, суцільна сітка тріщин на нижній поверхні ригелів, вертикальні наскрізні тріщини консолей ригелів, силові похилі тріщини тіла ригелів, суцільне оголення крайніх арматурних каркасів	Втрата міцності. Причина — зменшення несної здатності ригеля
354	Вертикальні наскрізні тріщини консолей ригелів	Втрата міцності. Причина — зменшення несної здатності консолей ригеля

Код	Назва дефекту	Види несної здатності
Дефекти проміжних опор		
373, 376, 377, 380, 381	Локальне оголення арматури та корозія арматури проміжних опор, пошкодження тіла стійок з оголенням та корозією арматури на великих площах, свищі в тілі оболонок стійок, вертикальні та горизонтальні тріщини тріщини в залежності від місця розташування моста	Втрата міцності. Причина — зменшення несної здатності опори
382	Поздовжні вигини високих стійок	Втрата міцності. Причина — зменшення несної здатності опори на стиск. Можлива також втрата стійкості форми стійок опори. Причина — зменшення поперечних перерізів опори
383	Зменшення міцності бетону в порівнянні з проектною	
384	Значні пошкодження тіла стійок, які приводять до зменшення розрахункових поперечних перерізів або зміни розрахункової схеми	
Дефекти стоянів мосту		
392, 394, 397, 398	Шафові стінки, відкритки відхилились від проектного положення, шафові стінки відокремилися від ригелів (насадок) стоянів	Втрата стійкості положення елементів стоянів. Причина — розрив зв'язків елементів стоянів, підмив стоянів
399	Нахили тіла стоянів від вертикалі	Втрата стійкості положення. Причина — втрата несної здатності ґрунтів основи
404- 408	Переміщення стоянів в плані та по вертикалі, значні пошкодження тіла стоянів	
Дефекти кам'яних опор		
418- 428	Втрата розчину кладки на глибину розмірів каменів, вивали фрагментів кладки, великі тріщини тіла опор, втрата розчину кладки на глибину розмірів каменів	Втрата міцності кам'яної опори. Причини — руйнування елементів кладки
	Нахили тіла опори, зсув, просідання опор	Втрата стійкості положення Причина — втрата несної здатності ґрунтів основи
Дефекти металевих опорних частин		
261, 262, 268	Перекісили угон каткових опорних частин, значне зменшення рухомості елементів опорних частин	Втрата міцності прогонової будови. Причина — поява додаткових зусиль в елементах прогонової будови
Дефекти залізобетонних опорних частин		
283, 287- 289	Розшарування бетону тіла залізобетонних опорних частин з оголенням арматури та корозією арматури, розриви, руйнування та втрата елементів опорних частин	Втрата міцності прогонової будови. Причина — поява додаткових зусиль в елементах прогонової будови

Продовження таблиці 1

Код	Назва дефекту	Види несної здатності
Дефекти гумових опорних частин		
301	Зміщення гумових опорних частин з нависанням за підферменник	Втрата міцності прогонової будови. Причина — поява додаткових зусиль в елементах прогонової будови
312	Суцільне руйнування тіла гумових опорних частин	
Дефекти залізобетонних (кам'яних) підферменників		
321	Вертикальні тріщини в підферменнику	Втрата стійкості положення прогонової будови. Причина — нестійке положення однієї з балок прогонової будови
325	Вивітрювання каменю тіла кам'яних підферменників	
327	Втрата частини тіла підферменника під опорною частиною	
330	Зависання опорної частини	
332	Руйнування стику між підферменником та ригелем	
Дефекти палових фундаментів		
435	Не враховано проєктом агресивне природне середовище пального фундаменту	Втрата стійкості положення прогонової будови та фундаменту. Причина — втрата несної здатності ґрунтів основи
440	Оголення та корозія арматури паль	
441	Суттєві місцеві розмиви по дну русла	
442	Суттєві загальні розмиви по дну русла	
443	Розмиви по дну русла, що перевищують розрахункові	
446	Відхилення положення паль від проєктного положення	
447	Зміщення палових ростверків від проєктного положення за час експлуатації	
399	Нахили тіла стоянів від вертикалі	Втрата стійкості положення. Причина — втрата несної здатності ґрунтів основи
404-408	Переміщення стоянів в плані та по вертикалі, значні пошкодження тіла стоянів	
Дефекти кам'яних опор		
418-428	Втрата розчину кладки на глибину розмірів каменів, вивали фрагментів кладки, великі тріщини тіла опор, втрата розчину кладки на глибину розмірів каменів	Втрата міцності кам'яної опори. Причини — руйнування елементів кладки
	Нахили тіла опори, зсув, просідання опор	Втрата стійкості положення. Причина — втрата несної здатності ґрунтів основи

Кінець таблиці 1

Код	Назва дефекту	Види несної здатності
Дефекти металевих опорних частин		
261, 262, 268	Перекісили угон каткових опорних частин, значне зменшення рухомості елементів опорних частин	Втрата міцності прогонової будови. Причина — поява додаткових зусиль в елементах прогонової будови
Дефекти залізобетонних опорних частин		
283, 287- 289	Розшарування бетону тіла залізобетонних опорних частин з оголенням арматури та корозією арматури, розриви, руйнування та втрата елементів опорних частин	Втрата міцності прогонової будови. Причина — поява додаткових зусиль в елементах прогонової будови
Дефекти гумових опорних частин		
301	Зміщення гумових опорних частин з нависанням за підферменник	Втрата міцності прогонової будови. Причина — поява додаткових зусиль в елементах прогонової будови
312	Суцільне руйнування тіла гумових опорних частин	
Дефекти залізобетонних (кам'яних) підферменників		
321	Вертикальні тріщини в підферменнику	Втрата стійкості положення прогонової будови. Причина — нестійке положення однієї з балок прогонової будови
325	Вивітрювання каменю тіла кам'яних підферменників	
327	Втрата частини тіла підферменника під опорною частиною	
330	Зависання опорної частини	
332	Руйнування стику між підферменником та ригелем	
Дефекти пальових фундаментів		
435	Не враховано проєктом агресивне природне середовище пальового фундаменту	Втрата стійкості положення прогонової будови та фундаменту. Причина — втрата несної здатності ґрунтів основи
440	Оголення та корозія арматури паль	
441	Суттєві місцеві розмиви по дну русла	
442	Суттєві загальні розмиви по дну русла	
443	Розмиви по дну русла, що перевищують розрахункові	
446	Відхилення положення паль від проєктного положення	
447	Зміщення пальових ростверків від проєктного положення за час експлуатації	

Приклади дефектів мостів (з бази даних АЕСУМ)

Дефект 494. **Втрата несної здатності ґрунтів основи.** Ймовірна причина — просадка основи фундаментів опор.



Рисунок 1 — В обох стоянів моста нижня частина опустилася на 30 мм. Міст через р. Тейсарівка на автомобільній дорозі М-12 Стрий – Тернопіль–Кропивницький – Знам'янка (через м. Вінницю), км 13+243

Дефект 069. **Втрата міцності за згинальним моментом.** Причина — зменшення кількості робочої арматури.



Рисунок 2 — Розрив 6-ти струн робочої поздовжньої арматури в нижньому поясі балки. Міст через струмок на автомобільній дорозі Н-02 /М-06/ – Кременець – Біла Церква – Ржищів – Канів – Софіївка, км 276+526

Дефект 259. Втрата стійкості положення прогонової будови.



Рисунок 3 — Зміщення опорних частин від проектного положення. Міст через струмок на автомобільній дорозі Н-02 /М-06/ – Кременець – Біла Церква – Ржищів – Канів – Софіївка, км 234+349

Дефект 117. Втрата міцності прогонової будови.



Рисунок 4 — Значна корозія сталевих балок. Міст через струмок на автомобільній дорозі Н-13 Львів – Самбір – Ужгород, км 191+771

Висновки

1. За матеріалами обстежень із бази даних АЕСУМ виконано аналіз дефектів конструкцій автодорожніх мостів і визначено вплив цих дефектів на несну здатність конструкцій.
2. Виявлено дефекти конструкцій автодорожніх мостів, які можуть викликати руйнування споруд.
3. Виконано систематизацію дефектів у програмному комплексі АЕСУМ щодо їх впливу

на несну здатність конструкцій, використання якої дозволить визначати мости з можливістю їх руйнування. Це дозволить визначати споруди, які необхідно першочергово ремонтувати та забезпечити надійну і безаварійну експлуатацію автодорожніх мостів.

Список літератури

1. Боднар Л.П. Удосконалення проектування ремонтів при експлуатації автодорожніх мостів: дис. ... канд. техн. наук. Київ, 2019, 212 с.
2. Лучко Й. Й., Коваль П. М., Корнієв М. М., Лантух-Лященко А. І., Хархаліс М. Р., Панасюк В. В. Мости: конструкції та надійність: довідник. Львів, 2005. 989 с.
3. Васильев А. И. Оценка грузоподъемности и долговечности мостов: методическое пособие. Москва, 2016. 40 с.
4. Кожушко В. П., Бильченко А.В., Кислов А.Г., Бережная Е.В., Безбабичева О.И., Бугаевский С.А., Краснов С.Н., Краснова Е.С.Повышение долговечности автодорожных мостов: монография. Харьков, 2016. 236 с.
5. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Майстренко И.Ю., Кокодеев А.В. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 2. *Интернет-журнал «Транспортные сооружения»*. 2017. Том 4. № 4 С. 1-34. URL: <https://t-s.today/PDF/14TS417.pdf> (дата звернення: 20.04.2020).
6. Боднар Л.П., Лантух-Лященко А. І., Канін О. П., Коваль П. М., Фаль А. Є. Аналітична експертна система управління мостами. Досвід впровадження. *Дорожня галузь України*. Київ, 2011. № 7. С. 42-47.
7. Боднар Л.П. Аналитическая экспертная система управления мостами Украины. *Автомобильные дороги и мосты: научно-технический журнал*. Минск, 2015. Вып. № 2 (16). С. 18-23.
8. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування. Київ, 2009. 52 с. (Інформація та документація).
9. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування. Київ, 2006. 366 с. (Інформація та документація).
10. СОУ 45.2-00018112-026:2008. Споруди транспорту. Дефекти автодорожніх мостів. Класифікація. Київ, 2008. 72 с. (Інформація та документація).

References

1. Bodnar L.P. Udoskonalennia proektuvannia remontiv pry ekspluatatsii avtodorozhnykh mostiv (Improving the repairs planning during the operation of road bridges): PhD thesis. Kyiv, 2019. 212 p. [in Ukrainian].
2. Luchko J.J., Koval P.M., Korniev .M., Lantukh-Lyashchenko A.I., Kharkhalis M.R., Panasiuk V.V. Mosty: konstruktzii ta nadiinist: dovidnyk (Bidges: designs and reliability): Reference book. Lviv, 2005. 989 p. [in Ukrainian].
3. Vasiliyev A. I. Otsenka hruzopodemnosti y dolhovechnosti mostov (Evaluation of the carrying capacity and durability of bridges) : Manual. Moscow, 2016.40 p. [in Russian].
4. Kozhushko V.P., Bilchenko A.V., Kislov A.G., Berezhnaya Ye.V., Bezbabicheva O.I., Bugaievskii S.A. Krasnov S.N., Krasnova Ye.S. Povyshenye dolhovechnosti avtodorozhnykh mostov

(Improving the durability of road bridges): a monograph., Kharkiv, 2016. 236 p. [in Ukrainian].

5. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Maistrenko I.Yu., Kokodeyev A.V. Avarii i razrusheniya mostovoykh sooruzheniy. analiz ikh prichin. Chast 2. (Accidents and destruction of bridge structures, analysis of their causes. Part 2.). *Online magazine «Transport facilities»*. 2017. Volume 4. № 4. P. 1-34. URL: <https://t-s.today/PDF/14TS417.pdf> (Last accessed: 20.04.2020) [in Russian].

6. Bodnar L.P., Lantukh-Lyashchenko A.I., Kanin O.P., Koval P.M., Fal A. Ye. nalitychna ekspertna systema upravlinnia mostamy. Dosvid vprovadzhennia (An analytical expert bridge management system. Experience of implementation). *Dorozhnia haluz Ukrainy*. Kyiv, 2011. № 7. P. 42-47. [in Ukrainian].

7. Bodnar L.P. Analiticheskaya ekspertnaya sistema upravleniya mostami Ukrainy (Analytical expert system of bridge management in Ukraine). *Avtomobylnye dorogi i mosty: nauchno-tekhnicheskii zhurnal*. Minsk, 2015. N 2 (16). P. 18-23. [in Russian].

8. State Building Norms (DBN B.2.3-22: 2009) Sporudy transportu. Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannia (Transport facilities. Bridges and culverts. Basic design requirements). Kyiv, 2009. 52 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

9. State Building Norms (DBN V. 2.3-14:2006). Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannia (Transport facilities. Bridges and pipes. Design rules) Kyiv, 2006. 366 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

10. Standard of organization of Ukraine (SOU 45.2-00018112-026:2008). Sporudy transportu. Defekty avtodorozhnikh mostiv. Klasyfikatsiia (Transport facilities. Road bridges defects. Classification) Kyiv, 2008. 72 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Larysa Bodnar, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-4754-721X>

Serhii Zavhorodniy, <https://orcid.org/0000-0003-1928-4544>

Petro Koval, Ph.D., Prof., <https://orcid.org/0000-0002-0040-5900>

Liudmyla Panibratets, <https://orcid.org/0000-0003-0683-9299>

Vitalii Yastrubnitskyi, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-4837-3303>

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

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF DEFECTS OF ROAD BRIDGE STRUCTURES ON THEIR BEARING CAPACITY

Abstract

Introduction. There has been a significant increase in the weight and traffic volume of vehicles on motor roads. It has been stated that the solution of the problem of the safe maintenance of bridges depends on the correct determination of the bridges load capacity taking into account the influence of the defects of their structures. Every year in the world as a result of overloading the bridges deterioration with heavy consequences occur, therefore the task of determining the influence of defects on the bearing capacity of structures is relevant.

Issue statement. In conditions of limited financing of the road sector of Ukraine, the age of road bridges is constantly increasing, the number of defects in structures is growing. The solution of the problem of safe maintenance of bridges is connected with the necessity to determine the bridges load capacity taking into account the influence of defects in their structures. In this connection, a number of works are devoted

to this issue. However, these works do not include a systematic approach to ensuring the reliable and safe bridge operation. The Analytical Expert Bridge Management System (AESUM) functions in Ukravtodor. This software complex accumulates all the information about the results of bridges investigations on the roads of national importance, it includes the data about the defects of structural elements.

Objective. The aim of the work is the development, on the basis of the data analysis of road bridge investigations, which are collected in AESUM, a methodology for detecting the defects affecting the bearing capacity of structures that may lead to their destruction.

Materials and methods. Modern concept of bearing capacity of a road bridge and its basic elements as well as the types of bearing capacity depending on reaching by them the limit states of group 1 and 2 are considered. The given examples of loss of bearing capacity of bridge structures as a result of their reaching the limit states are defined, the causes of deterioration are defined. Based on the investigation results analysis of road bridges by means of the AESUM database, the defects of bridge structures have been detected which affect the bearing capacity of bridges and can cause the deterioration of bridges.

Results. Systematization of defects in the software complex of AESUM about their influence on the bearing capacity of structures is carried out, the usage of this system will allow determining the bridges with the potential to deterioration. It will allow determining the structures that need to be repair first of all and ensure reliable and accident-free operation of road bridges.

Key words: road bridge, safety of bridges operation, high risk defect, bearing capacity, type project.

УДК 624.014:624.21

Ковальчук В. В.,¹ канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0003-4350-1756>

Коваль П. М.,² канд. техн. наук, проф., <https://orcid.org/0000-0002-0040-5900>

Коваль М. П.,³ канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0003-1244-1738>

¹Львівська філія Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Львів, Україна

²Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури, м. Київ, Україна

³ТзОВ «НВП «Триада», м. Львів, Україна.

МЕТОДИ ОБСТЕЖЕННЯ ТА ВИПРОБОВУВАННЯ ТУНЕЛЬНОГО ШЛЯХОПРОВОДУ З МЕТАЛЕВИХ ГОФРОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА КМ 228+160 АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ КИЇВ–ХАРКІВ–ДОВЖАНСЬКИЙ

Анотація

Вступ. Приведено відомості про виробників металевих гофрованих конструкцій в Україні та за кордоном. Представлені приклади транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій (МГК). Обґрунтовано необхідність удосконалення нормативної бази України у частині розрахунків, обстеження та випробування транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій.

Проблематика. Досвід експлуатації транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій вказує на те, що в ряді випадків не забезпечується їх нормативний термін служби, який повинен відповідати проєктній довговічності. В умовах експлуатації споруди із МГК схильні до утворення залишкових деформацій поперечного перерізу конструкцій, що впливає на їх несну здатність. Для недопущення зазначених пошкоджень необхідно проводити обстеження та випробування таких транспортних споруд. Це у свою чергу вимагає розробки достовірних аналітичних методів оцінки несної здатності транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій при взаємодії із ґрунтовою ущільнюючою засипкою та удосконалення експериментальних методів випробування цих споруд статичними та динамічними навантаженнями.

Мета. Мета роботи полягає у розробці аналітичного та експериментального методів оцінки несної здатності транспортної споруди із металевих гофрованих конструкцій, яка експлуатується у тілі насипу автомобільної дороги, під час проведення її обстеження та випробування.

Результати. Запропоновано програму робіт під час обстеження та випробування тунельного шляхопроводу із металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах України. Наведено аналітичну методику оцінки несної здатності металевих гофрованих конструкцій шляхопроводу під час дії статичних навантажень від автомобільних транспортних засобів та отримано розподіл напружень у конструкціях при різних комбінаціях завантаження тунельного шляхопроводу. Проведено оцінку несної здатності металевих гофрованих конструкцій методом скінченних елементів. Запропоновано методику експериментальних випробувань тунельного шляхопроводу із металевих гофрованих конструкцій та проведено натурні експериментальні випробування шляхопроводу статичним навантаженням.

Висновки. Різниця напружень отриманих під час завантаження шляхопроводу одним та чотирма автосамоскидами становить до 15 %. Це дозволяє зробити висновок, що кут розподілу навантажень є меншим за 45°, тому такі конструкції можуть використовуватися під багатосмуговими автомобільними дорогами чи багатоколійними залізницями за умови, що висота ґрунтової засипки є більшою за 2,0 м. При цьому запас несної здатності тунельного шляхопроводу складає 80 %.

Ключові слова: випробування, металева гофрована конструкція, напружено-деформований стан, несна здатність, транспортна споруда.

Вступ

У сучасній українській практиці транспортної інфраструктури споруди із металевих гофрованих конструкцій (далі МГК) почали влаштовувати із середини дев'яностих років ХХ століття.

У європейських країнах металеві гофровані конструкції знайшли широке застосування в останні 50 років [2–4]. На теперішній час відомими у світі виробниками МГК є італійська фірма FRACASSO [5], норвезько-шведсько-фінська фірма ViaCon [1] та канадська фірма ARMTEC [4]. Вони забезпечують потреби в металевих гофрованих конструкціях країни Європи, Америки, Африки та Австралії. У таких країнах, як Польща, Швеція, Італія, США, Канада та ін., використання МГК при будівництві транспортних споруд на сьогоднішній день динамічно розвивається.

Конструкції, методи розрахунку, технології влаштування транспортних споруд із МГК постійно вдосконалюються з врахуванням досвіду будівництва та проведених досліджень [2, 3, 6–28].

На автомобільних дорогах України з МГК збудовані малі мости, шляхопроводи, транспортні тунелі, скотопрогони, пішохідні та біопереходи, а також водопропускні труби [1]. Так у нашій країні побудовано транспортні тунелі із МГК, а саме: транспортний тунель на 228+160 км автомобільної дороги Київ–Харків–Довжанський (рис. 1, *a*), транспортний тунель на обході м. Одеса (рис. 1, *b*) та транспортний тунель на обході в м. Донецьк із використанням конструкцій SuperCor SC 86 S (рис. 1, *c*).

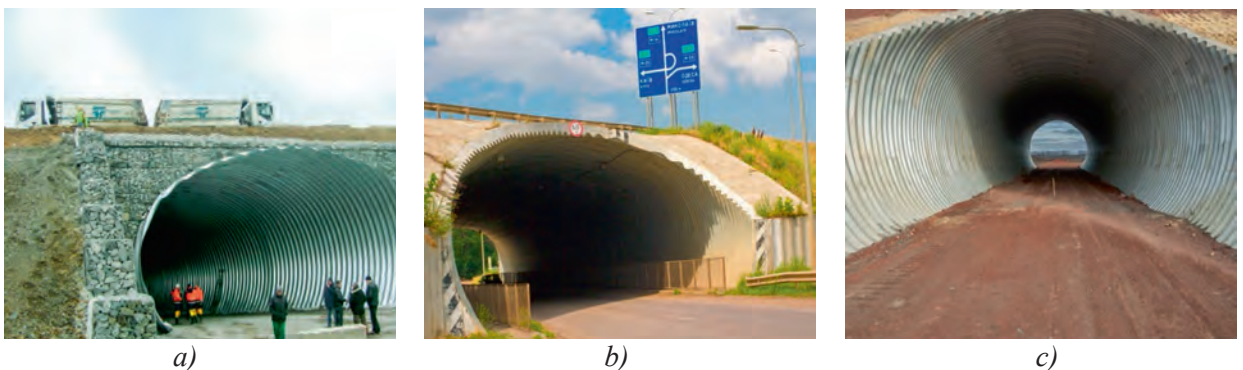


Рисунок 1 — Транспортні тунелі із металевих гофрованих конструкцій, які побудовано в Україні на: *a*) автомобільна дорога Київ–Харків–Довжанський 228+160 км; *b*) обхід м. Одеси; *c*) обхід м. Донецька

Поперечні перерізи цих транспортних тунелів досягають до 14 м, а згідно з ДБН В.2.3-6:2009

«Мости та труби. Обстеження і випробування» [29] випробуванню підлягають труби металеві гофровані з отвором більше 3,0 м. Проте під час обстеження та випробування транспортних споруд із МГК інженери зіткнулися з низкою проблем. Виявилося, що діючого нормативного забезпечення використання МГК у транспортних спорудах недостатньо для вирішення ряду практичних задач. Транспортні споруди з МГК мають значні особливості у своїх конструкціях, у роботі елементів за навантаження та змін температури, в розрахунках.

Норми [30, 31] направлено в основному на вирішення питань технології влаштування та монтажу МГК, встановлення конструктивних вимог до МГК, систематизації існуючих перерізів МГК при будівництві та реконструкції транспортних споруд, раціонального використання економічних, матеріальних, енергетичних, трудових ресурсів, охорони навколишнього середовища та забезпечення належної якості при будівництві та проектуванні металевих гофрованих конструкцій. В основу ВБН В.2.3-218-198:2007 «Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд із металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування» [30], розроблений у 2006 на замовлення Державної служби автомобільних доріг України «Укравтодор» інститутом ДП ДерждорНДІ, закладено принципи інженерного досвіду проектування транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій.

Тому подальший розвиток нормативної бази України щодо використання металевих гофрованих конструкцій у транспортному будівництві повинен включати вдосконалення методів розрахунку, а також розроблення методів проведення обстеження та випробування таких конструкцій як під час будівництва, так і в умовах експлуатації. Саме це є ключовою умовою забезпечення належної якості побудованих споруд із МГК та надійності їх роботи в умовах експлуатації.

Мета роботи полягає в розробленні аналітичного й експериментального методів оцінки несної здатності транспортної споруди з металевих гофрованих конструкцій, яка експлуатується в тілі насипу автомобільної дороги, під час проведення її обстеження та випробування.

Основна частина

Наведемо розроблену нами методику обстеження та випробування тунельного шляхопроводу, який експлуатується на км 228+160 автомобільної дороги Київ–Харків–Довжанський (рис. 2).



a)



b)

Рисунок 2 — Тунельний шляхопровід на км 228+160 автомобільної дороги Київ – Харків – Довжанський: а) фасад тунельного шляхопроводу з лівого боку; б) укріплення та підпірні стінки насипу підходів

Тунельний шляхопровід збудований під автомобільною дорогою I категорії та пропускає автомобільну дорогу II категорії [32]. Технічні параметри шляхопроводу: матеріал конструкції — гофрований оцинкований метал; розмір гофра — 380 мм × 140 мм; товщина листа гофра — 7 мм; поперечний переріз — горизонтальний еліпс; ширина конструкції — 13,026 м; висота конструкції — 8,831 м; довжина шляхопроводу — 41,99 м; розташування в плані — 65,32°; висота насипу над конструкцією — 2,0 м; позовжній ухил конструкції — 10 %; ширина автомобільної дороги в шляхопроводі — 9,0 м; ширина тротуарних проходів — 1,0 м; габарит по висоті — 5,62 м; границя міцності сталі гофрованого листа конструкції — 390 МПа; з'єднання листів — болтові Ø20 мм; границя міцності сталі болтів — 800 МПа.

Обстеження та випробування тунельного шляхопроводу проведено відповідно до нормативних документів [29–31, 33–37]. Програма обстеження тунельного шляхопроводу включає проведення наступних робіт: огляд внутрішніх і зовнішніх (не закритих ґрунтом) поверхонь тунельного шляхопроводу; вимірювання вертикальних і горизонтальних розмірів тунельного шляхопроводу; обміри в натурі геометричних параметрів тунельного шляхопроводу та його окремих елементів, складання обмірних креслень плану та розрізів; перевірка профілю та положення осі в плані тунельного шляхопроводу; огляд укріплених укосів конусів, вхідного та вихідного оголовків тунельного шляхопроводу; якість і стан захисного покриття; правильність виконання стиків; аналіз результатів обстеження та складання висновків.

Програма випробування тунельного шляхопроводу включає такі роботи: перевірочний розрахунок тунельного шляхопроводу на нормоване навантаження НК-100 (АК-15); розрахунок тунельного шляхопроводу на випробувальні навантаження; завантаження статичним навантаженням за такими схемами: симетричні й односторонні з установкою почергово на правій та лівій смугах проїздів; обробка й аналіз результатів випробування, порівняння теоретичних і експериментальних даних та складання висновків за результатами випробувань.

У рамках даної статті зупинимося на аналітичній та експериментальній частині обстеження та випробування тунельного шляхопроводу із металевих гофрованих конструкцій.

Аналітична методика визначення напружено-деформованого стану тунельного шляхопроводу. На основі значень осьових сил та згинальних моментів розраховуємо максимальні напруження у стінці металевій гофрованій конструкції за формулою:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} < f_{yd}, \quad (1)$$

де N, M — відповідно осьові сили та моменти сил у стані нормальної експлуатації споруди;
 A, W — відповідно площа поперечного перерізу та момент опору перерізу на одиницю довжини конструкції;

f_{yd} — границя текучості сталі гофрованої конструкції.

Осьову силу від оточуючого ґрунту засипки та транспортного навантаження визначають за формулою:

$$N = \frac{h_s}{D_h} (q_{st} + p_{tr}), \quad (2)$$

де h_s — висота ґрунтової засипки над вершиною конструкції;

D_h — горизонтальний переріз металевій гофрованої конструкції;

q_{st} — статичне навантаження, яке враховує навантаження від ґрунтової засипки та конструкції автомобільної дороги;

p_{tr} — тимчасове навантаження від транспортних засобів.

Згинальний момент залежить від відношення жорсткості ґрунтової засипки до жорсткості конструкції. Це відношення називається жорсткістю споруди і визначається за формулою:

$$\lambda_f = E_{jd} \cdot D_h^3 / (EI)_s, \quad (3)$$

де E_{jd} — модуль деформації ґрунтової засипки;
 E — модуль Юнга сталі конструкції;
 I_s — осьовий момент інерції одиниці довжини конструкції.

Згинальний момент, який виникає від навантажень ґрунту, як для межі граничного стану працездатності, так і в граничному стані, визначається за формулою:

– під час обчислення згинального моменту на вершині конструкції:

$$M_j = D_v^3 S_{ar} \frac{(\gamma_s h_s + \gamma_b h_b)}{D_v} \left(\frac{R_t}{R_s} \right)^{0.75} f_{cover}, \quad (4)$$

– під час обчислення згинального моменту на бокових сторонах конструкції:

$$M_j = -f_{surr} \rho_{cv} D_h^3, \quad (5)$$

де S_{ar} — арковий коефіцієнт;
 γ_s — питома вага ґрунтової засипки; γ
 γ_b — питома вага матеріалів дорожнього покриття;
 h_b — товщина дорожнього покриття;
 R_s — боковий радіус перерізу конструкції;
 R_t — вертикальний радіус перерізу конструкції;
 D_v — вертикальний розмір перерізу конструкції;
 f_{cover} , f_{surr} — функції, які обчислюють залежно від геометричних та фізичних характеристик ґрунтової засипки [38], зокрема від параметра жорсткості споруди λ_f , і визначають за формулами:

$$f_{surr} = 0,0046 - 0,0010 \cdot \log_{10}(\lambda_f), \quad f_{cover} = 0,018 - 0,004 \cdot \log_{10}(\lambda_f). \quad (6)$$

Формула (4) ґрунтується на експериментальних спостереженнях: у разі зворотної засипки відбувається ущільнення навколо пружної конструкції, вона стискається всередину по горизонтальних стінках, тоді на вершині конструкції виникає від’ємний згинальний момент. Цей момент досягає екстремуму, коли рівень засипки досягає рівня вершини конструкції. Коли засипка продовжується, вище рівня склепіння конструкції, конструкція стискається вниз і від’ємний момент знижується. Тому у формулі (4) уведено арковий коефіцієнт S_{ar} .

Згинальний момент, який виникає від дії еквівалентного лінійного навантаження транспортних засобів p_{tr} , розраховуємо за формулою:

$$M_{tr} = f_4 \ddot{D}_h p_{tr} + S_{ar} \left(\frac{R_t}{R_s} \right)^{0.75} \cdot f_{cover} \cdot 4D_h^2, \quad (7)$$

$$f_4 \ddot{=} = 0,120 \cdot \left(1 - 0,15 \cdot \log_{10}(\lambda_f) \right). \quad (8)$$

Крім того, умова $f_4 \ddot{=} < 1,0$ повинна завжди виконуватися.

Проектні згинальні моменти у конструкції від ґрунту та рухомого навантаження мають різні напрямки у різних точках її поперечного перерізу. Для встановлення максимального варіанта суперпозиції навантажень будемо сумувати значення моментів від дії постійного навантаження M_s та дії тимчасового навантаження M_{tr} :

$$M = M_s + M_{tr}. \quad (9)$$

Наступним важливим моментом оцінки несної здатності металевої гофрованої конструкції є перевірка утворення пластичного шарніру на максимально навантаженій ділянці конструкції за формулою [38]:

$$\left(\frac{N_{d.u}}{\omega f_{yd} A} \right) + \left(\frac{M_{d.u}}{M_u} \right) \leq 1,0, \quad (10)$$

де $N_{d.u}$, $M_{d.u}$ — нормальна сила та момент сили у гранично можливому стані експлуатації конструкції;

A — площа поперечного перерізу одиниці довжини конструкції;

M_u — допустиме значення згинального моменту одиниці довжини конструкції, за якого досягаються напруження текучості;

ω — сила вигину при повній пластичності металеві гофрованої конструкції [39], яку розраховують за формулою:

$$\omega = \frac{N_{cr}}{A f_{yd}}, \quad (11)$$

де N_{cr} — критичне навантаження відповідно до теорії авторів Klöppel & Glock [40].

Слід зазначити, що транспортні споруд із МГК — це система «грунт — конструкція», які працюють спільно, і несна здатність такої системи залежить від модуля деформації ґрунтової засипки. Тому перейдемо до його визначення. Проектне значення модуля деформації ґрунтової засипки пропонується визначати за формулою, яка наведена у роботах [38, 41]:

$$E_{s.d} = \frac{1}{\gamma_n \gamma_m} 0,42 \cdot m \cdot 100 \cdot k_v \left(\frac{(1 - \sin \varphi_k) \cdot \rho \cdot S_{ar} (h_s + H / 2)}{100} \right)^{1-\beta}, \quad (12)$$

де $\gamma_n \gamma_m$ — коефіцієнти, які залежать від класу безпеки конструкції;

h_s — висота ґрунтової засипки;

100 — перевідний коефіцієнт, кПа;

k_v — розрахунковий параметр, який залежить від кута внутрішнього тертя ґрунтової засипки φ_k і визначається за формулою:

$$k_v = \frac{\sin \varphi_k (3 - 2 \sin \varphi_k)}{2 - \sin \varphi_k}. \quad (13)$$

Обчислення модуля деформації ґрунтової засипки включає декілька етапів. На першому етапі обчислюють коефіцієнт пористості ґрунту за формулою:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1, \quad (14)$$

де ρ_s — щільність твердих частинок ґрунту;

ρ_d — істинна щільністю скелета ґрунту.

Модульне співвідношення m розраховуємо за формулою:

$$m = 282 \cdot C_u^{-0,77} \cdot e^{-2,83}, \quad (15)$$

де C_u — коефіцієнт однорідності, який залежить від співвідношень розмірів частинок ґрунту $C_u = d_{60} / d_{10}$.

Показник напружень β визначають за формулою:

$$\beta = 0,29 \cdot^{10} \log \left(\frac{d_{10}}{0,01} \right) - 0,065 \cdot^{10} \log (C_u). \quad (16)$$

Кут внутрішнього тертя ґрунтової засипки розраховують за формулою:

$$\varphi_k = 26^\circ + 10 \cdot (RP - 75) / 25 + 0,4 \cdot C_u + 1,6 \cdot \log_{10} (d_{50}), \quad (17)$$

де RP — відносний ступень ущільнення ґрунтової засипки;

d_{50} — розмір частинок матеріалу, частка яких становить 50 %.

Ступінь ущільнення ґрунтової засипки RP споруди визначають випробуванням зразків ґрунту за методом Проктора [38]:

$$\rho_{cv} = \rho_{opt} \frac{RP}{100}, \quad (18)$$

де ρ_{cv} — середня щільність ґрунтової засипки над вершиною конструкції;

ρ_{opt} — оптимальна щільність ґрунту.

Коефіцієнт S_{ar} відображає арковий ефект розподілу навантажень ґрунтової засипки на металеву конструкцію, який виникає за великої висоти засипки та визначається за формулами:

$$S_{ar} = \frac{1 - e^{-\kappa}}{\kappa}, \quad \kappa = 2S_v \frac{h_s}{D_h}, \quad S_v = \frac{0,8 \tan \varphi_{cv,d}}{\left(\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_{cv,d}} + 0,45 \tan \varphi_{cv,d}\right)^2}, \quad (19)$$

де S_v, κ — розрахункові параметри;

$\varphi_{cv,d}$ — проектний кут внутрішнього тертя ґрунту, який залежить від коефіцієнтів запасу несної здатності γ_n, γ_m та природнього кута внутрішнього тертя ґрунту:

$$\tan \varphi_{cv,d} = \frac{\tan \varphi_k}{\gamma_n \gamma_m}. \quad (20)$$

У формулі (20) значення γ_m , як правило, дорівнює 1,3, а $\gamma_n = 1,1$.

Далі наведемо практичне застосування аналітичної методики при оцінці несної здатності тунельного шляхопроводу із металевих гофрованих конструкцій, який експлуатується у тілі насипу автомобільної дороги.

Перевіряння металевих гофрованих конструкцій шляхопроводу за допустимими напруженнями та величини коефіцієнту пластичного шарніру. Для оцінки несної здатності тунельного шляхопроводу із МГК в умовах експлуатаційних навантажень прийнято чотири схеми завантаження шляхопроводу автосамоскидами IVECO, вагою по 38 т кожний (рис. 3): схема завантаження № 1 — один автосамоскид (A1) розташований над шляхопроводом із МГК; схема завантаження № 2 — два автосамоскиди (A1, A2) на одній смузі руху автомобільної дороги; схема завантаження № 3 — два автосамоскиди (A1, A2) на одній смузі руху і один автосамоскид (A3) на другій смузі руху та схема завантаження № 4 — чотири автосамоскиди над віссю шляхопроводу по два (A1 та A2, A3 та A4) на різних смугах руху автомобільної дороги.

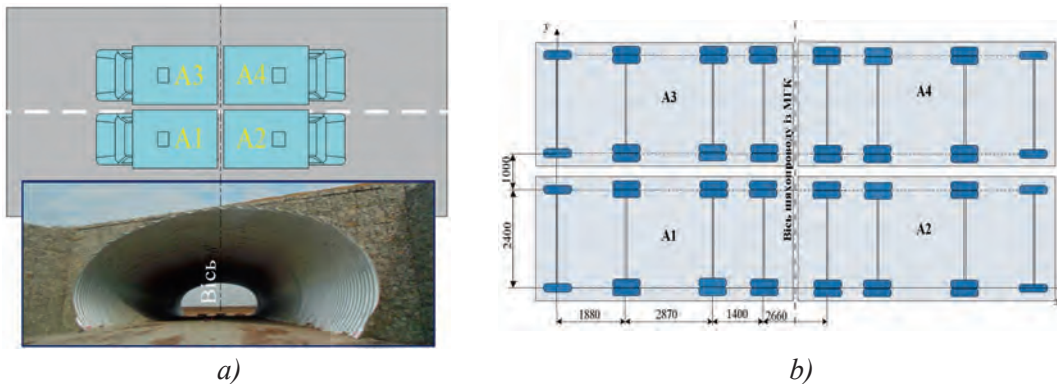


Рисунок 3 — Схеми завантаження шляхопроводу з МГК автосамоскидами (a) та геометрична схема колісних баз автосамоскидів IVECO (b)

Результати розрахунку розподілу вертикальних тисків від автосамоскидів на металеві гофровані конструкції тунельного шляхопроводу наведено на рис. 4. У разі завантаження за

схемою № 1 вертикальний тиск становить — 33,51 кПа; схемою № 2 — 38,92 кПа; схемою № 3 — 58,41 кПа та за схемою № 4 — 62,31 кПа.

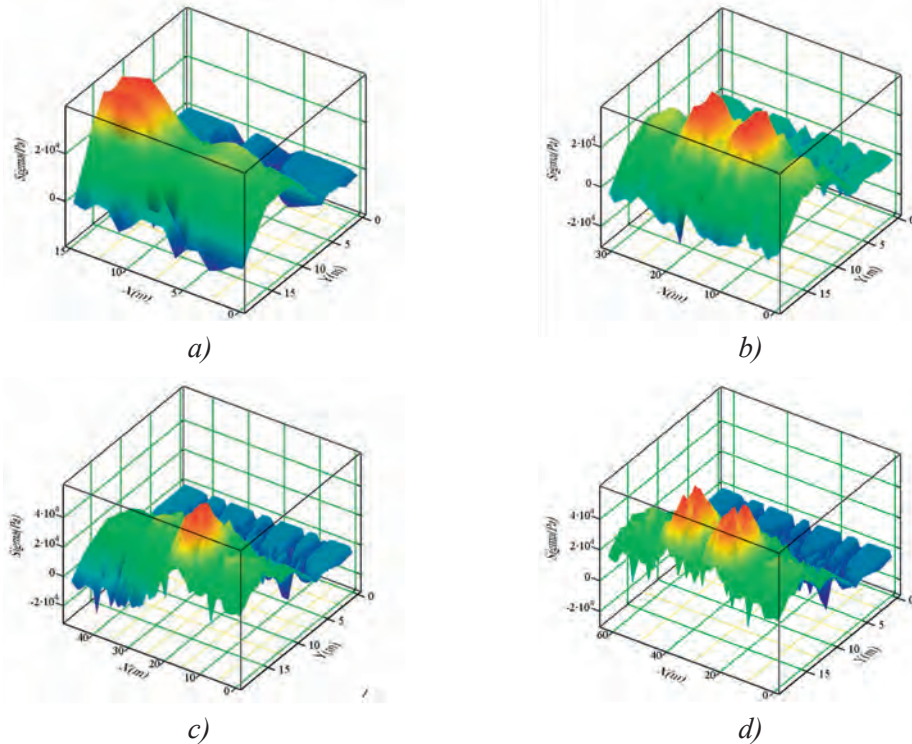


Рисунок 4 — Вертикальний тиск на металеві гофровані конструкції тунельного шляхопроводу від автосамоскидів при схемах завантаження: *a)* схема № 1; *b)* схема № 2; *c)* схема № 3; *d)* схема № 4

Далі проводимо оцінку несної здатності тунельного шляхопроводу залежно від схеми завантаження автосамоскидами. У розрахунку було прийнято, що ступінь ущільнення щебеневопіщаної ґрунтової засипки тунельного шляхопроводу становить $RP = 97\%$, а модуль деформації ґрунтової засипки — $E = 30$ МПа.

Розрахунок напружень і величин коефіцієнта пластичного шарніру в металевій гофрованій конструкції тунельного шляхопроводу із МГК залежно від схеми завантаження наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати розрахунку напружень та величин коефіцієнта пластичного шарніру

Схеми завантаження тунельного шляхопроводу	Напруження, МПа	Величина коефіцієнту пластичного шарніру
Схема №1	61,51	0,155
Схема №2	63,41	0,163
Схема №3	70,23	0,193
Схема №4	71,59	0,199

Із даних табл. 1 можна побачити, що максимальні напруження виникають під час завантаження шляхопроводу з МГК чотирма автосамоскидами та становлять 71,59 МПа, а величина коефіцієнта пластичного шарніру за заданого навантаження становить 0,199. Слід зазначити, що схема завантаження шляхопроводу автосамоскидами не значно впливає на величину напружень: різниця напружень, отриманих під час завантаження шляхопроводу одним автосамоскидом і чотирма становить до 15 %. Це дозволяє зробити припущення щодо ефективного розподілення навантаження від транспортних засобів у ґрунтовій засипці споруд із металевих гофрованих конструкцій.

Величина несної здатності металевих гофрованих конструкцій тунельного шляхопроводу при завантаженні його на 81 % від нормативного навантаження забезпечується, оскільки величина максимальних напружень становить до 20 % від допустимих значень напружень.

Скінченно-елементний розрахунок несної здатності тунельного шляхопроводу. Оцінку несної здатності тунельного шляхопроводу із МГК проведено також методом скінченно-елементного розрахунку при завантаженні його чотирма автосамоскидами IVECO. Геометричні та фізико-механічні параметри металевих гофрованих конструкцій шляхопроводу та ґрунтової засипки приймаємо ті, що наведені у попередніх вихідних даних. Результати напружено-деформованого стану металевих гофрованих конструкцій шляхопроводу наведені на рис. 5.

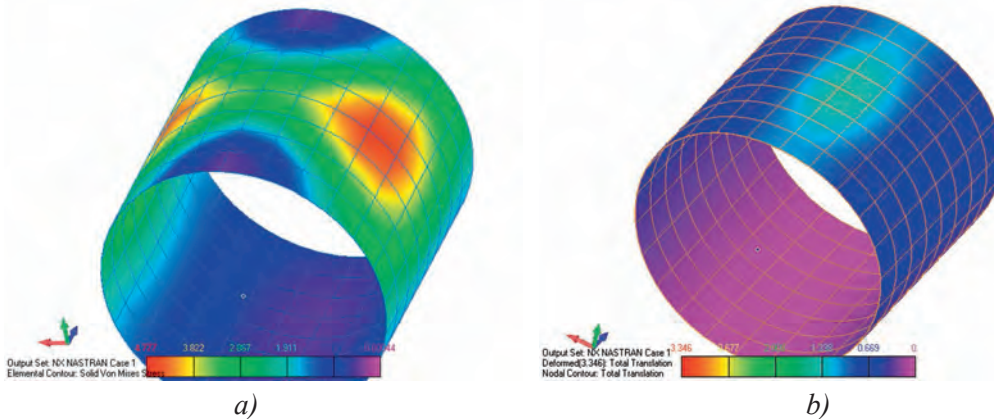


Рисунок 5 — Напружено-деформований стан металевих гофрованих конструкцій тунельного шляхопроводу: *a)* розподіл напружень; *b)* розподіл деформацій

Із результатів розрахунку видно, що максимальні напруження виникають не у склепінні металевої гофрованої конструкції, а на бокових стінках шляхопроводу при відхиленні від вертикальної осі на 20°. Величина напружень від експлуатаційного навантаження становить 4,77 МПа.

Величина вертикальних деформацій металевих гофрованих конструкцій тунельного шляхопроводу становить 1,57 мм. Таким чином величина відносних вертикальних деформацій металевих гофрованих конструкцій шляхопроводу при завантаженні за схемою № 4 становить 0,02 %, тобто відносні вертикальні деформації металевих гофрованих листів є меншими за 3 %, які регламентуються нормами [30, 31].

Експериментальні статичні випробування тунельного шляхопроводу. Метою експериментальних випробувань тунельного шляхопроводу із МГК було визначення його фактичного технічного стану та несної здатності в цілому. Схеми завантаження тунельного шляхопроводу та розташування вимірювальних приладів при випробуванні наведені на рис. 6.

Випробувальним навантаженням були 4 автосамоскиди IVECO вагою по 38 т кожен,

розташовані на двох смугах послідовно на правому проїзді (П) та на лівому проїзді (Л). Максимальна маса тимчасового навантаження становила 172 т. Під час випробувань реалізовано 7 схем завантаження шляхопроводу: схема 1 — правий проїзд, два автомобілі на правій смузі руху, симетричне завантаження відносно вертикальної осі шляхопроводу; схема 2 — правий проїзд, чотири автомобілі (по два автомобілі на кожній смузі руху), симетричне завантаження відносно вертикальної осі шляхопроводу; схема 3 — правий проїзд, чотири автомобілі (по два автомобілі на кожній смузі руху), одностороннє завантаження зліва відносно вертикальної осі шляхопроводу; схема 4 — правий проїзд, чотири автомобілі (по два автомобілі на кожній смузі руху), одностороннє завантаження справа відносно вертикальної осі шляхопроводу; схема 5 — лівий проїзд, чотири автомобілі (по два автомобілі на кожній смузі руху), симетричне завантаження відносно вертикальної осі шляхопроводу; схема 6 — лівий проїзд, чотири автомобілі (по два автомобілі на кожній смузі руху), одностороннє завантаження зліва відносно вертикальної осі шляхопроводу; схема 7 — лівий проїзд, чотири автомобілі (по два автомобілі на кожній смузі руху), одностороннє завантаження справа відносно вертикальної осі шляхопроводу.

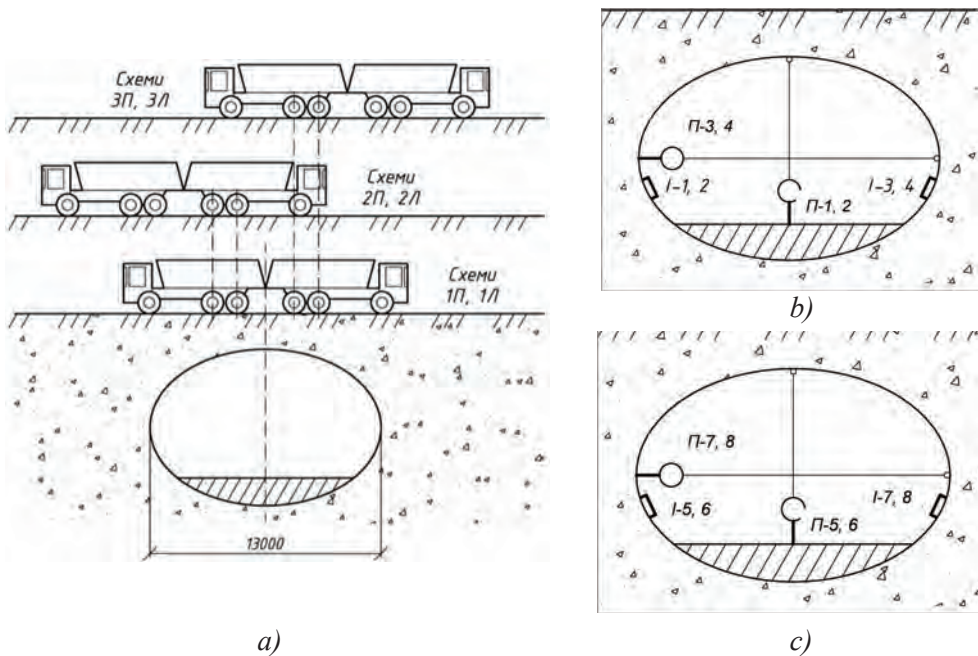


Рисунок 6 — Схеми завантаження шляхопроводу (а) та розташування вимірювальних приладів при випробуванні шляхопроводу по осі правого проїзду (b) та лівого проїзду (c); П — прогиноміри 6-ПАО; І — індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм на базі 200 мм

У шляхопроводі під правим і лівим проїздами для заміру загальних деформацій у вертикальному та горизонтальному напрямках було встановлено прогиноміри системи Аістова 6-ПАО з ціною поділки 0,01 мм, по два в кожному напрямку. Для заміру відносних деформацій металевих конструкцій тунельного шляхопроводу встановлено індикатори годинникового типу (ІГТ) з ціною поділки 0,001 мм на базі 200 мм в місцях найбільших відносних деформацій, на рівні горизонтальної осі шляхопроводу, по два з кожного боку (рис. 6, b, c). Загальний вигляд встановлених приладів наведено на рис. 7.



Рисунок 7 — Розміщення вимірювальних приладів на металевій гофрованій конструкції: а) прогиномірів П-1, П-2 та ПТГ І-1 та І-2; б) прогиномірів П-5, П-6

Вигляд натурних експериментальних випробувань тунельного шляхопроводу наведено на рис. 8.



Рисунок 8 — Вигляд схем завантаження шляхопроводу із МГК із лівого проїзду (а) та правого проїзду (б) чотирма автосамоскидами IVECO

Перед початком випробувань фіксувалися покази по всіх приладах без навантаження («нульові» покази, тобто умовні нулі). Автомобілі IVECO встановлювалися на смуги проїзду відповідно до схем завантаження. Після 15-хвилинної витримки під навантаженням знімалися покази на приладах під навантаженням конструкції шляхопроводу. Після з'їзду автомобілів із шляхопроводу через 15 хвилин знімалися покази на приладах для фіксації залишкових деформацій конструкції. Такі експериментальні випробування повторювалися для всіх схем завантаження.

Результати статичних випробувань (покази приладів) та загальні деформації в перерізах шляхопроводу наведено в табл. 2.

Із табл. 2 видно, що максимальний прогин (по осі z) отримано при завантаженні за схемою 2 — він становив 1,65 мм. При розрахунку за методикою скінченно-елементного моделювання отримано максимальний прогин по осі z шляхопроводу величиною 1,57 мм.

Таблиця 2

Результати вимірювання прогинів конструкції

№ схеми	Кількість машин	П-1	П-2	П-3	П-4	П-5	П-6	П-7	П-8
		f, см							
0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
1	2	0	-0,001	0	0	0,059	0,060	-	-
2	4	0	-0,020	0	0	0,159	0,165	-	-
0	0	0	-0,028	0	0	0,102	0,131	-	-
3	4	0	-0,028	0	0	0,131	0,143	-	-
0	0	0	-0,028	0	0	0,110	0,131	-	-
4	4	0	-0,028	0	0	0,158	0,154	-	-
0	0	0	-0,054	0	0	0,121	0,131	-	-
5	4	0	-0,054	-0,056	0	-	-	0,142	0,142
0	0	0	-0,054	-0,056	0	-	-	0,075	0,088
6	4	0	-0,054	-0,056	0	-	-	0,114	0,120
0	0	0	-0,054	-0,056	0	-	-	0,081	0,096
7	4	0	-0,054	-0,056	0	-	-	0,122	0,121
0	0	0	-0,054	-0,056	0	-	-	0,084	0,099

Відхилення експериментального прогину від теоретичного становить 8,83 %, при чому розрахунок дає певний запас міцності. Отже, порівняння теоретичних і експериментальних даних свідчить про коректність виконаних розрахунків конструкції шляхопроводу.

Результати вимірювання відносних деформацій конструкції шляхопроводу по ІГТ І-1-І-8 наведено у табл. 3.

Із табл. 3 видно, що максимальні відносні деформації металевих листів при випробувальному навантаженні становили 2×10^{-5} мм. Це свідчать про те, що напруження в листах (420 кг/см^2) менші ніж граничні.

Під час випробування шляхопроводу було досягнуто рівень навантаження 81 % від нормативного навантаження НК100.

Таблиця 3

Результати вимірювання відносних деформацій конструкції

№ схеми	Кількість машин	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7	I-8
		$\epsilon \times 10^{-5}$							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
1	2	0,5	1,0	0	0,5	0	0	-0,5	-1,0
2	4	1,0	1,5	0	0,5	0	0	-1,5	-1,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0,5	0	0,5	0	0	-0,5	-0,5

Кінець таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	4	1,5	2,0	0	0,5	0	0	-1,0	-1,0
0	0	0	0,5	0	0,5	0	0	-0,5	-0,5
4	4	0,5	1,0	0	0,5	0	0	-1,5	-2,0
0	0	0	0,5	0	0,5	0	0	-1,0	-1,0
5	4	0,5	1,0	0	1,5	0,5	1,05	-1,0	-1,0
0	0	0,5	1,0	0	0,5	0,5	0,5	-1,0	-1,0
6	4	0,5	1,0	0	1,5	0,5	1,0	-0,5	-1,0
0	0	0,5	1,0	0	0,5	0,5	0,5	-0,5	-1,0
7	4	0,5	1,0	0	0,5	0,5	1,5	-0,5	-1,0
0	0	0,5	1,0	0	0,5	0,5	0,5	-0,5	-1,0

Із результатів експериментальних досліджень металевих гофрованих конструкцій шляхопроводу на 228 км автомобільної дороги Київ – Харків – Довжанський при завантаженні його на 81 % від нормативного навантаження, чотирма автосамоскидами IVECO, встановлено, що максимальні напруження становлять 4,2 МПа, а максимальні теоретичні напруження, отримані за допомогою аналітичної методики, — 4,61 МПа та методом скінченних елементів — 4,77 МПа. Збіжність результатів напружень, визначених за допомогою удосконаленої аналітичної методики із експериментальними вимірюваннями напружено-деформованого стану споруди, становить 8,9 %, а при порівнянні із методом скінченних елементів — 11,9 %.

Значення прогинів, отриманих при статичних експериментальних випробуваннях металевих гофрованих конструкцій шляхопроводу, становлять 1,65 мм, а у разі скінченно-елементного розрахунку — 1,57 мм. Збіжність результатів складає 4,8 %.

У результаті обстеження і випробування тунельного шляхопроводу на км 228+160 автомобільної дороги М03 Київ – Харків – Довжанський встановлено, що шляхопровід має великий запас несної здатності і може експлуатуватись під навантаженням, яке відповідає нормованому навантаженню НК-100.

Висновки

1. Із результатів теоретичного розрахунку тунельного шляхопроводу із металевих гофрованих конструкцій автомобільної дороги Київ – Харків – Довжанський встановлено, що максимальні напруження при завантаженні шляхопроводу чотирма автосамоскидами IVECO вагою по 38 т становлять 71,59 МПа, а величина коефіцієнта пластичного шарніра за заданого навантаження становить 0,199, що складає запас несної здатності шляхопроводу до 80 %.

2. Встановлено, що схема завантаження шляхопроводу автосамоскидами незначно впливає на величину напружень, які виникають у склепінні металевих гофрованих конструкцій. Різниця напружень, отриманих при завантаженні шляхопроводу одним автосамоскидом, у порівнянні з чотирма становить до 15 %. Дані результати пояснюються ефективним розподілом навантажень від транспортних засобів у ґрунтовій засипці споруд із металевих гофрованих конструкцій.

3. Експериментальними дослідженнями встановлено, що при завантаженні шляхопроводу із МГК на 81 % від нормативного навантаження чотирма автосамоскидами IVECO, максимальні напруження становлять 4,2 МПа, а максимальні теоретичні напруження, отримані за допомогою

аналітичної методики — 4,61 МПа (збіжність 8,9 %), та методом скінченних елементів — 4,77 МПа (збіжність 11,9 %). Тому удосконалена аналітична методика пропонується до практичного застосування під час оцінювання несучої здатності транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій.

Список літератури

1. Компанія ViaCon. URL: <http://viacon.ua/gallery.html> (дата звернення: 20.04.2020).
2. Коваль П. М., Бабяк І. П., Сітдикова Т. М. Нормування при проектуванні і будівництві споруд з металевих гофрованих конструкцій. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. Дніпропетровськ, 2010. №39. С.114–117.
3. Металлические гофрированные конструкции: достоинства и перспективы. *Евразия Вести. Транспортная газета*. Москва, 2008. № 2.
4. ARMTEG/Gonsiraction Products; 15 Campbell Road, P:0; Box3000, Ontario, N1H6P2.
5. Fracasso. Catalogo Generale. Metalmeccanica Fracasso SpA, Italy, MOD.301/1000/3.2001/LP.
6. Алтунин В. И., Черных О.Н., Федотов М. В. Водопропускные сооружения транспортных магистралей из металлических гофрированных структур Москва, 2016. 304 с.
7. Свечников В.А. Совершенствование конструкций мостовых сооружений из металлических гофрированных элементов с применением армогрунтовых систем: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2015. 139 с.
8. Ковальчук В. В. Основні засади розрахунку металевих гофрованих конструкцій методом скінченних елементів при взаємодії з ґрунтовою засипкою. *Вісник ОДАБА*. Одеса, 2014. Вип. № 56. С. 94–102.
9. Стасюк Б. М., Станкевич В. З., Ковальчук В. В., Лучко Й. Й. Дослідження напружено-деформованого стану металевих гофрованих конструкцій при взаємодії з ґрунтом засипки. *Збірник наук. праць Дніпропетровського нац. ун-ту залізн. транспорту ім. академ. В. Лазаряна «Мости та тунелі: Теорія, дослідження, практика»*. Дніпропетровськ, 2014. Вип. 5. С. 105–111.
10. Ковальчук В. В. Скінченно-елементний розрахунок напружено-деформованого стану металевих гофрованих конструкцій при взаємодії із ґрунтом засипки у програмному середовищі NX NASTRAN. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. Львів, 2015. № 16. С. 19–25.
11. Ковальчук В. В. Перспективи застосування металевих гофрованих конструкцій на залізничних та автомобільних дорогах України. *Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України»*. Київ, 2015. № 2 (111). С. 32–37.
12. Ковальчук В. В. Характер зміни величини тиску на вершину металевої гофрованої труби у залежності від висоти засипки над нею при дії рухомого складу залізниць. *Збір. наук. праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди»*. Рівне, 2015. № 30. С. 441–447.
13. Ковальчук В. В. Вплив товщини гофрованого елемента на напружено-деформований стан металевих гофрованих конструкцій. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна «Наука та прогрес транспорту»*. Дніпропетровськ, 2015. Вип. 3 (57). С. 199–207. DOI: <http://dx.doi.org/10.15802/stp2015/46079> (дата звернення: 20.04.2020).
14. Ковальчук В. В. Напружено-деформований стан залізобетонних труб, підсилених металевою гофрованою трубою, при взаємодії із ґрунтовою засипкою. *Вісник ОДАБА*. Одеса, 2015. Вип. 58. С. 176–185.

15. Лучко Й. Й., Ковальчук В. В., Набоченко О. С. Дослідження несучої здатності металеві гофрованої конструкції за критерієм розвитку пластичного шарніру. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна «Наука та прогрес транспорту»*. Дніпропетровськ, 2015. Вип. 5 (59). С. 180–194.

16. Luchko Josef, Kovalchuk Vitalii Methods of assessing the bearing capacity of corrugated metal structures. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*. 2016. № 3 (83). С. 79–90.

17. V. Kovalchuk, J. Luchko, I. Bondarenko, R. Markul, B. Parneta Research and analysis of the stressed-strained state of metal corrugated structures of railroad tracks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkov, 2016. N 6/7 (84). P. 4–10. DOI: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.84236> (дата звернення: 20.04.2020).

18. Лучко Й. Й., Ковальчук В. В., Ковальчук Ю. Є. Напружено-деформований стан металевих гофрованих конструкцій при взаємодії із ґрунтом засипки. *Вісник національного університету «Львівська політехніка»*. Серія: Теорія і практика будівництва. Львів, 2017. № 877. С. 131–136.

19. Kovalchuk V. The study of strength of corrugated metal structures of railroad tracks / V. Kovalchuk, R. Markul, O. Bal, A. Milyanych, A. Pentsak, B. Parneta, O. Gajda. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkov, 2017. N 2/7 (86). P. 18–25. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96549> (дата звернення: 20.04.2020).

20. Kovalchuk V. Study of the stress-strain state in defective railway reinforced concrete pipes restored with corrugated metal structures. V. Kovalchuk, R. Markul, A. Pentsak, B. Parneta, O. Gajda, S. Braichenko. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkov, 2017. N 5/1 (89). P. 37–44. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109611> (дата звернення: 20.04.2020).

21. Kovalchuk Vitalii. Estimation of carrying capacity of metallic corrugated structures of the type multiplate mp 150 During interaction with backfill soil. Vitalii Kovalchuk, Yuri Kovalchuk, Mykola Sysyn, Volodymyr Stankevych, Oleksiy Petrenko. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkov, 2018. N 1/1 (91). P. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123002> (дата звернення: 20.04.2020).

22. Luchko Josef. Investigation of influence of the metal corrugated pipe diameter on its stress-strain state / Josef Luchko, Vitalii Kovalchuk, Ivan Kravets. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*. 2018. № 3 (91). P. 26–35.

23. Kovalchuk Vitalii. Study of the temperature field and the thermos-elastic state of the multilayer soil-steel structure. Vitalii Kovalchuk, Yuriy Hnativ, Joseph Luchko, Mykola Sysyn. *Drogi i Mosty*. 19 (2020) 65–78. DOI: <http://dx.doi.org/10.7409/rabdim.020.004> (дата звернення: 20.04.2020).

24. Luchko J.J. Experimental researches of temperature distribution on surfaces of transport facilities from metal corrugated structures / J.J. Luchko, V.V. Kovalchuk, I.B. Kravets, V.S. Dzhus. *ODABA Bulletin*. Odessa, 2019. Issue № 76. P. 52–62. (Лучко Й. Й. Експериментальні дослідження розподілу температур на поверхнях транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій. Й. Й. Лучко, В. В. Ковальчук, І. Б. Кравець, В. С. Джус. *Вісник ОДАБА*. Одеса, 2019. Вип. № 76. С. 52–62.

25. Nabochenko O. Studying the railroad track geometry deterioration as a result of an uneven subsidence of the ballast layer. O. Nabochenko, M. Sysyn, V. Kovalchuk, Yu. Kovalchuk, A. Pentsak, S. Braichenko. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkov, 2019. N 1/7(97). P. 50–59. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154864> (дата звернення: 20.04.2020).

26. Gera B. A study of the effects of climatic temperature changes on the corrugated structure of a culvert of a transportation facility. B. Gera, V. Kovalchuk. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkov, 2019. N 3/7(99). P. 26–35. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.168260> (дата звернення: 20.04.2020).

27. Sysyn M. P. Die Tragfähigkeit von Eisenbahndurchlässen in Abhängigkeit von der Bauausführung und der Instandhaltung. M. P. Sysyn, W. W. Kowaltschuk, O. S. Nabotschenko, Ulf Gerber. *ETR. Eisenbahntechnische Rundschau*. Euralpres, Deutschland, 2016. Vol. 5. S. 39–44.

28. Gerber U. Assessment of the load-carrying capacity of flexible metal culverts with residual deformations on the Ukrainian Railways. U. Gerber, M. P. Sysyn, V. V. Kovalchuk, O. S. Nabochenko. *Věda a výzkum pro práce na železniční dopravní cestě*. 2016. P. 188–191.
29. ДБН В.1.2-15:2009 Мости та труби. Навантаження і впливи. Київ, 2009. 84 с. (Інформація та документація).
30. ВБН В.2.3-218-198:2007 Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд із металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2007. (Інформація та документація).
31. 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. 122 с. (Інформація та документація).
32. Звіт з обстеження та випробування тунельного шляхопроводу із металевих гофрованих конструкцій на км 228+160 автомобільної дороги М-03 Київ–Харків–Довжанський. Київ, 2015. 124 с. (Інформація та документація).
33. ДБН В.2.3-14-2006 Мости та труби. Правила проектування. Київ, 2006. – 217 с. (Інформація та документація).
34. ДБН В.2.3-22:2009 Мости та труби. Основні вимоги проектування. Київ, 2009. 73 с. (Інформація та документація).
35. ДБН В.2.3-6:2009 Мости та труби. Обстеження і випробування. Київ, 2009. 49 с. (Інформація та документація).
36. ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2009 Споруди транспорту. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ, 2009. 54 с.
37. ДБН В.2.3-20-2008 Мости та труби. Виконання та приймання робіт. Київ, 2008. 102 с. (Інформація та документація).
38. Pettersson L. Fatigue design of soil steel composite bridges. L. Pettersson, J. Leander, L. Hansing. *Archives of institute of civil engineering*. 2002. Nr. 12. P. 237–242.
39. BSK 99 Boverkets handbok om stålkonstruktioner, Boverket, 1999. (In Swedish, The National Board of Housing, Building and Planning: Design standard for steel structures).
40. Kloppel K. Theoretische und experimentelle Untersuchungen zu den Traglastproblemen beigewiecher, in die Erde eingebetteter Rohre. K. Kloppel, D. Glock. *Veröffentlichung des Instituts Statik und Stahlbau der Technischen Hochschule Darmstadt*. 3/1979, H-10.
41. Wysokowski A. Mostowe konstrukcje gruntowo-powłokowe. Laboratoryjne badania niszczące. A. Wysokowski, L. Janusz. *Awarie w czasie budowy i eksploatacji: XXIII konferencja naukowo-techniczna*. Szczecin, 2007. S. 541–550.

References

1. ViaCon. URL: <http://viacon.ua/gallery.html> (Last accessed: 20.04.2020) [in Ukrainian].
2. Koval P. M. Normuvannya pry proektuvanni i budivnytstvi sporud z metalovykh hofrovanykh konstruktssii (Standardization during design and construction of facilities made of metal corrugated structures). *Visnik Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo universitetu zaliznynogo transportu*. Dnipropetrovsk, 2010. № 39. P. 114–117. [in Ukrainian].
3. Metallicheskie gofrirovannyye konstruktssii: dostoinstva i perspektivy (Metal corrugated structures: advantages and prospects). *Eurasia Vesti. Transport newspaper*. Moscow, 2008. N 2. [in Russian].
4. RMTEG/Gonsiraction Products; 15 Campbell Road, P:0; Box3000, Ontario, N1H6P2 [in English].

5. Fracasso. Catalogo Generale. Metalmeccanica Fracasso SpA, Italy, MOD.301/1000/3.2001/LP [in English].
6. Altunin V. I. Vodopropusknyie sooruzheniya transportnyih magistraley z metallicheski hgofrirovanyih struktur (Culverts of transport highways from metal corrugated structures). V. I. Altunin, O. N. Chernykh, M. V. Fedotov. Moscow, MADI, 2016. 304 p. [in Russian].
7. Svechnikov V.A. Sovershenstvovanie konstruktivnykh mostovykh i hsooruzheniy z metallicheski hgofrirovanyih elementov s primeneniem armogruntovyih sistem (Perfection of bridge designs from metal corrugated elements with application of reinforced soil systems): PhD Thesis. Moscow, 2015. 139 p. [in Russian].
8. Kovalchuk V.V. Osnovni zasady rozrakhunku metalevykh hofrovanykh konstruktivnykh metodom skinchenykh elementiv pry vzaiemodii z gruntovoiu zasypkoiu (Basic principles of calculation of metal corrugated structures by the method of finite elements at the interaction with the soil backfill). *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*. Odessa, 2014. N 56. P. 94–102. [in Ukrainian].
9. Stasiuk B.M. Doslidzhennia napruzhenno-deformovanoho stanu metalevykh hofrovanykh konstruktivnykh pry vzaiemodii z gruntom zasypky (Investigation of the stress-strain state of metal corrugated structures at the interaction with the soil backfill). B.M. Stasiuk, V.Z. Stankevych, V.V. Kovalchuk, J.J. Luchko. *Collection of Scientific works of Dnipropetrovsk National University of railway transport named after Academician V. Lazarian «Bridges and tunnels: Theory, research, practice*. Dnipropetrovsk, 2014. Issue 5. P. 105–111. [in Ukrainian].
10. Kovalchuk V.V. Skinchenno-elementnyi rozrakhunok napruzhenno-deformovanoho stanu metalevykh hofrovanykh konstruktivnykh pry vzaiemodii iz gruntom zasypky u prohrannomu seredovyschi NX NASTRAN (Finite element calculation of the stress-strain state of metal corrugated structures at the interaction with the soil backfill in the software environment NX NASTRAN). *Bulletin of Lviv National Agrarian University*. Lviv, 2015. № 16. P. 19–25. [in Ukrainian].
11. Kovalchuk V.V. Perspektyvy zastosuvannya metalevykh hofrovanykh konstruktivnykh na zaliznychnykh ta avtomobilnykh dorohakh Ukrainy (Prospects of the use of metal corrugated structures on railways and highways of Ukraine). *Scientific and practical journal «Railway Transport of Ukraine»*. Kyiv, 2015. N 2 (111). P. 32–37. [in Ukrainian].
12. Kovalchuk V.V. Kharakter zminy velychyny tysku na vershynu metalevoi hofrovanoi truby u zalezhnosti vid vysoty zasypky nad neiu pry dii rukhomoho skladu zaliznyts (The nature of the change in the pressure on the top of the metal corrugated culvert depending on the height of the backfill above it under the impact of railway rolling stock). *Collection of Scientific works «Resource-saving materials, structures, buildings and structures»*. Rivne, 2015. № 30. P. 441–447. [in Ukrainian].
13. Kovalchuk V. V. Vplyv tovshchyny hofrovanooho elementa na napruzhenno-deformovanyi stan metalevykh hofrovanykh konstruktivnykh (Impact of corrugated element thickness on stress-strain state of metal corrugated structures). *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of railway transport named after Academician V. Lazarian «Science and progress of transport»*. Dnipropetrovsk, 2015. N 3 (57). P. 199–207. DOI: <http://dx.doi.org/10.15802/stp2015/46079> (Last accessed: 20.04.2020) [in Ukrainian].
14. Kovalchuk V.V. Napruzhenno-deformovanyi stan zalizobetonnykh trub, pidsylenykh metalevoiu hofrovanoi truboio, pry vzaiemodii iz gruntovoiu zasypkoiu (Stress-strain state of reinforced concrete culverts reinforced with metal corrugated culvert at the interaction with the soil backfill). *Visnik Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo universitetu zaliznicnogo transportu*. Odessa, 2015. Issue 58. P. 176-185. [in Ukrainian].
15. Luchko J.J. Doslidzhennia nesuchoi zdatnosti metalevoi hofrovanoi konstruktivnykh za kryteriiem rozvytku plastychnoho sharniru (Investigation of the bearing capacity of a metal corrugated structure according to the criterion of plastic hinge development). *Bulletin of Dnipropetrovsk National*

University of railway transport named after Academician V. Lazarian «Science and progress of transport». Dnipropetrovsk, 2015. N 5 (59). P. 180–194. [in Ukrainian].

16. Luchko Josef. Methods of assessing the bearing capacity of corrugated metal structures. Josef Luchko, Vitalii Kovalchuk. *Visnik Ternopil's'kogo nacional'nogo tehničnogo unіversitetu.* Ternopil, 2016. N 3 (83). P. 79–90. [in English].

17. Kovalchuk V. Research and analysis of the stressed-strained state of metal corrugated structures of railroad tracks. V. Kovalchuk, J. Luchko, I. Bondarenko, R. Markul, B. Parneta. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* Kharkov, 2016. N 6/7 (84). P. 4–10. DOI: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.84236> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

18. Luchko J.J. Napruzhenno-deformovanyi stan metalevykh hofrovanykh konstruktsii pry vzaiemodii iz gruntom zasypky (The stress-strain state of metal corrugated structures at the interaction with the soil backfill). *Visnik Nacional'nogo unіversitetu "L'viv's'ka politehnika". Seriâ: Teoriâ i praktika budivnictva.* Lviv, 2017. № 877. P. 131–136. [in Ukrainian].

19. Kovalchuk V. The study of strength of corrugated metal structures of railroad tracks. V. Kovalchuk, R. Markul, O. Bal, A. Milyanych, A. Pentsak, B. Parneta, O. Gajda // *Eastern-European journal of enterprise technologies.* Kharkov, 2017. N 2/7 (86). P. 18–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96549> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

20. Kovalchuk V. Study of the stress-strain state in defective railway reinforced concrete pipes restored with corrugated metal structures. V. Kovalchuk, R. Markul, A. Pentsak, B. Parneta, O. Gajda, S. Braichenko. *Eastern-European journal of enterprise technologies.* Kharkov, 2017. N 5/1 (89). P. 37–44. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109611> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

21. Kovalchuk Vitalii. Estimation of carrying capacity of metallic corrugated structures of the type multiplate mp 150 During interaction with backfill soil. Vitalii Kovalchuk, Yuri Kovalchuk, Mykola Sysyn, Volodymyr Stankevych, Oleksiy Petrenko. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* Kharkov, 2018. N 1/1 (91). P. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109611> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

22. Luchko Josef. Investigation of influence of the metal corrugated pipe diameter on its stress-strain state. Josef Luchko, Vitalii Kovalchuk, Ivan Kravets. *Visnik Ternopil's'kogo nacional'nogo tehničnogo unіversitetu.* 2018. N 3 (91). P. 26–35 [in English].

23. Kovalchuk Vitalii. Study of the temperature field and the thermos-elastic state of the multilayer soil-steel structure / Vitalii Kovalchuk, Yuri Hnativ, Joseph Luchko, Mykola Sysyn. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty.* N 19 (2020). P. 65–78. DOI: <http://dx.doi.org/10.7409/rabdim.020.004> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

24. Luchko Y. Y. Eksperymentalni doslidzhennia rozpodilu temperatur na poverkhniakh transportnykh sporud iz metalevykh hofrovanykh konstruktsii (Experimental researches of temperature distribution on surfaces of transport facilities from metal corrugated structures). Y. Y. Luchko, V. V. Kovalchuk, I. B. Kravets, V. S. Dzhus. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury.* Odesa, 2019. N 76. P. 52–62. [in Ukrainian].

25. Nabochenko O. Studying the railroad track geometry deterioration as a result of an uneven subsidence of the ballast layer. O. Nabochenko, M. Sysyn, V. Kovalchuk, Yu. Kovalchuk, A. Pentsak, S. Braichenko. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* Kharkov, 2019. N 1/7(97). P. 50-59. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154864> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

26. Gera B. A study of the effects of climatic temperature changes on the corrugated structure of a culvert of a transportation facility. B. Gera, V. Kovalchuk. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* Kharkov, 2019. N 3/7(99). P. 26–35. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.168260> (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

27. Sysyn M. P. Die Tragfähigkeit von Eisenbahndurchlässen in Abhängigkeit von der Bauausführung und der Instandhaltung. M. P. Sysyn, W. W. Kowaltschuk, O. S. Nabotschenko, Ulf Gerber. *ETR. Eisenbahntechnische Rundschau*. Euralpres, Deutschland, 2016. N 5. P. 39–44 [in German].
28. Gerber U. Assessment of the load-carrying capacity of flexible metal culverts with residual deformations on the Ukrainian Railways. U. Gerber, M. P. Sysyn, V. V. Kovalchuk, O. S. Nabochenko. *Věda a výzkum pro práce na železniční dopravní cestě*. 2016. P. 188–191. [in English].
29. State Building Norms (DBN V.1.2-15: 2009) Mosty ta truby. Navantazhennia i vplyvy (Bridges and culverts. Loads and impacts). Kyiv, 2009. 84 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
30. Departmental building standards of Ukraine (VBN V.2.3-218-198:2007) Sporudy transportu. Proektuvannia ta budivnytstvo sporud iz metalevykh hofrovanykh konstruksii na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia (Transport facilities. Design and construction of facilities made of corrugated metal structures on public roads). Kyiv, 2007. (Information and documentation) [in Ukrainian].
31. Posibnyk do VBN V.2.3-218-198:2007 Sporudy transportu. Proektuvannia ta budivnytstvo sporud iz metalevykh hofrovanykh konstruksii na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia (Manual to VBN V.2.3-218-198:2007 Transport facilities. Design and construction of facilities made of corrugated metal structures on public roads). Kyiv, 2007. 122 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
32. Zvit z obstezhennia ta vyprobuvannia tunelnogo shliakhoprovodu iz metalevykh hofrovanykh konstruksii na km 228+160 avtomobilnoi dorohy M-03 Kyiv–Kharkiv–Dovzhanskyi (Report on inspection and testing of the tunnel overpass made of corrugated metal structures at km 228 + 160 of the highway M-03 Kyiv – Kharkiv – Dovzhanskyi). 2015. 124 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
33. State Building Norms (DBN V.2.3-14:2006) Mosty ta truby. Pravyla proektuvannia (Bridges and pipes. Design rules). Kyiv, 2006. 217 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
34. State Building Norms (DBN V.2.3-22:2009) Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannia (Bridges and pipes. Basic design requirements). Kyiv, 2009. 73 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
35. State Building Norms (DBN V.2.3-6:2009) Mosty ta truby. Obstezhennia i vyprobuvannia (Bridges and pipes. Inspection and tests). Kyiv, 2009. 49 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
36. State Standard of Ukraine (DSTU-N BV.2.3-23:2009) Sporudy transportu. Nastanova z otsiniuvannia i prohnozuvannia tekhnichnoho stanu avtodorozhnykh mostiv (Transport facilities. Guidelines for assessing and forecasting the technical condition of road bridges). Kyiv, 2009. 54 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
37. State Building Norms (DBN V.2.3-20-2008) Mosty ta truby. Vykonannia ta pryimannia robit (Bridges and pipes. Fullfilment and acceptance of works). Kyiv, 2008. 102 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
38. Pettersson L. Fatigue design of soil steel composite bridges. L.Pettersson, J. Leander, L. Hansing. *Archives of institute of civil engineering*. 2002. N 12. P. 237–242. [in English].
39. BSK 99 Boverkets handbok om stålkonstruktioner, Boverket, 1999. (In Swedish, The National Board of Housing, Building and Planning: Design standard for steel structures) [in English].
40. Kloppel K. Theoretische und experimentelle Untersuchungen zu den Traglastproblemen beigewiecher, in die Erde eingebetteter Rohre. K. Kloppel, D. Glock. *Veroffentlichung des Instituts Statik und Stahlbau der Technischen Hochschule Darmstadt*. 3/1979, H-10. [in German].
41. Wysokowski A. Mostowe konstrukcje gruntowo–powlokowe. Laboratoryjne badania niszczacze. A. Wysokowski, L. Janusz. *Awarie w czasie budowy i eksploatacji: XXIII konferencja naukowo-techniczna*. Szczecin, 2007. S. 541–550. [in Poland].

Vitalii Kovalchuk,¹ Ph.D., <https://orcid.org/0000-0003-4350-1756>

Petro Koval,² Ph.D., Prof., <https://orcid.org/0000-0002-0040-5900>

Maksym Koval,³ Ph.D., <https://orcid.org/0000-0003-1244-1738>

¹Lviv Branch of Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lviv, Ukraine

²National Academy of Fine Arts and Architecture, Kiev, Ukraine

³Scientific –industrial enterprise «Triada» Ltd., Co, Lviv, Ukraine

METHODS OF TUNNEL INSPECTION AND TESTING OF METAL CORRUGATED STRUCTURES AT KM 228 + 160 OF KYIV-KHARKIV-DOVZHANSKY HIGHWAY

Abstract

Introduction. Brief information on manufacturers of metal corrugated structures in Ukraine and abroad is presented. Examples of transport structures made of metal corrugated structures (MCS) are presented. The necessity of improvement of the regulatory base of Ukraine as for calculation, inspection and testing of transport constructions made of metal corrugated structures is substantiated.

Problem statement. Experience in operating corrugated metal structures indicates that, in some cases, they do not have a standardized service life, which should correspond to the design durability. When operating, constructions with MCSs are prone to the formation of residual deformations in structure cross-section, which affects their bearing capacity. In order to prevent these damages, it is necessary to carry out inspections and testing of such transport facilities. This, in turn, requires the development of reliable analytical methods for assessing the load-bearing capacity of transport constructions made of corrugated metal structures when interacting with soil compaction backfill, and the improvement of experimental methods for these structure testing for static and dynamic loads.

Purpose. The purpose of the work is to develop analytical and experimental methods for assessing the load-bearing capacity of a transport structure made of metal corrugated structures, which is operated in the body of a highway embankment, during its examination and testing.

Results. The program of inspection and testing of a tunnel underpass made of metal corrugated structures on the highways of Ukraine is offered. The analytical method of estimation of load-bearing capacity of metal corrugated structures of an underpass under the influence of static loads from motor vehicles is presented, and the stress distribution in the structures at different combinations of tunnel underpass loading is obtained. The load-bearing capacity of metal corrugated structures was evaluated by the finite element method. The technique of experimental testing of a tunnel underpass made of corrugated metal structures is offered and full-scale experimental tests of an underpass for static loads are conducted.

Conclusions. The difference between the stresses obtained by loading the underpass with one and four dump trucks is up to 15 %, which leads to the conclusion that the load distribution angle is less than 45 degrees. Therefore, such structures can be used under multi-lane highways or multi-lane railways, provided that the height of the soil backfill is greater than 2.0 m. The reserve capacity of the tunnel underpass is 80 %.

Key words: test, corrugated metal structure, stress-strain state, bearing capacity, transport structure.

УДК 624.21:625.745.1

Цинка А.О., <http://orcid.org/0000-0002-0357-2325>

Боднар Л.П., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-4754-721X>

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

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ НА ОСНОВІ АНАЛІТИЧНОЇ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МОСТАМИ

Анотація

Вступ. Державним агентством автомобільних доріг України (Укравтодор) впроваджується Аналітична експертна система управління мостами (АЕСУМ), яка акумулює інформацію щодо мостів на дорогах загального користування України. Аналітичну інформацію з бази даних програмного комплексу АЕСУМ використовують на всіх рівнях дорожньої галузі, регулярно проводяться роботи з її наповнення АЕСУМ інформацією з обстежень, паспортизації, враховуються всі зміни в класифікації доріг, мостів тощо. Отримана з АЕСУМ інформація дає можливість узагальнити дані про технічний стан різних типів прогонових будов і опор мостів, виявити найбільш поширені дефекти цих конструкцій, оцінити розмір витрат на ремонт тощо.

Проблематика. Основна частина мостів України має вік більше 50–60 років. Зношення таких конструкцій неминуче. Ситуація ускладнюється зростанням навантаження на мости, цей процес значно прискорився в останні десятиліття. За допомогою АЕСУМ створюється можливість узагальнити інформацію та вибрати правильну стратегію ремонту та утримання мостів.

Аналіз публікацій [1], [4], [6] свідчить, що створені і реалізовані системи в різних країнах мають багато спільного: є база даних по мостах; здійснюється планування робіт; виконується ранжування об'єктів для призначення пріоритетного виконання робіт. Детальний збір інформації з обстежень мостових переходів і науковими співробітниками ДерждорНДІ дозволяє використовувати АЕСУМ з науковою метою, що вимагає постійного розвитку та вдосконалення програмного комплексу.

Мета. Розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо утримання мостових переходів і забезпечення їх надійної і безаварійної експлуатації.

Матеріали та методи. База даних АЕСУМ містить у собі біля 150 параметрів кожного моста. Тут зберігається також детальна інформація про окремі елементи мостів, такі як прогонові будови, опори, фундаменти, а також фотографії і креслення. У відомість дефектів внесено виявлені за результатами обстежень дефекти з детальним описом, обсягом розповсюдження та оцінкою їх впливу на стан елемента. В автоматичному режимі розраховується експлуатаційний стан споруди. Для кожного елемента моста є можливість визначити залишковий ресурс із побудовою кривої деградації, що дозволяє прогнозувати стан елементів споруди на певний період часу в майбутньому. Ранжирування мостів за потребою ремонтів проводиться за двома показниками – експлуатаційним станом та категорією дороги. У складі АЕСУМ розроблено модуль стратегічного управління ремонтами та експлуатаційним утриманням мостів.

Результати. На сьогоднішній день функціонал програмного комплексу АЕСУМ співрозмірний з основними зарубіжними системами управління мостами. В програмному комплексі

АЕСУМ реалізована модель деградації елементів автодорожніх мостів для управління життєвим циклом мостів що є системним науковим базисом розробки стратегії ремонтів мостів України та реалізована у нормативному документі з експлуатації автодорожніх мостів [10]. Встановлений кількісний критерій для мостів, що перебувають у п'ятому (непрацездатному) стані, який дозволяє на основі даних обліку в АЕСУМ швидко визначити доцільність капітального ремонту або реконструкції моста замість його закриття і заміни новим.

Висновки. Використання АЕСУМ, постійне вдосконалення програмного комплексу шляхом розроблення нових модулів дозволяє робити науково обгрунтовані висновки, які базуються на поглибленому аналітичному матеріалі, здійснювати наукові дослідження, виконувати інтелектуальний аналіз даних, виявляти закономірності та певні проблеми в експлуатації мостів. При цьому основною вимогою до бази даних залишається її 100-відсоткове наповнення, для чого необхідно, щоб були обстежені всі автодорожні мости і своєчасно виконувалися повторні обстеження, терміни яких призначаються відповідно до вимог нормативів з обстеження мостів залежно від стану моста і вказуються в паспорті моста.

Ключові слова: автодорожній міст, паспорт моста, система управління станом мостів, стратегії експлуатації мостів.

Вступ

Аналітична експертна система управління мостами (АЕСУМ) — універсальний інструмент системи експлуатації мостів України на дорогах загального користування, їх моніторингу та підтримання в безпечному для експлуатації стані. Від широкого впровадження АЕСУМ очікується значний соціально-економічний ефект за рахунок оптимального використання коштів на ремонт та реконструкцію, контролю безпечної експлуатації споруд, подовження їх залишкового ресурсу та, тим самим, збільшення пропускної спроможності транспортної мережі України [1].

Метою роботи є розроблення науково обгрунтованих рекомендацій щодо утримання автодорожніх мостів і забезпечення їх надійної та безаварійної експлуатації.

Результатом впровадження програмного комплексу АЕСУМ є автоматизація отримання формалізованої оцінки технічного стану мостів, ранжування споруд за потребами, складання планів з обстежень, розроблення експертних рекомендацій у стратегії експлуатації мостів на автомобільних дорогах із метою планування фінансових ресурсів на їх ремонти та утримання.

Основна частина

Згідно з даними Аналітичної експертної системи управління мостами всього на дорогах загального користування обліковується 16 155 мостів (з них 15 392 — на підконтрольній території України), з них на дорогах державного значення — 5 845 мостів (з них 5 458 — на підконтрольній території України), на дорогах місцевого значення — 10 310 (з них 9 934 — на підконтрольній території України).

Кількість обстежених мостів на дорогах державного значення складає 4 090, це біля 70 %, кількість обстежених мостів на дорогах місцевого значення складає всього 1 538 мостів, це біля 15 % (табл. 1).

Таблиця 1

Аналіз наповнення інформацією з обстежень мостів бази даних АЕСУМ

Значення автомобільних доріг	Всього мостів		Внесено до АЕСУМ	
	шт.	м	шт.	м
державного значення	5 845	191 980,35	4 090	153 007,98
місцевого значення	10 310	192 951,14	1 538	37 757,94
Разом	16 155	384 931,49	5 628	190 765,92

Більше 10 000 мостів на дорогах загального користування не відповідають сучасним нормам (63,5 %), з них 4 204 моста – на дорогах державного значення та 6 061 міст на дорогах місцевого значення (табл. 2).

Таблиця 2

Аналіз мостів за їх відповідністю сучасним нормам

Значення автомобільних доріг	Всього мостів		Не відповідають сучасним нормам		%
	шт.	м	шт.	м	
державного значення	5 845	191 980,35	4 204	115 719,91	71,9
місцевого значення	10 310	192 951,14	6 061	97 489,23	58,8
Разом	16 155	384 931,49	10 265	213 209,14	63,5

Аналіз за експлуатаційним станом на 01.05.2020 року показує, що на дорогах державного значення у 5 непрацездатному стані перебуває 124 моста, у 4 обмежено працездатному – 1 028 мостів, у 3 працездатному – 2 377, у 2 обмежено справному – 458, у 1 справному стані – 103 споруди.

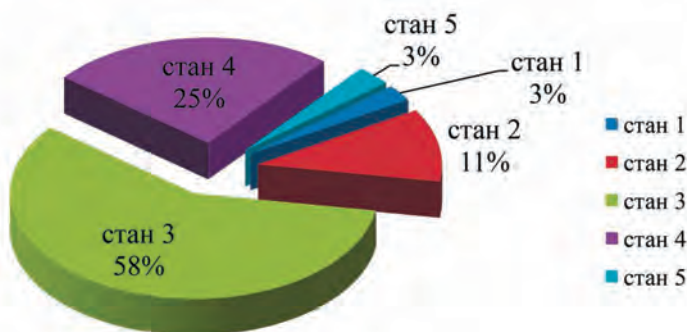


Рисунок 1 — Розподіл мостів на дорогах загального користування державного значення за експлуатаційним станом

Спостерігається стрімке зростання кількості мостів, які перебувають у 5 експлуатаційному стані. Так, станом на 01.01.2019 було зафіксовано 76 мостів на дорогах державного значення, які перебували у 5 непрацездатному стані, станом на 01.05.2020 таких мостів вже стало 124 (табл. 3). І це за умови, що за цей період було проведено біля 160 обстежень мостів на дорогах державного значення.

Таблиця 3

Зміна кількості мостів, які перебувають у 5 експлуатаційному стані за 5 років

Експлуатаційний стан	2015		2016		2017		2018		2019	
	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.
5	57	3 213,50	62	3 755,76	66	3 766,88	76	4 790,79	126	6 770,32

За результатом аналізу інформації бази даних Аналітичної експертної системи управління мостами було з'ясовано, що 81 % мостів побудовано до 1980 року.

Середній вік мостів на дорогах державного значення наразі складає 53 роки, на дорогах місцевого значення — 57 років, в цілому на дорогах державного значення середній вік мостів складає 56 років (рис. 2).

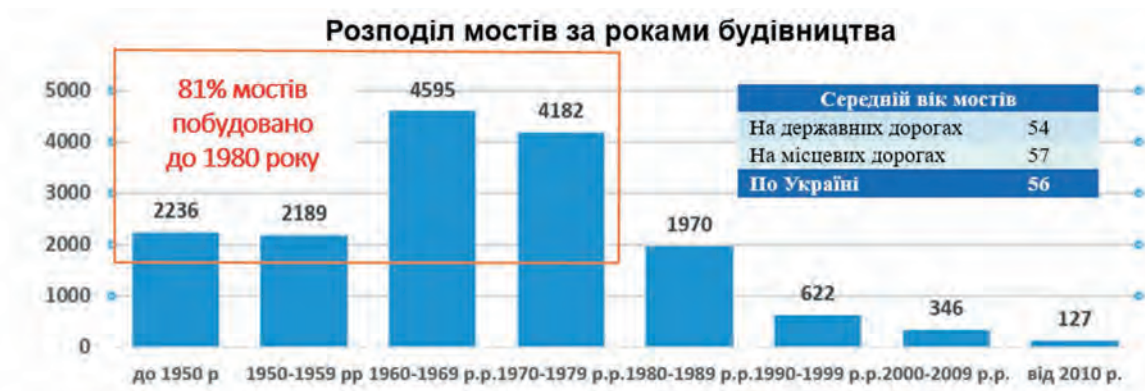


Рисунок 2 — Розподіл мостів за роками будівництва

Згідно з [2] проектний строк служби автодорожніх мостів складає від 70 до 100 років залежно від конструкції прогонової будови, але це за умови належного утримання. Необхідно враховувати, що за останні роки значно зросли інтенсивність руху та вага транспортних засобів, які пересуваються по автомобільних дорогах і мостах. Це прискорює фізичний знос мостів і зменшує їх реальний строк служби.

У 2019 році на автомобільних дорогах державного значення завершено нове будівництво та введено в експлуатацію 1 міст (повенекий об'єкт), здійснено реконструкцію трьох споруд, проведений капітальний ремонт 19 мостів, поточним середнім ремонтом відремонтовано 60 мостів, з них 48 мостів у складі ділянок автомобільних доріг, поточний дрібний ремонт здійснювався на 22 спорудах. Обсяг виконаних робіт складає біля 1,4 млрд грн. Об'єкти для виконання реконструкцій та ремонтів вибиралися за аналізом бази даних АЕСУМ з використанням принципу ранжування мостів.

У 2020 році планується збільшення робіт по мостах. Так згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 29.01.2020 № 36 «Деякі питання дорожнього господарства» затверджено перелік об'єктів нового будівництва, реконструкції, капітального та поточного середнього ремонту автомобільних доріг загального користування державного значення у 2020 році за бюджетною програмою 3111020 «Розвиток мережі та утримання автомобільних доріг загального користування державного значення» передбачено виконання робіт на 52 окремих об'єктах, крім того планується виконання робіт на мостах у складі ремонту ділянок автомобільних доріг.

Очевидною є актуальність розроблення стратегії ремонтів та утримання мостів. Рішення стосовно стратегії ремонтів мостів приймається за рекомендаціями, розробленими на основі аналізу бази даних АЕСУМ, а вихідна інформація для аналізу та для прийняття ефективних рішень базується на результатах обстежень мостів.

Аналітичну інформацію з бази даних програмного комплексу АЕСУМ використовують на всіх рівнях системи дорожньої галузі. Регулярно проводяться роботи з наповнення АЕСУМ інформацією за результатами обстежень, паспортизації, враховуються всі зміни в класифікації доріг, мостів тощо. Але треба враховувати, що мости є стратегічними об'єктами, від яких залежить функціонування дорожньої мережі України, і тому інформація про них надається в обмеженому доступі.

Розглянемо основні режими ПК АЕСУМ, які використовуються для внесення інформації з обстеження мостів. Пропонується такий огляд на прикладі моста на автомобільній дорозі Т-05-14 Добропілля – Красний Лиман на км 83+575 у Лиманському районі, Донецької області (рис. 3).



Рисунок 3 — Фрагмент загального вигляду моста

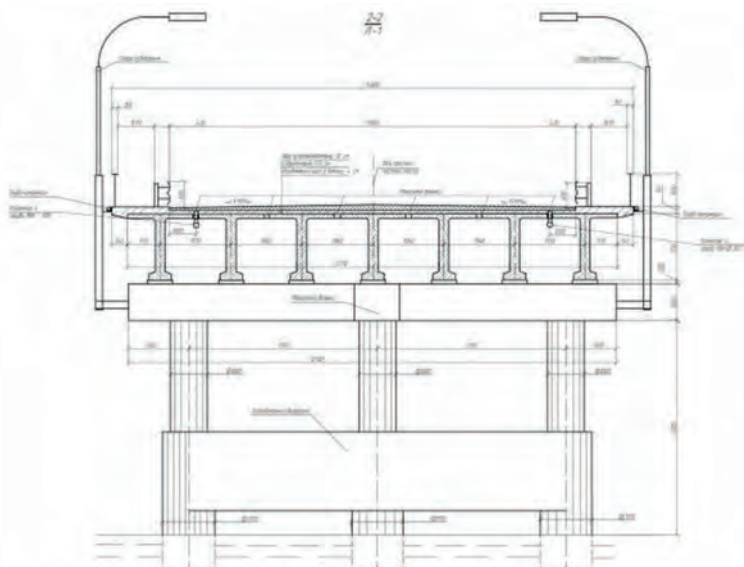


Рисунок 4 — Вид на проміжну опору, яка знаходиться в межах русла

Його збудовано у 2004 році під проєктні тимчасові навантаження А11 і НК-80. Обстеження моста у 2017 році виконало ТОВ «Впроваджувальне підприємство «МОСТ – 1», за результатами обстеження був складений паспорт споруди і ці дані були занесені в базу даних АЕСУМ.

Категорія дороги – II. Найближчий населений пункт – с. Брусівка. Відстань до нього 1 км.

Автодорожній міст має довжину 331 м і збудований за схемою 10 x 33 м. Габарит моста $G = 11,5 + 2 \times 1,07$ м. Прогонова будова моста балкова температурно-нерозрізна (у температурно-нерозрізні об'єднано по два прогони). Прогони моста влаштовані із 7 залізобетонних попередньо напружених бездіафрагмових балок об'єднаних по плиті проїзної частини (рис. 4). Балки виготовлені за типовим проєктом вип. 3.503.1.81.

Міст перетинає річку Сіверський Донець, це найбільша річка східної України та найбільша притока Дону. Швидкість її течії невелика — від 0,15 м/с до 1,41 м/с. Дно піщане, нерівне зі змінними глибинами. Отвір моста — 313 м, висота отвору — 6 м, ширина русла (річки) — 95 м, глибина русла — до 8 м.

Берегові опори моста залізобетонні трьохстовпчаті, діаметр стовпів 1,0 м. Стовпи поверху об'єднані залізобетонним ригелем. Проміжні опори також трьохстовпчаті, діаметр стовпів 1,0 м. Схема опор 2x5,15. Їх стовпи об'єднані ригелем, а ті, що заходять в русло, в нижніх частинах — ще й залізобетонними масивними діафрагмами. У залізобетонних опорах зафіксовані окремі сколи бетону.



Рисунок 5 — Сколи бетону від кульових влучень без оголення арматури до 2 % від площі

Отвір моста забезпечує пропуск повеневих вод. Інструментальне обстеження моста свідчить, що просідань чи кренів опор немає, фундаменти працюють надійно. Русло і підмостовий простір заросли чагарником, що суттєво обмежує пропуск води під мостом.

Водомірний пост на річці Сіверський Донець в районі моста відсутній. Однак за опитуванням місцевих жителів, а також по слідах води на стійках опор встановлено, що верхній рівень паводку приблизно, на 1,5 м нижче низу конструкцій прогонових будов. Виявлено окремі зони розмиву ґрунтів поблизу фундаментів опор на меншій заплаві глибиною до 1 м, на більшій заплаві — до 0,5 м.

Необхідно розчистити русло і підмостовий простір від чагарнику (рис. 6).



Рисунок 6 — Русло і підмостовий простір

База даних АЕСУМ містить в собі біля 150 технічних параметрів по кожному мосту (рис. 7).

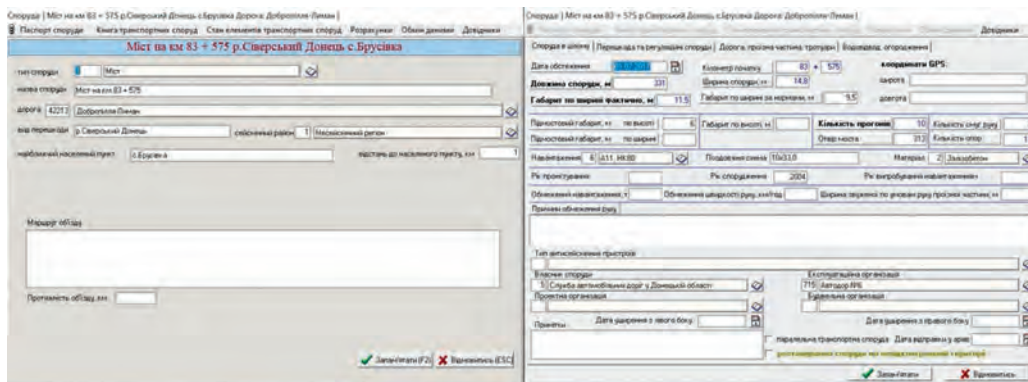


Рисунок 7 — Режим ПК АЕСУМ щодо інформації про споруду в цілому

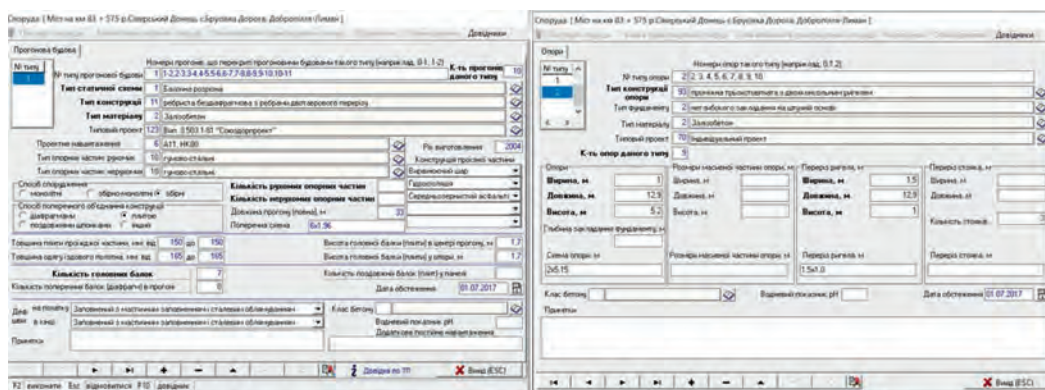


Рисунок 8 — Режим ПК АЕСУМ щодо інформації про окремі елементи моста (прогонові будови, опори)

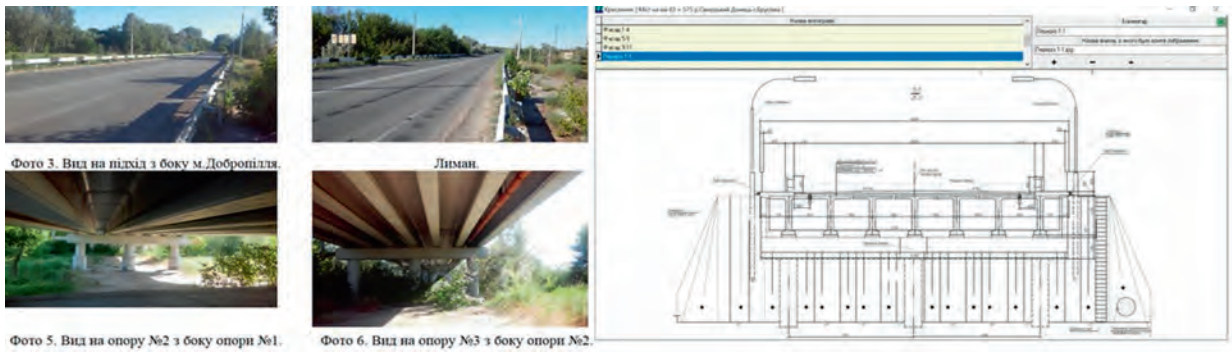


Рисунок 9 – Відображення фотографій моста та його креслень в ПК АЕСУМ

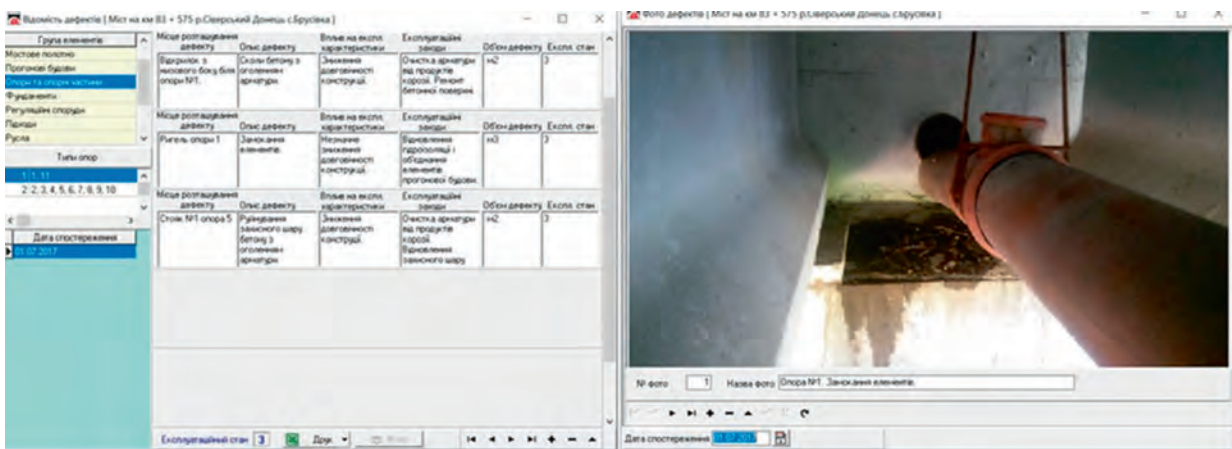


Рисунок 10 – Режим ПК АЕСУМ для роботи з дефектами

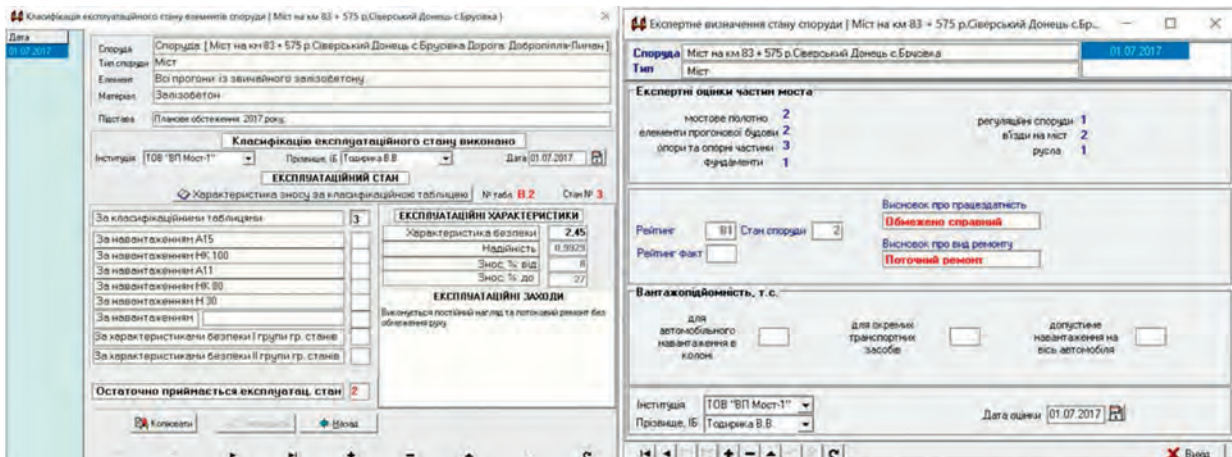


Рисунок 11 – Режим ПК АЕСУМ для експертного визначення експлуатаційного стану



Рисунок 12 — Міст на а/д Т-04-23 км 17+750 (Дніпропетровська область). У результаті підмиву паводком ґрунтових фундаментів зруйнувалися проміжні опори (2015 рік)



Рисунок 13 — Міст №7 через річку Саксагань у м. Кривий Ріг (Дніпропетровська область). Через недостатнє водовідведення зруйнувався насип лівобережного підходу (2015 рік)

Сьогодні є загально визнаним, теоретично доведеним [3–5], що витрати на ремонти та утримання мостів можуть збільшуватись у 3–5 і більше разів порівняно з мінімальними, необхідними при вчасному ремонті. Особливої актуальності проблема формування стратегії ремонтів мостів у системі експлуатації набула в сучасних умовах обмеженого фінансування дорожнього господарства [6]. Стратегію ремонтів може бути вдосконалено в тому числі шляхом виявлення нових факторів важливості мостів. Виявлення цих факторів є задачею для науковців, їх досліджень.

Висновки

1. Використання АЕСУМ, постійне удосконалення програмного комплексу шляхом розроблення нових модулів дозволяє робити науково обґрунтовані висновки, які базуються на поглибленому аналітичному матеріалі, здійснювати наукові дослідження, виконувати інтелектуальний аналіз даних, виявляти закономірності та певні проблеми в експлуатації мостів. При цьому основною вимогою до бази даних залишається її 100-відсоткове наповнення, для чого необхідно, щоб були обстежені всі автодорожні мости і своєчасно виконувалися повторні обстеження, терміни яких призначаються відповідно до вимог нормативів залежно від стану моста та вказуються в його паспорті.

2. АЕСУМ на теперішній час є не тільки універсальним інструментом для оцінки технічного стану і моніторингу мостів, але і все більше використовується у наукових цілях. Виявлення цих факторів є задачею для науковців, їх досліджень та розробок.

3. За допомогою програмного комплексу АЕСУМ на основі реальних даних (5628 мостів по Україні) отримані важливі результати, з аналізу яких можна: виявити й установити характерні дефекти елементів конструкції моста та узагальнити причини, які їх викликали; встановити наявність розмивів русла і узагальнити та встановити залежність між цими дефектами і схемою мосту; визначити структуру розподілення витрат на експлуатаційне утримання, дрібний поточний, поточний середній, капітальний ремонт і реконструкцію мостів; розробляти стратегію ремонтів шляхом виявлення нових факторів важливості мостів.

Список літератури

1. Боднар Л.П. Аналитическая экспертная система управления мостами Украины. Автомобильные дороги и мосты: научно-технический журнал. Минск, 2015. Вып. № 2 (16). С. 18-23.

2. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування. Київ, 2009. 52 с. (Інформація та документація).

3. Дехтяр А.С. Оптимальна експлуатація залізобетонних мостів. Системні методи керування, технології та організації виробництва, ремонту та експлуатації автомобілів. Київ, 2001. Вип. 12. С. 385-392.

4. Лантух-Лященко А.І. До проблеми оцінки зносу елементів моста. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Київ, 2000. Вип. 59. С. 33-36.

5. Мозговий В.В., Бесараб О.М., Богданов О.І., Онищенко А.М., Прудкий О.В., Мозговий О.В. Підвищення температурної тріщиностійкості асфальтобетонного покриття проїзної частини південного мостового переходу через р. Дніпро в Києві. Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. Львів, 2005. Вип. 6. С. 709-715.

6. Larysa Bodnar, Alex Kanin, Sergii Stepanov. Genetic Algorithm to optimize the strategies for bridge repair works. 7th Transport Research Arena TRA 2018. Vienna, 2018. 10 p. URL: <https://zenodo.org/record/1485402#.XqllT4gzZPZ> (дата звернення: 21.04.2020).

References

1. Bodnar L.P. Analiticheskaya ekspertnaya sistema upravleniya mostami Ukrainy (Analytical expert system of bridge management in Ukraine). *Avtomobylnye dorohi i mosty: nauchno-tekhnycheskii zhurnal*. Minsk, 2015. Iss. 2 (16). P. 18-23. [in Russian].

2. State Building Norms (DBN V.2.3-22:2009) Sporudy transportu. Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannia (Transport facilities. Bridges and pipes. Basic design requirements). Kyiv, 2009. 52 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

3. Dekhtiar A.S. Optymalna ekspluatatsiia zalizobetonnykh mostiv (Optimal operation of reinforced concrete bridges) . *Systemni metody keruvannia, tekhnolohii ta orhanizatsii vyrobnytstva, remontu ta ekspluatatsii avtomobiliv*. Kyiv, 2001. Iss. 12. P. 385-392. [in Ukrainian].

4. Lantukh-Liashchenko A.I. Do problemy otsinky znosu elementiv mosta (To the problem of assessing the wear of bridge elements). *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. Iss. 59. Kyiv, 2000. P. 33-36. [in Ukrainian].

5. Mozghovyi V.V., Besarab O.M., Bohdanov O.I., Onyshchenko A.M., Prudkyi O.V., Mozghovyi O.V. Pidvyshchennia temperaturnoi trishchynostiikosti asfaltobetonnoho pokryttia proiznoi chastyny pivdennoho mostovoho perekhodu cherez r. Dnipro v Kyievi (Increasing the temperature crack resistance of the asphalt-concrete pavement of the carriageway of the southern bridge over the Dnieper River in Kyiv). *Mekhanika i fizyka ruinuvannia budivelnnykh materialiv ta konstruksii*. Lviv, 2005. Iss. 6. P. 709–715. [in Ukrainian].

6. Larysa Bodnar, Alex Kanin, Sergii Stepanov. Genetic Algorithm to optimize the strategies for bridge repair works. *7th Transport Research Arena TRA 2018*. Vienna, 2018. 10 p. URL: <https://zenodo.org/record/1485402#.XqltT4gzZPZ> (Last accessed: 21.04.2020) [in English].

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

Larysa Bodnar, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-4754-721X>

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

INVESTIGATIONS OF BRIDGE CROSSINGS STATE BASED ON THE ANALYTICAL EXPERT BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM

Abstract

Introduction. The State Roads Agency of Ukraine (Ukravtodor) is implementing the Analytical Expert Bridge Management System (AESUM) which accumulates information about bridges on public roads in Ukraine. Analytical information from the database of the AESUM software package is used at all levels of the road industry; the works on filling of AESUM with the information from inspections, passportization are regularly carried out, taking into account all changes in classification of roads, bridges, etc. The information obtained from AESUM makes it possible to summarize data on the technical state of different types of span structures and bridge supports, to identify the most common defects of these structures, to estimate the amount of repair costs, to classify both the structures of road bridges and the loads they are affected by.

Issue statement. The majority of bridges in Ukraine are of more than 50–60 years old. The wear of such structures is inevitable. The situation is complicated by the growing load on bridges, this process has accelerated significantly in recent decades. With the help of AESUM it is possible to generalize the information and choose the right strategy of bridges repair and maintenance.

The analysis of publications [1], [4], [6] testifies that the systems created and implemented in different countries have much in common: there is a database on bridges; planning of works is carried out; ranking of facilities for appointment of priority performance of works is carried out. Detailed collection of information from investigations of bridge crossings allows using AESUM for scientific

purposes, requires constant development and improvement of the program complex by the research staff of «DerzhdorNDI» SE.

The objective. Development of scientifically justified guidelines for the bridge crossings maintenance and ensuring their reliable and accident-free operation.

Materials and methods. AESUM database contains about 150 parameters of each bridge. Detailed information on individual bridge elements such as spans, supports, foundations as well as photographs and drawings are also stored here. The register of defects includes the defects revealed by the inspection results with a detailed description, scope of distribution and assessment of their impact on the element's state. The operational state of the structure is calculated automatically. For each element of the bridge, it is possible to determine the residual life with the construction of a degradation curve, which makes it possible to forecast the state of the structure's elements for a certain period of time in the future. Bridges are ranked according to the need for repairs by two factors - operational state and road category. AESUM has developed a module for strategic management of bridges repairs and maintenance.

Results. Currently, the functionality of the AESUM software system is commensurate with the main foreign bridge management systems. The AESUM software package implements the model of degradation of road bridge elements for bridge life cycle management, which is a system scientific basis for the development of bridge repair strategy in Ukraine and is implemented in the regulatory document on road bridge operation [10]. The quantitative criterion for bridges in the fifth (inoperable) state has been established, which allows to quickly determine the feasibility of bridge overhaul or reconstruction instead of its closure and replacement with a new one, on the basis of AESUM accounting data.

Conclusions. The use of AESUM, continuous improvement of the software complex through the development of new modules allows making scientifically sound conclusions based on an in-depth analytical material, carrying out scientific research, performing an intellectual analysis of data, identifying the regularities and certain problems in the operation of bridges. At the same time, the main requirement for the database remains its 100% filling which requires that all the road bridges are inspected and that repeated inspections carried out in a timely manner, the terms of which are appointed in accordance with the requirements of the standards for bridge inspection depending on the state of the bridge and that are specified in the bridge passport.

Keywords: road bridge, bridge passport, bridge management system, bridge operation strategies.

Наукове видання

ДОРОГИ І МОСТИ

Збірник наукових праць

Випуск 21

Головний редактор Безуглий А. О.
Відповідальний редактор Каськів В. І.
Технічний редактор Малій Т. С.

03113, м. Київ, просп. Перемоги, 57, ДП «ДерждорНДІ»
тел. +38 (044) 206-98-90
e-mail: roads_bridges@dorndi.org.ua

Підписано до друку 21.05.2020
Формат 60x84^{1/8}. папір офсетний. Друк цифровий.
Умовн.-друк. арк. 17,87. Фіз. друк. арк.
Наклад 100 прим. Замовлення №
ТОВ "САК ЛТД", м. Київ
(044) 501-94-34