

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

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



# **ДОРОГИ І МОСТИ**

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

**Випуск 22**

# **ROADS AND BRIDGES**

**Collection of scientific papers  
Established in 2003**

**Issue 22**

КИЇВ  
KYIV  
2020

ISSN 2524-0994

УДК 625.7/.8

Дороги і мости : збірник наукових праць. Київ, 2020. Вип. 22. 258 с.

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

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

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

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

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

**Відповідальний секретар:** Гаєвська Н. М.

**Члени редколегії:** 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. Бонін Гвідо (Італія); D.Sc. (Eng.), Prof. Гаспар Ласло (Угорщина); Ph.D. (Chem.), Associate Prof. Оліверо Росі Цезаре (Італія); D.Sc. (Sp. Tech.), Prof. Самберг Андре (Фінляндія); д-р техн. наук, проф. Телтаєв Багдат Бурханбайули (Казахстан); канд. техн. наук Шумчик В. К. (Білорусь).

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

**Технічний редактор:** Малій Т. С.

**Адреса редакційної колегії:** 03113, м. Київ, просп. Перемоги, 57, ДП «ДерждорНДІ», [www.dorogimosti.org.ua](http://www.dorogimosti.org.ua)

Збірник входить до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії: галузь науки – економічні, спеціальності: 051 Економіка, 073 Менеджмент (Наказ Міністерства освіти і науки України від 17.03.2020 № 409);

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

Видається за рішенням Науково-технічної ради ДП «ДерждорНДІ» (протокол від 08.09.2020 № 8).

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

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

**ISSN 2524-0994**

UDC 625.7/.8

Roads and Bridges : collection of scientific papers Kyiv, 2020. Issue 22. 258 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](http://www.dorogimosti.org.ua)

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

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

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

Issued by the decision of the Scientific and Technical Council of DerzhdorNDI SE (Minutes on September 08, 2020 N 8).

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., Бельська О. Л., Бібик Ю. М., Ракович І. В.</i> Нормативне забезпечення запровадження довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг для забезпечення їх експлуатаційного стану.....	8
<i>Іванченко В. О.</i> Організаційні аспекти формування деяких складових інвестиційного потенціалу підприємництва.....	20
<i>Концева В. В., Лук'яненко К. О.</i> Організація обліку витрат виробництва дорожніх підприємств за центрами відповідальності.....	31

### БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

<i>Paolino Caputo, Haris Kaljaca, Michele Porto, Valeria Loise, Abraham A. Abe, Cesare Oliviero Rossi</i> Waste Food Wax Additive as a Bitumen Modifier for Warm Mix Asphalt Production.....	40
<i>Бубела А. В.</i> Визначення залежності інтенсивності водовідведення від конструктивних характеристик поперечних дренажів мілкого закладання.....	53
<i>Гамеляк І. П., Дмитриченко А. М., Нагайчук В.М., Райковський В.Ф., Биковець М. М.</i> Особливості технології підсилення дорожніх покриттів шарами цементобетону.....	63
<i>Головко С. К.</i> Ймовірно-геометричний аналіз можливості застосування обмеженого вмісту фрезерованої крихти в складі щебенево-піщаної суміші, укріпленої комплексним в'язучим.....	79
<i>Головко С. К.</i> Нові підходи у підвищенні капітальності дорожніх одягів при їх ремонті.....	86
<i>Головченко В. С., Малій Т. С., Копинець І. В.</i> Дослідження втоми довговічності асфальтобетонів.....	95
<i>Єрмакова І. А., Нечипоренко М. В.</i> Роль науково-технічного супроводу при будівництві автомобільних доріг.....	106
<i>Копинець І. В., Малій Т. С.</i> Порівняльний аналіз вітчизняних та європейських вимог до литих емульсійно-мінеральних сумішей.....	114
<i>Стьожка В. В.</i> Підвищення довговічності цементобетонного покриття доріг за рахунок застосування гідрофобних хімічних добавок.....	128
<i>Онищенко А. М., Чиженко Н. П.</i> Оцінка довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг.....	138

### ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ

<i>Башкевич І. В., Корецький А. С., Онищенко А. М., Островерх Б. М., Потапенко Л. С.</i> Моделювання дії навантаження від транспортних засобів на стан дорожнього одягу та прилеглих схилів за даними геоакустичних спостережень.....	149
<i>Литвиненко А. С.</i> Щодо оцінки значень фізико-механічних показників піщаних ґрунтів за даними статистичного динамічного зондування.....	161

## ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Бабков О. В.</i> Оптимальне проектування ребристої плити.....	168
<i>Боднар Л. П., Завгородній С. С., Яструбінецький В. Л.</i> Аналіз типових проектів найбільш поширених залізобетонних прогонових будов мостів на автомобільних дорогах України.....	176
<i>Онищенко А. М., Зеленовський В. А.</i> Встановлення складу епоксiasфальтобетонних сумішей для їх застосування в якості тонкошарового покриття на автомобільних дорогах та мостах.....	187
<i>Славінська О. С., Цинка А. О.</i> Прогнозування деформацій на заплавах з урахуванням опору при обтіканні мостових опор.....	198

## ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Нагребельна Л. П.</i> Визначення місць утворення заторів за допомогою гідродинамічної моделі та залежностей транспортного потоку.....	214
<i>Пальчик А. М., Соколенко Т. В.</i> Підвищення ефективності функціонування перехрещень і примикань в одному рівні без зміни геометричних параметрів.....	225

## ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

<i>Медведєв К. В., Морозов А. В., Рутковська І. А., Хрутьба В. О.</i> Основні технічні принципи проектування біопереходів.....	234
<i>Миколаєнко О. А., Лозова Т. М.</i> Перспектива використання відходів промисловості в конструктивних шарах дорожнього одягу.....	249

## CONTENTS

### ECONOMY. MANAGEMENT

<i>Artem Bezugliy, Olena Belska, Yuliya Bibyk, Ivan Rakovych</i> Regulatory support for the implementation of long-term contracts on the operational maintenance of highways to ensure their operational condition .....	8
<i>Vitaliy Ivanchenko</i> Organizational aspects of formation of some components of investment potential of entrepreneurship.....	20
<i>Valentyna Kontseva, Kateryna Lukianenko</i> Organization of accounting of costs of production of road enterprises at responsibility centers .....	31

### CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING

<i>Paolino Caputo, Haris Kaljaca, Michele Porto, Valeria Loise, Abraham A. Abe, Cesare Oliviero Rossi</i> Waste Food Wax Additive as a Bitumen Modifier for Warm Mix Asphalt Production.....	40
<i>Andrii Bubela</i> Determination of the relationship between the rate of diversion and the design characteristics of shallow cross-drainage.....	53
<i>Ihor Gamelyak, Andriy Dmitrichenko, Vasyl Nagaychuk, Vitalii Raikovskiy, Mykola Bykovets</i> Features of road pavement reinforcement technology with cement concrete layers.....	63
<i>Sergey Golovko</i> Probably-geometric analysis of the possibility of application of limited content of milled crush in the composition of crushed and sand mixture.....	79
<i>Sergey Golovko</i> New approaches to increase the capitality of pavements in their repair.....	86
<i>Vasiliy Golovchenko, Ivan Kopynets, Tetiana Malii</i> Research of the fatigue life of asphalt concrete.....	95
<i>Inna Yermakova, Maksym Nechyporenko</i> The role of scientific support in road construction.....	106
<i>Ivan Kopynets, Tetiana Malii</i> Comparative analysis of domestic and european requirements for cast emulsion-mineral mixtures.....	114
<i>Vitalii Stozhka</i> Increasing the durability of cement concrete pavement due to the application of hydrophobic chemical additives.....	128
<i>Artur Onishchenko, Natalia Chyzhenko</i> Estimation of durability of cement concrete pavement of roads.....	138

### GEODESY AND LAND MANAGEMENT

<i>Iryna Bashkevych, Andrii Koretskyi, Artur Onyshchenko, Borys Ostroverh, Liudmila Potapenko</i> The vehicle load simulation on the pavement structure and adjacent slopes basing on the geocoustic data observation.....	149
<i>Anatoly Lytvynenko</i> On evaluation of values of physical and mechanical indicators of sand soils according to static and dynamic data of probing.....	161

### HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION, WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES

<i>Oleksandr Babkov</i> Optimal design of ribbed plates.....	168
--	-----

<i>Larysa Bodnar, Serhii Zavorodniy, Vitalii Yastrubynetskyi</i> Analysis of typical designs of the most common reinforced concrete bridge span on the motor roads of Ukraine.....	176
<i>Artur Onyshchenko, Volodymyr Zelenovskyi</i> Determination of the composition of epoxy asphalt concrete mixtures for their application as a thin-layer coating on road bridges.....	187
<i>Olena Slavinska, Anatolii Tsynka</i> Predicting deformations on the floodplain with considering resistance at flowing of the bridge supports.....	198

## TRANSPORT TECHNOLOGIES

<i>Liudmyla Nahrebelna</i> Determination of places of congestion occurrence by hydrodynamic model and dependences of traffic flow.....	214
<i>Anatoliiy Palchyk, Tetiana Sokolenko</i> Increase the efficiency of the functioning of intersections and road junctions without changing the geometric parameters.....	225

## ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES

<i>Kostiantyn Medvediev, Anatolii Morozov, Tetiana Morozova, Inessa Rutkovska, Viktoriia Khrutba</i> Basic technical principles of wildlife crossings.....	234
<i>Olha Mykolaienko, Tetiana Lozova</i> Prospects of using the industrial waste in constructive layers of road pavement.....	249

УДК 388.1:625.7/.8

Безуглий А. О., канд. екон. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0003-3883-7968>Бельська О. Л., <https://orcid.org/0000-0002-6900-796X>Бібік Ю. М., <https://orcid.org/0000-0002-7197-8909>Ракович І. В., <https://orcid.org/0000-0001-7083-9862>

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

### **НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ДОВГОСТРОКОВИХ КОНТРАКТІВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНЕ УТРИМАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО СТАНУ**

#### **Анотація**

**Вступ.** Рівень дослідження питання запровадження довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг для забезпечення їх експлуатаційного стану за останніх кілька років значно підвищився, адже лише за останній рік було розроблено та затверджено декілька основоположних нормативних документів, які дозволяють розпочати практичну реалізацію таких контрактів. Авторами статті буде розкрито питання визначення вартості довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг для забезпечення їх експлуатаційного стану.

**Проблематика.** Однією з основних проблем, яка передувала проведеній роботі з дослідження та розроблення методичного забезпечення, була та поки що залишається низька якість експлуатаційного стану автомобільних доріг України. Згідно із оцінками експертів Світового економічного форуму, які здійснюють оцінку якості доріг у 141 країні світу, у 2019 році Україна посіла 119 місце з балом 3,0 із 7 можливих [1]. Вагомим фактором, є тенденція до певного ступеня нехтування експлуатаційним утриманням на користь більш значних інвестиційних проектів (реконструкція, капітальний ремонт, а то і будівництво). Нерегулярне та неналежне експлуатаційне утримання автомобільних доріг суттєво збільшує вартість наступних робіт із капітального ремонту чи реконструкції.

**Мета.** Метою статті є висвітлення основних теоретичних засад та обґрунтування розробленого механізму визначення вартості довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг для забезпечення їх експлуатаційного стану та пов'язаних з ним нормативних документів, що забезпечують його реалізацію.

**Матеріали та методи.** У ході написання статті використовувався теоретичний метод наукових досліджень. Було використано метод аналізу в частині розроблених нормативних документів щодо визначення вартості робіт і рівнів обслуговування при експлуатаційному утриманні автомобільних доріг.

**Результати.** У даній статті було проаналізовано поточні напрацювання в розробленні нормативно-кошторисного забезпечення для функціонування довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг для забезпечення їх експлуатаційного стану. Результатом роботи є механізм визначення вартості робіт, що виконуються за довгостроковими контрактами на експлуатаційне утримання за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану та, зокрема, аналіз усіх документів, на яких він ґрунтується.

**Висновки.** Результати здійсненого аналізу дозволяють зробити висновок про те, що вітчизняні напрацювання для забезпечення запровадження довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг для забезпечення їх експлуатаційного стану досягли



того рівня, коли їх можна активно використовувати для модернізації системи експлуатаційного утримання доріг. Розкритий у статті аналіз ефективності таких контрактів і суть методичних рекомендацій переконує у достатньому нормативному забезпеченні розглянутого виду контрактів та окреслює подальші кроки для розвитку цього напрямку.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, довгостроковий контракт, експлуатаційне утримання, нормативно-кошторисна база.

### Вступ

Доцільність запровадження довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану, перш за все, була визначена враховуючи успішний довготривалий досвід значного ряду країн світу, що складає більше 20 років, а деякі з них і повністю перейшли на таку систему експлуатаційного утримання. Кожна з цих країн має різні політичні та фінансові ситуації, різний клімат, протяжність мережі та власні підходи до функціонування дорожньої галузі [2].

Питанням запровадження механізму експлуатаційного утримання автомобільних доріг за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану займалось чимало закордонних та вітчизняних науковців, зокрема: П. Паккала, який зробив детальний аналіз досвіду великого ряду країн у запровадженні системи експлуатаційного утримання на основі кінцевих результатів, Заворотний С. М., Мелешук Т. П., Безуглий А. О., суттєві напрацювання, на яких базуються подальші вітчизняні дослідження за цією тематикою здійснили Канін О. П., Харченко А. М., Соколова Н. У свою чергу, Канін О. П. розробив систему управління станом доріг за показником рівня обслуговування в довгострокових контрактах з експлуатаційного утримання автомобільних доріг та державні стандарти, які стосуються рівнів обслуговування. Ще існує ряд інших публікацій та досліджень, які в певній мірі розкривають питання впровадження довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання в Україні, але очевидною була недостатня увага науковців до практичного їх застосування, оскільки лише зараз почалось активне внесення змін до існуючих чи розроблення нових нормативно-правових актів, норм і стандартів.

Стаття спрямована на висвітлення поточних напрацювань для нормативного забезпечення процесу визначення вартості робіт за довгостроковими контрактами на експлуатаційне утримання автомобільних доріг за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану, оскільки успішна реалізація застосування вказаних видів контрактів залежить від наявності розвиненої нормативно-кошторисної бази.

### Основна частина

Дорожня мережа будь-якої країни є найціннішим активом, від функціонування якого залежить мобільність суспільства, яка складається з мобільності вантажів, людей, інформації та капіталу. Мобільність суспільства визначає рівень економічного розвитку, від якого залежить якість життя населення. Управління активами — системний процес прийняття рішень з метою найкращого використання наявних ресурсів дорожньої галузі та оптимального інвестування в підтримку корисності дорожніх активів для суспільства. В умовах збільшення фінансування дорожньої галузі, якість доріг в Україні поступово покращується (рис. 1), однак разом із цим експлуатаційному утриманню цих доріг приділяється недостатня увага. При цьому зростає необхідність в застосуванні системного підходу і системних мережевих рішень [3].

Стабільне зростання індексу якості автомобільних доріг в Україні після 2017 року пов'язане із реформою децентралізації, функціонуванням Державного дорожнього фонду та активною фазою

реалізації Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018–2022 роки, як результат, збільшення фінансування дорожньої галузі та, відповідно, зростання обсягів дорожніх робіт.

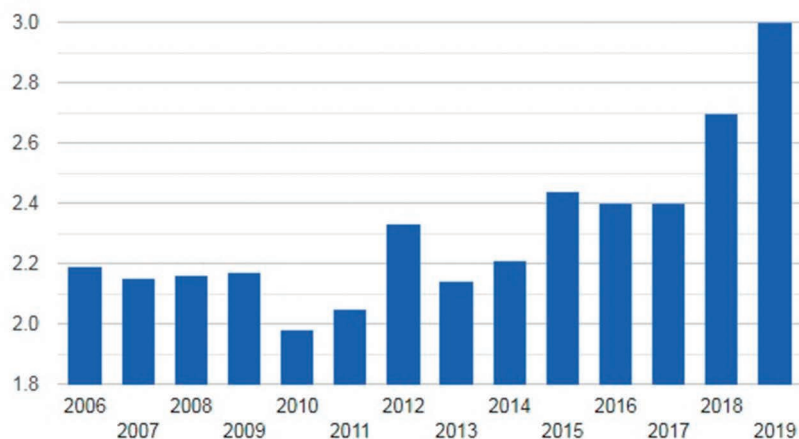


Рисунок 1 — Індекс якості автомобільних доріг України за 2006–2019 роки [4]

Розподіл коштів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг за Державною цільовою економічною програмою розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018–2022 роки в розрізі років та джерел фінансування наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Розподіл коштів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг державного значення [5]**

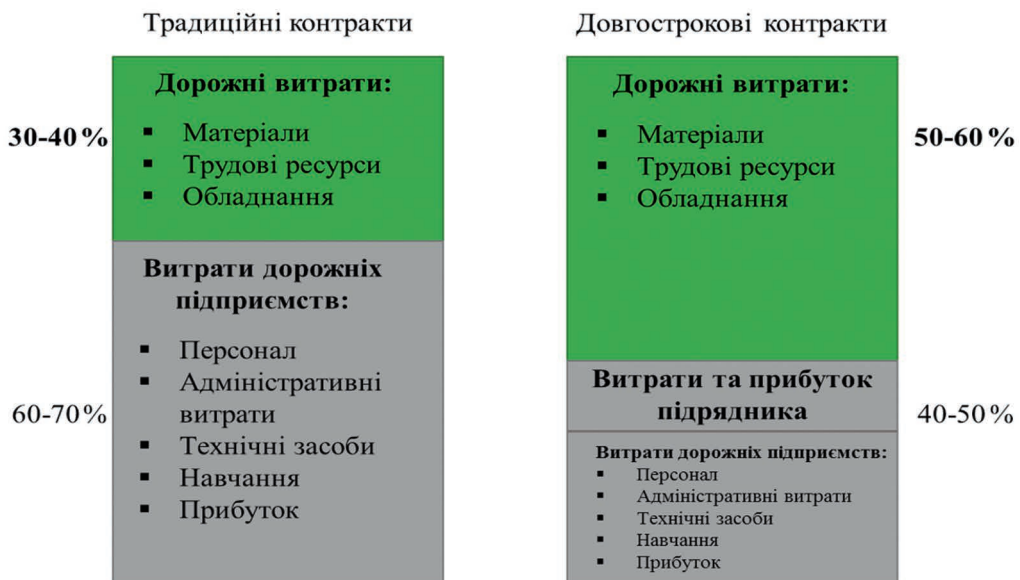
Ч. ч.	Вид дорожніх робіт	Прогнозний обсяг фінансових ресурсів для виконання завдань, млн грн	У тому числі за роками				
			2018	2019	2020	2021	2022
1	Експлуатаційне утримання М-06 Київ – Чоп (на Будапешт через Львів, Мукачево і Ужгород) (Львівська область)	973,62	217,42	284,45	220,00	251,75	-
	державний бюджет	-	-	-	-	-	-
	кошти МФО	973,62	217,42	284,45	220,00	251,75	-
2	Експлуатаційне утримання інших автомобільних доріг державного значення	32 577,98	3 445,3	6 300	5 932,68	8 300,00	8 600,00
	державний бюджет	32 577,98	3 445,3	6 300	5 932,68	8 300,00	8 600,00
	кошти МФО	-	-	-	-	-	-
	<b>Всього на експлуатаційне утримання автомобільних доріг державного значення</b>	<b>33 551,60</b>	<b>3 662,72</b>	<b>6 584,45</b>	<b>6 152,68</b>	<b>8 551,75</b>	<b>8 600,00</b>
	державний бюджет	32 577,98	3 445,30	6 300,00	5 932,68	8 300,00	8 600,00
	кошти МФО	973,62	217,42	284,45	220,00	251,75	-

Враховуючи дані, зазначені в табл. 1, бачимо, що програмою передбачено значне фінансування робіт з експлуатаційного утримання, як із державного бюджету, так і за кредитами Міжнародних фінансових організацій. У тому числі і є кошти, передбачені на фінансування діючого довгострокового контракту на експлуатаційне утримання за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану.

У випадку безпосереднього державного фінансування довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану, перш за все, необхідно було врегулювати питання, які пов'язані з бюджетом, адже в Україні бюджет затверджується щороку. Бюджетним кодексом України регулюються відносини, що виникають у процесі складання, розгляду, затвердження, виконання бюджетів, звітування про їх виконання та контролю за дотриманням бюджетного законодавства, і питання відповідальності за порушення бюджетного законодавства, а також визначаються правові засади утворення та погашення державного і місцевого боргу. Першим кроком для реалізації вказаного завдання стало прийняття Закону України від 12.11.2019 № 282-IX «Про внесення змін до Закону України «Про джерела фінансування дорожнього господарства України» в частині запровадження середньострокового планування розвитку та утримання автомобільних доріг загального користування.

Проведене дослідження ґрунтувалось не лише на аналізі фінансового забезпечення реалізації довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану, а й на реальних практичних перевагах таких контрактів.

Результати теоретичних досліджень багатьох науковців і практичний аналіз фактичних результатів реалізації контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану показали суттєву економію (зазвичай від 15 % до 30 %) порівняно з традиційними контрактами. З точки зору ефективності розподілу фінансування в рамках окремого контракту на експлуатаційне утримання, довгострокові контракти за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану презентують ефективне використання коштів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг за складовими вартості (рис. 2).



**Рисунок 2** — Ефективність використання коштів, передбачених на експлуатаційне утримання автомобільних доріг (у відсотках загального бюджету, витраченого на дорогу) [6]

Запровадження довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану потребує також реформування всієї системи експлуатаційного утримання, яка не забезпечує використання вигод конкуренції та інновацій з боку приватних підприємств, оскільки переважна більшість об'єктів утримується філіями АТ «ДАК «Автомобільні дороги України», які мають низький рівень матеріально-технічної бази та розвитку інноваційних підходів до утримання доріг [7].

Враховуючи поточний стан експлуатаційного утримання доріг та можливі перспективи розвитку, у 2016 році було внесено зміни до статті 6 Закону України «Про автомобільні дороги» та передбачено можливість здійснення експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування та інших видів автомобільних доріг на основі довгострокових (до семи років) договорів (контрактів) про утримання автомобільних доріг загального користування за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану відповідно до нормативно-правових актів, норм і стандартів [8, 9].

Перший пілотний проект з утримання автомобільної дороги за принципом забезпечення її експлуатаційного стану (на основі кінцевих результатів) реалізовується на автомобільній дорозі М-06 Київ – Чоп км 434+230 – км 621+500 строком на 7 років (з 2014 по 2021 рік). Оскільки це перший проект, то через відсутність досвіду в подібних проектах в Україні виникало ряд проблем. Так, наприклад, сталася зміна підрядника — компанію Elsamex S.A. (Іспанія) було замінено на ONUR (Туреччина) [10].

Досвід, що був отриманий в ході реалізації вищевказаного пілотного проекту та аналіз закордонного досвіду та вітчизняних законодавчих напрацювань і змін послужили основою для розроблення пакету нормативних документів, які забезпечать практичну реалізацію подальших проектів експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану.

Згідно з моделлю довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану, в ході тендеру підрядники конкурують один з одним, пропонуючи фіксовані ціни на експлуатаційне утримання дороги з метою утримання дороги на встановленому рівні протягом досить довгого періоду. Підрядники отримують оплату не за «вкладені ресурси» або фізичні роботи, які вони виконують, а за досягнення встановлених рівнів обслуговування. Можна сказати, що даний тип контракту змушує підрядника встановлювати, оптимізувати і своєчасно здійснювати фізичні заходи, необхідні в короткій, середній та довгій перспективі для забезпечення підтримки стану дороги вище встановлених рівнів обслуговування.

Безпосередньо рівні обслуговування та встановлені для них строки реагування є основоположними принципами функціонування довгострокових контрактів про експлуатаційне утримання автомобільних доріг загального користування за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану, саме їх дотримання чи недотримання впливає на розмір коштів, які отримує підрядник. Щомісячна фіксована сума винагороди виплачується підряднику рівними частинами, за умови досягнення встановлених рівнів обслуговування, та включає всі послуги з управління, утримання та експлуатації, що надаються підрядником, за винятком непередбачених аварійних робіт, які оплачуються окремо. Рівні обслуговування, рівні утримання, їх характеристики та обґрунтування їх застосування чітко визначені національними стандартами — ДСТУ 8992:2020 «Автомобільні дороги. Настанова з обґрунтування рівнів обслуговування під час експлуатаційного утримання» та ДСТУ 8993:2020 «Автомобільні дороги. Рівні обслуговування під час експлуатаційного утримання», які набувають чинності з 01 липня 2021 року [11, 12]. Відповідно до цих стандартів рівні обслуговування — сукупність встановлених для кожного виду дефекту елемента дороги або його частини характеристик та параметрів (критеріїв): опису дефекту і параметрів рівня втручання, сезону року усунення, одиниці виміру, строку реагування.

Переходячи до питання визначення вартості робіт, було визначено, що головний документ, який регулює питання визначення робіт з експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування є СОУ 42.1-37641918-085:2018 «Автомобільні дороги. Правила визначення вартості робіт з поточного ремонту та експлуатаційного утримання» [13] не відповідає задачам та не вирішує проблем, які виникають при визначенні вартості робіт за довгостроковими контрактами на експлуатаційне утримання автомобільних доріг за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану.

Беручи за основу проведений аналіз та систематизацію інформації щодо довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання, діючої системи ціноутворення в дорожній галузі та ґрунтуючись на положеннях ДСТУ 8992, ДСТУ 8993 були розроблені методичні рекомендації щодо реалізації довгострокових договорів (контрактів) та щодо визначення прогнозних обсягів робіт з експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування при реалізації довгострокових договорів (контрактів).

МР Д.2.4-37641918-910:2020 «Методичні рекомендації щодо реалізації довгострокових договорів (контрактів)» можуть застосовуватися для визначення вартості робіт з експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану на етапі складання інвесторської кошторисної документації, визначення ціни тендерної пропозиції учасника процедури закупівлі (договірної ціни) та здійснення взаєморозрахунків при реалізації довгострокових (до семи років) договорів (контрактів) [14].

Основною відмінністю в порядку визначення вартості робіт з експлуатаційного утримання за такими контрактами є те, що основою для визначення вартості та взаєморозрахунків є встановлення та дотримання рівнів обслуговування, а не обсяги виконаних робіт. Таким чином, при визначенні кошторисної вартості робіт з експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану на етапі складання інвесторської кошторисної документації застосовуються орієнтовні обсяги робіт з експлуатаційного утримання або дані отримані на підставі аналізу даних за минулий період і нормативно-розрахункові показники та поточні ціни трудових та матеріально-технічних ресурсів і суми решти витрат, які визначаються розрахунково. Щодо порядку визначення орієнтовних обсягів робіт з експлуатаційного утримання, то для вирішення цієї задачі було розроблено МР Д.2.4-37641918-911:2020 «Методичні рекомендації з визначення прогнозних обсягів робіт з експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування при реалізації довгострокових договорів (контрактів)» [15]. У їх основу було покладено ряд принципів:

- принцип забезпечення ліквідації усіх дефектів, передбачених ДСТУ 8993;
- поступове прогнозоване погіршення властивостей елементів дороги (кількість вибоїн, накопичення залишкових деформацій у конструкціях, зменшення світлоповертальних властивостей знаків, стирання розмітки, засмічення споруд водовідведення, ріст рослинності);
- встановлення загальних прогнозних обсягів робіт відповідно до наявності і кількості елементів на ділянках доріг;
- отримання підрядником дороги без дефектів, а у разі їх наявності на момент отримання — передбачення окремих коштів на їх усунення;
- виконання аварійних робіт здійснюється відповідно до їх фактичних обсягів і не входить до переліку прогнозних обсягів робіт;
- можливість визначення прогнозних обсягів робіт на підставі фактичних даних щодо обсягів робіт за попередні роки або експертним методом з урахуванням імовірності виникнення дефекту в конкретних умовах.

Згідно із зазначеними принципами методичними рекомендаціями передбачається, що для прогнозування кількості дефектів, які виникнуть на дорозі і, як наслідок, обсягів заходів для їх усунення, необхідно здійснити обстеження та оцінювання фактичного експлуатаційного стану

дороги із визначенням кількості її елементів. У разі отримання низької оцінки фактичного стану дороги її потрібно відремонтувати за кошти, які необхідно враховувати окремо. Для кожного із елементів дороги на підставі даних за попередні роки або експертним методом визначається сумарна імовірна кількість дефектів, які можуть виникнути протягом строку експлуатації, з урахуванням факторів, які впливають на інтенсивність їх появи. При цьому, обсяг робіт має бути таким, щоб забезпечити ліквідацію усіх дефектів, передбачених ДСТУ 8993.

Відповідно до [14] вартість контракту залежить не від обсягів робіт, які є лише прогнозними, а від обраного рівня утримання автомобільної дороги, які, відповідно до [11], є наступними: задовільний, середній, високий і встановлено один ненормативний — незадовільний. Залежність полягає в тому, що вищий рівень утримання передбачає коротший час реагування на ліквідацію будь-якого дефекту, а це потребує інтенсивнішого моніторингу ділянки, що утримується та наявності більшої кількості техніки та персоналу для ліквідації дефектів.

Розрахунок складових вартості на етапі складання інвесторської кошторисної документації аналогічний порядку визначення вартості за традиційними контрактами, з відмінністю щодо визначення коштів на покриття додаткових витрат, пов'язаних з інфляційними процесами, коштів на покриття ризику всіх учасників виконання робіт, що пов'язано зі значною тривалістю контрактів.

На етапі складання ціни тендерної пропозиції учасника процедури закупівлі (договірних цін) використовуються прогнозні обсяги робіт і рівні утримання та обслуговування елементу дороги або його частини, визначених замовником, дотримання яких в подальшому слугуватиме основою для взаєморозрахунків. Щодо механізму визначення загальної вартості робіт та окремих її складових, то претендент/підрядник виконує розрахунок виходячи із власних методичних підходів. Вартість договору розподіляється на кожен рік тривалості контракту щомісячними рівними платежами. Вид договірної ціни наведено в табл. 2.

*Таблиця 2*

*Перелік позицій, що відображаються у договірній ціні*

Ч. ч.	Опис
1	Загальна вартість договору, грн в тому числі за роками
1.1	в 20__році
1.2	в 20__році
1.3	в 20__році
n	.....
2	Сума щомісячного платежу за договором (контрактом), грн (в тому числі ПДВ)
3	Резервна сума (кошти на покриття аварійних робіт)
4	Вартість одного штрафного балу, грн

У рядку 3 зазначена резервна сума. Вона передбачена для фінансування можливих непередбачуваних робіт, наприклад, аварійних робіт або інших видів дорожніх робіт для приведення ділянки автомобільної дороги до нормативного транспортно-експлуатаційного стану. Такі роботи та їх обсяги визначаються на підставі діагностики й оцінки їх фактичного стану, зафіксованих в актах дефектів чи інших документах згідно з класифікацією робіт, а вартість визначається за ресурсним методом на підставі положень [13]. Взаєморозрахунки за виконані аварійні роботи здійснюються окремо на підставі фактичних обсягів виконаних робіт за традиційним ресурсним

методом із використанням Акту приймання виконаних будівельних робіт (наприклад, форма № КБ-2в) за рахунок резервної суми коштів.

Особливо важливо зазначити, що основним предметом контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг загального користування за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану є безпосереднє дотримання визначених контрактом рівнів утримання та відповідним їм рівням обслуговування, тому дієвим методом стимулювання підрядника їх забезпечувати було передбачено застосування штрафних санкцій за недотримання рівнів утримання, встановлених замовником, що здійснюється шляхом нарахування штрафних балів підряднику, за рахунок чого зменшується розмір щомісячних платежів.

Методичними рекомендаціями [14] визначено механізм нарахування штрафних балів. Перш за все здійснюється розрахунок кількості штрафних балів. Кожному рівню обслуговування для кожного виду дефекту елементу дороги або його частини відповідає визначений в договорі строк реагування. Для кожного дефекту зазначається час його реєстрації та фактичний час його усунення. Різниця між часом реєстрації та часом усунення дефекту вважається строком реагування або фактичним строком усунення дефекту, і, як результат розраховується інтервал перевищення строку реагування при усуненні дефектів. На основі даних щодо інтервалів перевищення розраховується кількість штрафних балів. Щодо вартості штрафного балу, то на теперішній час не існує науково-обґрунтованої методики розрахунку його розміру, але як одним із можливих варіантів встановлення її замовником (або визначається центральним органом виконавчої влади, що забезпечує реалізацію державної політики у сфері дорожньої галузі та управління автомобільними дорогами) в грошовому виразі. Також передбачена можливість переглядати розмір штрафного балу кожного року протягом дії контракту. Для мінімізації нарахування штрафних балів підрядник має здійснювати постійний моніторинг та контроль за транспортно-експлуатаційним станом автомобільної дороги для дотримання визначених рівнів обслуговування та утримання.

Взаєморозрахунки здійснюються на підставі Акту щомісячного розрахунку за дотримання рівнів утримання (табл. 3), в якому відображається кількість штрафних балів нарахованих за місяць, вартість одного балу і загальна сума зниження оплати, що базується на цих двох показниках, а також вартість аварійних робіт, якщо їх виконання було передбачено.

*Таблиця 3*

*Перелік позицій, що відображаються в акті щомісячного розрахунку за дотримання рівнів утримання*

Ч. ч.	Опис
1	Сума щомісячного платежу за договором, грн (в тому числі ПДВ)
2	Загальна кількість штрафних балів за звітний місяць, шт.
3	Вартість одного штрафного балу, грн
4	Загальна вартість штрафних балів за звітний місяць (сума зниження оплати), грн
5	Вартість виконаних аварійних робіт, (якщо було передбачено договором), грн
6	Сума коштів, що підлягає оплаті за місяць, грн

Із наведеного вище Акту щомісячного розрахунку за дотримання рівнів утримання очевидним є наскільки такий вид контракту кардинально відмінний від традиційного, тим, що підрядник має неправильний стимул, який полягає в тому, щоб здійснити максимальну кількість робіт, щоб максимально збільшити свій прибуток, а не зосереджуватися на ефективному та

довготривалому результати. У свою чергу, довгострокові контракти спрямовані на отримання кінцевих результатів, а саме підтримування дорожніх активів у чітко визначеному належному стані протягом усього строку дії контракту.

### Висновки

Успішна реалізація активного запровадження довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану базується на достатньому законодавчому, нормативно-кошторисному та методичному забезпеченні адже такі контракти докорінним чином відрізняються від звичайних договорів підряду, договорів із надання послуг, які традиційно застосовуються в дорожній галузі. У свою чергу, рівень складності застосовуваного виду контрактів повинен відповідати рівню розвитку дорожнього сектора в кожній країні.

Оскільки розроблення та запровадження довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану розпочалося ще наприкінці вісімдесятих на початку дев'яностих років, то переважна більшість країн уже пройшла перехідний період і аналізуючи проблеми, які виникали, та перспективи, які очевидні, їх напрацювання послужили основним підґрунтям вітчизняних розробок, а саме тих стандартів та методик, які розглядалися у статті.

Перспективи подальшого дослідження цього напрямку полягають у створенні конкурентного середовища на ринку експлуатаційного утримання автомобільних доріг, оскільки саме конкуренція забезпечить бажану економію коштів для замовника та заохочення використання новітніх технологій у галузі. Окрім конкуренції, своєчасне управління, оптимізація робочих процедур, підвищення продуктивності праці, своєчасне обслуговування приведуть до скорочення витрат на експлуатаційне утримання. Безсумнівно, що в силу новизни розглянутих контрактів ймовірно є нестача достатньої кількості кваліфікованих фахівців із дорожнього управління, консультантів і підрядників, тому доцільно проводити навчальні курси, у ході яких фахівці зможуть детально розібратися із всіма особливостями таких контрактів, а поточний пілотний проект сприятиме накопиченню досвіду.

### Список літератури

1. Roads quality – Country rankings. URL: [https://www.theglobaleconomy.com/rankings/roads\\_quality/](https://www.theglobaleconomy.com/rankings/roads_quality/) (дата звернення: 07.07.2020).
2. Виконати аналіз та підготувати методичні документи для можливості реалізації довгострокових договорів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг загального користування»: звіт про НДР ДП «ДерждорНДІ». Київ, 2020.
3. The Road Asset Management Concept. АвтоДорожний Консалтинг, 2005.
4. Ukraine: Roads quality. URL: [https://www.theglobaleconomy.com/Ukraine/roads\\_quality/](https://www.theglobaleconomy.com/Ukraine/roads_quality/) (дата звернення: 07.07.2020).
5. Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України: Постанова Кабінету Міністрів України від 25.06.2020 N 560, редакція від 25.06.2020 // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/560-2020-%D0%BF#Text> (дата звернення: 07.07.2020).
6. Session 3a: Performance-Based Maintenance Contract: Why? CAREC. URL: <https://www.carecinstitute.org/wp-content/uploads/2012/11/Performance-Based-Maintenance-Contract-Why.pdf> (дата звернення: 07.07.2020).



7. Безуглий А.О., Ілляш С.І., Зеленовський В.А., Печончик Т.І., Стасюк Б.О. Вдосконалення системи експлуатаційного утримання мережі автомобільних доріг загального користування в Україні. *Дороги і мости*. Київ, 2017. Вип. 17. С. 14-26.
8. Про автомобільні дороги: Закон України від 08.09.2005 N 2862-IV, редакція від 16.05.2020 N 2304-VIII // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2862-15> (дата звернення: 07.07.2020).
9. Безуглий А.О., Концева В.В., Бібик Ю.М., Бельська О.Л. Довгострокові контракти на експлуатаційне утримання автомобільних доріг загального користування державного значення як необхідний крок до збереження мережі доріг України. *International Scientific and Practical Conference International Trends in Science and Technology*. Варшава, 2019. С. 19 – 24.
10. Впровадження контрактів на основі кінцевих результатів в Україні. Досвід та перспективи розвитку. URL: <https://nadu.com.ua/vprovadzheniya-kontraktiv-na-osnovi-kinczevih-rezultativ-v-ukra%D1%97ni-dosvid-ta-perspektivi-rozvitku/> (дата звернення: 07.07.2020).
11. ДСТУ 8992:2020 Автомобільні дороги. Настанова з обґрунтування рівнів обслуговування під час експлуатаційного утримання. Київ, 2021 (Інформація та документація).
12. ДСТУ 8993:2020 Автомобільні дороги. Рівні обслуговування під час експлуатаційного утримання. Київ, 2021 (Інформація та документація).
13. СОУ 42.1-37641918-085:2018 Автомобільні дороги. Правила визначення вартості робіт з поточного ремонту та експлуатаційного утримання. Київ, 2018. 45 с. (Інформація та документація).
14. МР Д.2.4-37641918-910:2020 Методичні рекомендації щодо реалізації довгострокових договорів (контрактів). Київ, 2020 (Інформація та документація).
15. МР Д.2.4-37641918-911:2020 Методичні рекомендації з визначення прогнозних обсягів робіт з експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування при реалізації довгострокових договорів (контрактів). Київ, 2020 (Інформація та документація).

### References

1. Roads quality - Country rankings. URL: [https://www.theglobaleconomy.com/rankings/roads\\_quality/](https://www.theglobaleconomy.com/rankings/roads_quality/) (Last accessed: 07.07.2020) [in English].
2. Zvit pro naukovo-doslidnu robotu «Vykonaty analiz ta pidhotuvaty metodychni dokumenty dlia mozhlyvosti realizatsii dovhostrokovykh dohovoriv na ekspluatatsiine utrymanna avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannya», DP «DerzhdorNDI». Kyiv, 2020 [in Ukrainian].
3. The Road Asset Management Concept. AvtoDorozhnyi Konsaltnyh. 2005 [in English].
4. Ukraine: Roads quality. URL: [https://www.theglobaleconomy.com/Ukraine/roads\\_quality/](https://www.theglobaleconomy.com/Ukraine/roads_quality/) (Last accessed: 07.07.2020) [in English].
5. Pro vnesennia zmin do deiakykh postanov Kabinetu Ministriv Ukrainy: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 25.06.2020 N 560, editorial office of 25.06.2020 // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/560-2020-%D0%BF#Text> (Last accessed: 07.07.2020) [in Ukrainian].
6. Session 3a: Performance-Based Maintenance Contract: Why? CAREC. URL: <https://www.carecinstitute.org/wp-content/uploads/2012/11/Performance-Based-Maintenance-Contract-Why.pdf> (Last accessed: 07.07.2020) [in English].
7. Artem Bezugliy, Sergey Illyasch, Vladimir Zelenovskii, Taras Pechonchik, Bohdan Stasiuk Vdoskonalennia systemy ekspluatacijnogo utrymanna meregi avtomobilnykh dorih zagalnoho korystuvannya (Improvement of the system of maintenance of the network of highways of general use in Ukraine). *Dороги і мости [Roads and bridges]*. Kyiv, 2017. Iss. 17. P. 14-26 [in Ukrainian].

8. Pro avtomobilni dorohy: Law of Ukraine of 08.09.2005 N 2862-IV, editorial office of 16.05.2020 N 2304-VIII // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2862-15> (Last accessed: 07.07.2020) [in Ukrainian].

9. Bezuhlyi A.O., Kontseva V.V., Bibyk Yu.M., Belska O.L. Dovhostrokovi kontrakty na ekspluatatsiine utrymattia avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia derzhavnogo znachennia yak neobkhidnyi krok do zberezhenia merezhi dorih Ukrainy (Long-term contracts for the maintenance of public roads of national importance as a necessary step towards maintaining the road network of Ukraine). *International Scientific and Practical Conference International Trends in Science and Technology*. Warsaw, 2019. P. 19 – 24 [in English].

10. Vprovadzhennia kontraktiv na osnovi kintsevykh rezultativ v Ukraini. Dosvid ta perspektyvy rozvytku (Implementation of contracts based on the final results in Ukraine. Experience and prospects of development of Ukraine). URL: <https://nadu.com.ua/vprovadzhennya-kontraktiv-na-osnovi-kinczevih-rezultatuv-v-ukra%D1%97ni-dosvid-ta-perspektivi-rozvytku/> (Last accessed: 07.07.2020) [in Ukrainian].

11. DSTU 8992:2020 Avtomobilni dorohy. Nastanova z obgruntuvannia rivniv obsluhovuvannia pid chas ekspluatatsiinoho utrymattia (State standard of Ukraine (DSTU 8992:2020) Guidelines for justifying service levels during maintenance). Kyiv, 2021 (Information and documentation) [in Ukrainian].

12. DSTU 8993:2020 Avtomobilni dorohy. Rivni obsluhovuvannia pid chas ekspluatatsiinoho utrymattia (State standard of Ukraine (DSTU 8993:2020) Highways. Service levels during maintenance). Kyiv, 2021 (Information and documentation) [in Ukrainian].

13. SOU 42.1-37641918-085:2018 Avtomobilni dorohy. Pravyla vyznachennia vartosti robit z potochnoho remontu ta ekspluatatsiinoho utrymattia (Standard of organization of Ukraine (SOU 42.1-37641918-085:2018) Highways. Rules for determining the cost of current repairs and maintenance). Kyiv, 2018. 45 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

14. MR D.2.4-37641918-910:2020 Metodychni rekomendatsii shchodo realizatsii dovhostrokovykh dohovoriv (kontraktiv) (Methodical recommendations on implementation of long-term agreements (contracts)). Kyiv, 2020 (Information and documentation) [in Ukrainian].

15. MR D.2.4-37641918-911:2020 Metodychni rekomendatsii z vyznachennia prohnoznykh obsiahiv robit z ekspluatatsiinoho utrymattia avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia pry realizatsii dovhostrokovykh dohovoriv (kontraktiv) (Methodical recommendations for determining the estimated volume of work on the maintenance of public roads in the implementation of long-term agreements (contracts)). Kyiv, 2020 (Information and documentation) [in Ukrainian].

---

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

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

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

Ivan Rakovych, <https://orcid.org/0000-0001-7083-9862>

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

### **REGULATORY SUPPORT FOR THE IMPLEMENTATION OF LONG-TERM CONTRACTS ON THE OPERATIONAL MAINTENANCE OF HIGHWAYS TO ENSURE THEIR OPERATIONAL CONDITION**

#### ***Abstract***

**Introduction.** The research level of the implementation of long-term contracts for road maintenance has increased significantly over the past few years. Over the last year several basic regulatory framework have been developed and approved, which allow to start the practical implementation of such contracts.

The issue of determining the cost of long-term contracts for road maintenance to ensure their operational condition will be disclosed by the authors.

**Problem Statement.** One of the main problems that preceded the work on research and development of methodological support was and still is the low quality of the operational condition of roads in Ukraine. According to the Global Economic Forum experts, who assess the quality of roads in 141 countries, in 2019 Ukraine took 119th place with a score of 3.0 out of 7 possible [1]. An important factor is the tendency to a certain degree of neglect of operational maintenance in favor of larger investment projects (reconstruction, repairing and even construction). Irregular and improper maintenance of roads significantly increases the cost of subsequent reconstruction or overhaul.

**Purpose.** The purpose of the article is to highlight the basic theoretical principles and justification of the developed mechanism for determining the cost of long-term contracts for road maintenance and related regulations that ensure its implementation.

**Materials and methods.** When writing the article the theoretical method of scientific research was used. The method of analysis was used in terms of the developed regulatory framework to determine the cost of long-term contracts for road maintenance.

**Results.** In this article the current exploratory works in the development of regulatory framework for the functioning of long-term contracts for road maintenance to ensure their operational condition were analyzed. The result of the work is the disclosure of the mechanism for determining the cost performance-based road maintenance contracts and in particular all the documents on which it is based.

**Conclusions.** The results of the analysis allow us to conclude that local developments that aim to implement the long-term contracts for road maintenance to ensure its' operational status have reached a level where they can be actively used to upgrade road maintenance. The in-depth analysis of the effectiveness of such contracts and the nature of methodological recommendations disclosed in the article convinces of sufficient regulatory support for this type of contracts under consideration and determines further steps for the development of this direction.

**Keywords:** motor road, long-term contract, maintenance, regulatory framework.

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***ОРГАНІЗАЦІЙНІ АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ ДЕЯКИХ СКЛАДОВИХ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПІДПРИЄМНИЦТВА****Анотація**

**Вступ.** На сучасному етапі розвитку суспільства, життя людей важко уявити без автомобілів. В свою чергу, швидкий розвиток автомобільної техніки призвів до виникнення нових проблем і труднощів, які пов'язані з необхідністю забезпечення її безпечної експлуатації.

**Проблематика.** Збільшення рухомого складу на автомобільних дорогах загального користування вплинуло на ріст кількості ДТП, особливо в темний період доби. Для подолання цих наслідків, дороги загального користування повинні бути освітлені. На сьогодні, у своїй більшості в лініях зовнішнього освітлення доріг загального користування використовують застарілі світильники що забезпечують незначну освітленість доріг. Така ситуація ще й ускладнюється з використанням в них ламп розжарювання та ртутних чи натрієвих ламп. Крім цього тільки обслуговування таких ліній зовнішнього освітлення коштує майже стільки, скільки витрати на електроенергію. За незначних фінансових ресурсів підприємств дорожньої галузі, що експлуатують лінії зовнішнього освітлення доріг та тримають їх на балансі, постає проблема в модернізації. Цю проблему можливо вирішити за рахунок розширення інвестиційного потенціалу, застосувавши механізм енергосервісу.

**Мета та завдання роботи.** Метою статті є висвітлення одного із шляхів збільшення інвестиційних можливостей підприємництва через визначення організаційних аспектів формування складових інвестиційного потенціалу, а завданням є розкриття та характеристика деяких організаційних аспектів однієї зі складових інвестиційного потенціалу підприємництва.

**Матеріали та методи.** Під час написання статті було використано діалектичні методи пізнання, як аналіз та синтез в частині аналізу ДТП, а також індукція, для розкриття організаційних аспектів формування деяких складових інвестиційного потенціалу підприємництва.

**Результати.** В роботі висвітлено та охарактеризовано енергосервіс, як складову інвестиційного потенціалу підприємства. Розкрито

**Висновки.** Підприємства дорожньої галузі, а саме служби автомобільних доріг в областях, на балансі яких знаходяться лінії зовнішнього освітлення доріг загального користування, не мають достатнього фінансування для вирішення питання «переозброєння» ліній зовнішнього освітлення доріг загального користування для збільшення їх ефективності, економічності та екологічності. Тому постає питання фінансування. На сьогодні одним із шляхів вирішення цієї проблеми є можливість розширення інвестиційного потенціалу підприємства за рахунок механізму енергосервісу. Ця складова інвестиційного потенціалу підприємства не потребує перенаправлення грошових потоків та витрачання додаткових фінансових ресурсів на закупівлю обладнання чи сплату відсотків за кредит та дозволяє не використовувати додаткового фінансування та витрати залишити на попередніх рівнях. Застосування енергосервісу надасть можливість застосувати комплекс енергозберігаючих (енергоефективних) та інших заходів, спрямованих на скорочення споживання електроенергії та витрат на оплату енергетичних ресурсів порівняно із споживанням та витратами, які існували б за відсутності таких заходів.

**Ключові слова:** дорожня галузь, енергосервіс, інвестиційний потенціал, механізм енергосервісу, підприємництво.

## Вступ

Пріоритетною задачею дорожнього господарства країни є подальший розвиток мережі автомобільних доріг при нормативному рівні споживчих якостей існуючих доріг. Ефективність дорожнього господарства в цьому випадку оцінюється обсягом розвитку мережі автомобільних доріг. Одним із показників розвитку мережі є безпека руху. Показники безпеки руху серед різних чинників також залежать від рівня та якості освітлення доріг загального користування.

Якісне зовнішнє освітлення автомобільних доріг державного значення зменшує кількість ДТП на 30 %, а правильно виконане вуличне освітлення міста — на 45 %. Крім цього, зовнішнє освітлення забезпечує життєдіяльність в умовах недостатньої видимості або в темний час доби, а також створює безпеку та комфорт для всіх учасників дорожнього руху. Також, зовнішнє освітлення сприяє зменшенню обсягів споживання електроенергії та експлуатаційних витрат, покращує екологічну ситуацію (зменшує нагрівання атмосфери та кількість шкідливих викидів).

Питанню освітлення доріг загального користування та ДТП в нічний час приділяли увагу науковці Кужель В.П. — в частині ідентифікації дорожніх об'єктів в темну пору доби [1]; науковці Рейцен Є.О., Ромашко Ю.В. — в частині аудит зовнішнього освітлення та його впливу на безпеку міського руху [2]; питанням енергоефективності та енергосервісу приділяли увагу науковці Крайовський В. Я., Желих В. М., Пашкевич В. З. в частині системи оцінювання енергоефективності [3]; Брич В., Федірко М. та Микитюк В. в частині застосування світового досвіду енергосервісу в українських реаліях [4], але частина питань стосовно енергосервісу, як складової інвестиційного потенціалу підприємства, що здійснюють свою діяльність у дорожній галузі та застосування цього механізму для ліній зовнішнього освітлення доріг загального користування залишилася не висвітлена.

Мета й завдання роботи. Метою роботи є висвітлення одного зі шляхів збільшення інвестиційних можливостей підприємництва через визначення організаційних аспектів формування складових інвестиційного потенціалу, а завданням є розкриття та характеристика деяких організаційних аспектів однієї зі складових інвестиційного потенціалу підприємництва.

## Виклад основного матеріалу

Одним з небезпечних чинників, які різко збільшують можливість опинитися в дорожньо-транспортній пригоді, є недостатність освітлення. У темряві (особливо в зимовий період, коли темний час доби сильно розтягнуто) всі групи учасників руху, опиняються в зоні ризику.

Загальний розподіл ДТП (з матеріальним збитком і постраждалими) за областями України на автомобільних дорогах загального користування України за період 2017–2019 років є не рівномірним та зображений на рис. 1.

За матеріалами Патрульної поліції України [5], за період 2017–2019 років, кількість ДТП в областях майже не змінна, хоча у 2018 році спостерігається деяке зниження кількості ДТП. Близько 30 відсотків усіх ДТП трапляються в темний період доби (рис. 2).

Але, проаналізувавши статистику ДТП за годинами доби з врахуванням інтенсивності та в розрахунку на 1000 автомобілів, бачимо, що починаючи з 17 години спостерігається зростання кількості ДТП (рис. 3), яке досягає свого максимуму до 24 год. Починаючи з 24 год до 8 год кількість ДТП починає дещо знижуватися.

За результатами проведених розрахунків спостерігається чітка залежність кількості ДТП від фактору світла, а тому освітленість доріг загального користування та наявність на них ліній зовнішнього освітлення є одним із факторів, що впливає на безпеку автомобільного руху.

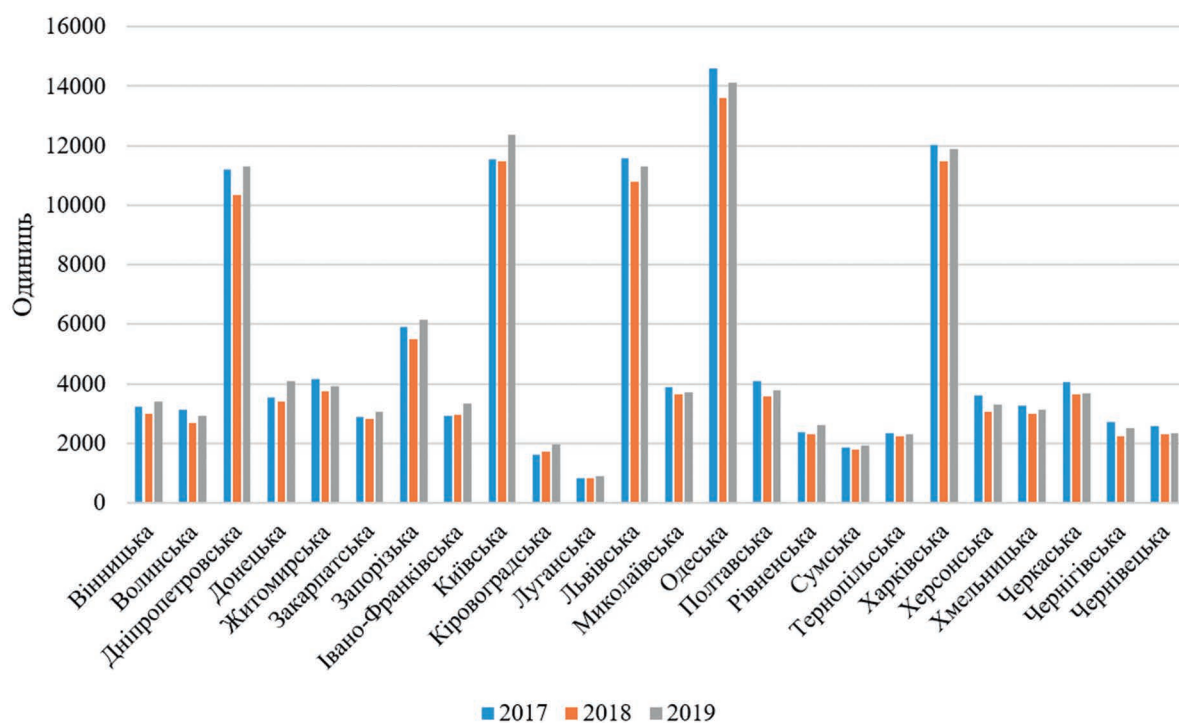


Рисунок 1 — Загальна кількість ДТП на автомобільних дорогах державного значення в період із 2017 по 2019 роки<sup>1</sup>

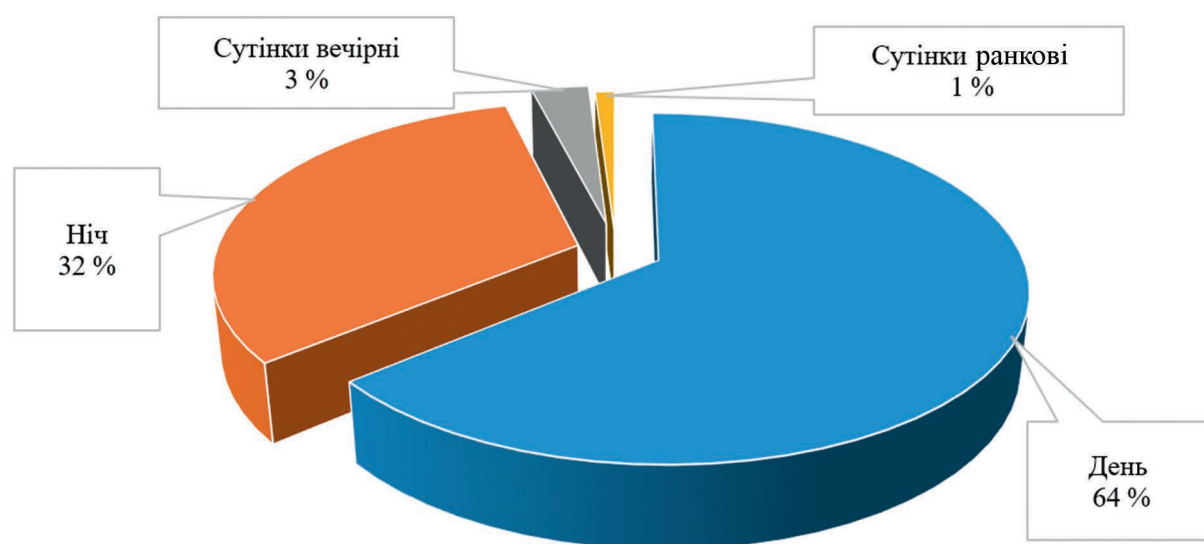
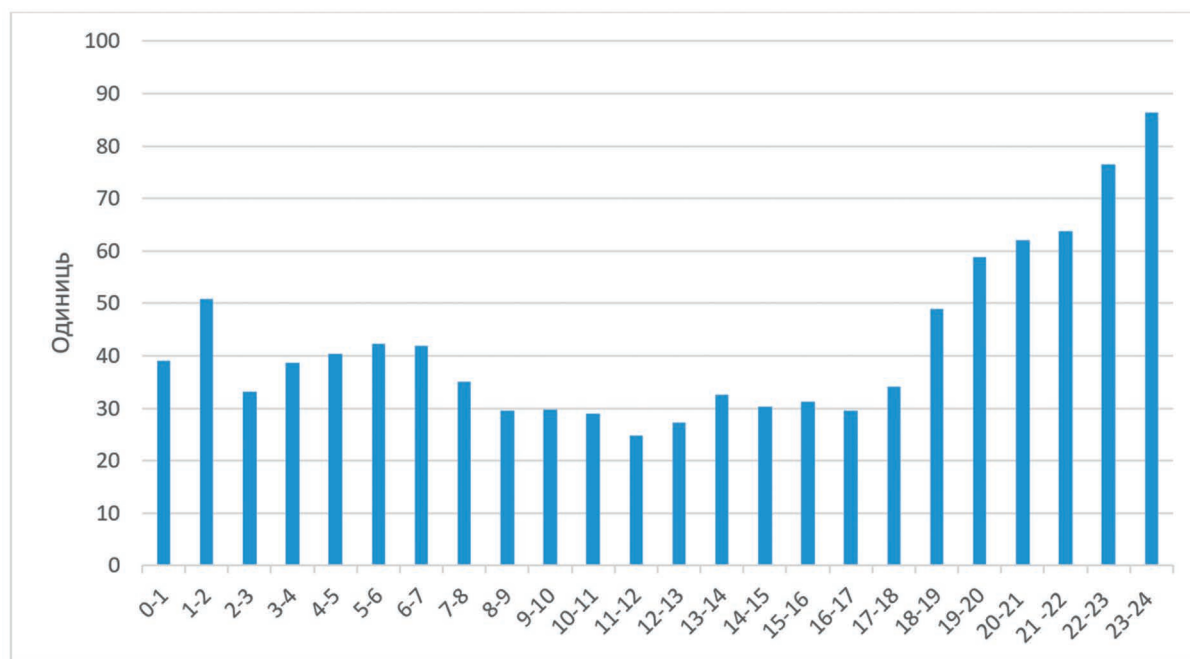


Рисунок 2 — Частка ДТП всього за періодами доби на автомобільній дорозі державного значення



**Рисунок 3** — Розподіл ДТП за годинами доби на автомобільних дорогах державного значення України в розрахунку на 1000 транспортних засобів

Основними будівельними нормами України, що регламентують вимоги до норм освітлення автомобільних доріг загального користування за межами населених пунктів є ДБН В.2.3-4 [6], а для вуличного освітлення в межах населених пунктів — ДБН В.2.5-28 [7]. Норми освітленості обов'язкові для всіх організацій, що здійснюють діяльність у галузі будівництва та монтажу.

Для автомобільних доріг загального користування необхідно передбачати стаціонарне електричне освітлення [6]:

- ділянок доріг, що проходять через населені пункти;
- під'їздів до залізничних колій в одному рівні на відстані 50 м у кожний бік;
- транспортних тунелів;
- розв'язок доріг у різних рівнях у межах зон транспортних розв'язок та по 100 м на підходах до них;
- розв'язок доріг в одному рівні, розташованих на дорогах I-б категорії, які облаштовані перехідно-швидкісними смугами, у межах зон транспортних розв'язок та по 100 м на підходах до них;
- кільцевих розв'язок доріг в одному рівні та інших дорожніх розв'язок III класу у межах зон транспортних розв'язок та по 100 м на підходах до них;
- автобусних зупинок у разі можливості використання існуючих електричних розподільних мереж;
- підземних і надземних пішохідних переходів;
- пішохідних переходів в одному рівні через дороги I-б – III категорій, які обладнані острівцями безпеки;
- ділянок доріг на підходах до пунктів сервісу вздовж перехідно-швидкісних смуг;
- мостів завдовжки понад 100 м та підходів до них по 200 м у кожний бік;
- місць здійснення габаритно-вагового контролю.

За відповідного техніко-економічного обґрунтування допускається освітлення інших ділянок доріг.

Якщо відстань між сусідніми освітлюваними ділянками становить менше ніж 250 м, необхідно влаштовувати суцільне освітлення дороги з метою уникнення чергування освітлених та неосвітлених ділянок. При проектуванні стаціонарного освітлення надавати перевагу застосуванню енергозберігаючих технологій.

Поза населеними пунктами освітлення проїзної частини ділянок доріг необхідно проектувати виходячи із норм середньої яскравості дорожнього покриття, осліплюючої дії, загальної і поздовжньої рівномірності розподілу яскравості дорожнього покриття — відношення мінімальної яскравості покриття до середнього значення і мінімальної яскравості покриття до максимальної.

Середня яскравість дорожнього покриття автомобільних доріг, у тому числі великих та середніх мостів, повинна бути не менше ніж 1,0 кд/м<sup>2</sup> на дорогах I-а категорії; 0,8 кд/м<sup>2</sup> — на дорогах I-б категорії; 0,6 кд/м<sup>2</sup> — на дорогах II категорії, а на інших дорогах та на з'єднувальних відгалуженнях у межах транспортних розв'язок — 0,4 кд/м<sup>2</sup>.

Відношення мінімальної яскравості покриття до середнього значення повинно бути не менше ніж 0,3 при нормі середньої яскравості 0,8 кд/м<sup>2</sup>, не менше ніж 0,25 при нормі середньої яскравості 0,6 кд/м<sup>2</sup> і не менше ніж 0,2 при нормі середньої яскравості 0,4 кд/м<sup>2</sup>.

Відношення мінімальної яскравості покриття до максимальної по смузі руху повинно бути не менше 0,4 при нормі середньої яскравості 0,8 кд/м<sup>2</sup> і більше, не менше ніж 0,3 при нормі середньої яскравості 0,6 кд/м<sup>2</sup> і не менше ніж 0,2 при нормі середньої яскравості 0,4 кд/м<sup>2</sup>.

Висота установлення приладів зовнішнього освітлення над рівнем дорожнього покриття повинна призначатись такою, щоб пороговий приріст яскравості не перевищував 15 % у діапазоні нормованих яскравостей від 0,6 кд/м<sup>2</sup> до 2,0 кд/м<sup>2</sup>. Поза населеними пунктами середня горизонтальна освітленість проїздів довжиною до 60 м під мостами у темну пору доби повинна бути не менше ніж 15 лк, а відношення мінімальної освітленості до середньої — не більше ніж 0,25.

У межах населених пунктів, за характером вимог до освітлення всі вулиці та площі міст поділяються на три категорії [7]:

- А — швидкісні дороги, магістралі загальноміського значення тощо;
- Б — магістральні вулиці районного значення, дороги вантажного руху тощо;
- В — вулиці та дороги місцевого значення.

**Таблиця 1**

**Нормативні показники для міських вулиць і доріг з асфальтобетонним покриттям**

Категорія вулиць	Найменування об'єкта	Найбільша інтенсивність руху в обох напрямках, од./ год	Середня яскравість покриття *, L, кд/м <sup>2</sup>	Середня горизонтальна освітленість покриття, лк
А	Магістральні дороги, магістральні вулиці загальноміського значення	Більше ніж 5 000	2,0	20
		Від 3 000 до 5 000	1,5	20
		Від 1 000 до 3 000	1,2	20
		Від 500 до 1 000	0,8	15
		Менше ніж 500	0,6	10
Б	Магістральні вулиці районного значення	Більше ніж 2 000	1,0	15
		Від 1 000 до 2 000	0,8	15
		Від 500 до 1 000	0,6	10
		Менше ніж 500	0,4	10



*Кінець таблиці 1*

Категорія вулиць	Найменування об'єкта	Найбільша інтенсивність руху в обох напрямках, од./ год	Середня яскравість покриття *, L, кд/м <sup>2</sup>	Середня горизонтальна освітленість покриття, лк
В	Вулиці і дороги місцевого значення	500 і більше	0,4	8
		Менш 500	0,3	6

Крім цього, рівень освітлення проїзної частини вулиць, доріг і площ із покриттям з бруківки, гранітних плит та інших матеріалів регламентується величиною середньої горизонтальної освітленості.

На пішохідних переходах в одному рівні з проїзною частиною вулиць і доріг з інтенсивністю руху більше 500 од/год слід передбачати норми освітлення не менше ніж у 1,3 рази порівняно з нормою освітлення проїзної частини. Збільшення рівня освітлення досягається за рахунок зміни кроку опор, установки додаткових або більш потужних світлових приладів, використання освітленого покриття на переході тощо.

Для того, щоб забезпечити належне освітлення доріг загального користування на сьогодні використовують різноманітні світильники, від простих ламп накаливання до світлодіодних систем. Крім цього, для управління процесами вмикання чи вимикання зовнішнього освітлення використовуються різні реле, що вмикаються в запрограмований час чи від рівня освітленості дороги, також застосовують реле, що має зворотні канали передачі інформації з GSM модулями — для оперативного реагування на ситуацію, що складається на дорозі.

Найчастіше використовують простий графік вмикання та вимикання (табл. 2).

*Таблиця 2*

**Час вмикання та вимикання світильників зовнішнього освітлення доріг загального користування**

Місяць	Години роботи зовнішнього освітлення доріг загального користування (год)	
	Час вмикання	Час вимикання
Січень	17.00	07.00
Лютий	17.30	06.30
Березень	18.30	06.00
Квітень	20.00	05.00
Травень	22.00	04.00
Червень	22.30	04.00
Липень	22.00	04.00
Серпень	21.00	05.00
Вересень	20.00	06.00
Жовтень	18.00	06.00
Листопад	17.00	06.30
Грудень	16.30	07.00

Більш ефективним є застосування добових графіків вмикання та вимикання зовнішнього освітлення (табл. 3).

Таблиця 3

Добовий графік вмикання та вимикання електромереж зовнішнього освітлення

Місяць	П'ятиднівка, год-хв											
	1-5		6-10		11-15		16-20		21-25		26-30	
	Вимкн	Вмик	Вимкн	Вмик	Вимкн	Вмик	Вимкн	Вмик	Вимкн	Вмик	Вимкн	Вмик
01	6-58	16-31	6-57	16-38	6-56	16-43	6-53	16-49	6-49	16-57	6-45	17-05
02	6-38	17-14	6-31	17-21	6-23	17-28	6-16	17-36	6-08	17-43	5-58	17-51
03	5-53	17-55	5-41	18-05	5-33	18-10	5-23	18-20	5-15	18-26	5-12	18-34
04	4-49	18-42	4-38	18-51	4-27	18-58	4-19	19-05	4-08	19-13	3-58	19-22
05	3-49	19-30	3-39	19-38	3-30	19-45	3-23	19-53	3-16	20-01	3-10	20-08
06	3-05	20-15	3-00	20-20	2-58	20-25	2-56	20-28	2-57	20-30	2-59	20-31
07	3-02	20-30	3-06	20-27	3-11	20-23	3-17	20-19	3-23	20-13	3-30	20-05
08	3-39	19-57	3-47	19-48	3-53	19-40	4-02	19-30	4-10	19-21	4-18	19-10
09	4-25	18-58	4-33	18-47	4-42	18-36	4-50	18-25	4-56	18-15	5-02	18-04
10	5-09	17-54	5-15	17-46	5-24	17-33	5-31	17-23	5-39	17-14	5-46	17-06
11	5-54	16-57	6-02	16-50	6-09	16-43	6-16	16-38	6-23	16-32	6-31	16-28
12	6-37	16-25	6-43	16-23	6-48	16-23	6-51	16-24	6-54	16-26	6-55	16-28

Але все рівно, така система не враховує всіх факторів, що мають вплив на освітлення доріг загального користування — затемнення ділянок від дерев, будівель, зовнішньої реклами чи особливостей рельєфу. Також вагомий вплив мають погодні умови, що складаються в конкретний день. Тому системи, що забезпечують освітлення доріг загального користування, повинні складати ефективний комплекс, що поєднує в собі ефективні та економічні світильники, ефективну систему управління лініями освітлення, що дає змогу оперативного реагувати на ситуацію, що складається, а також ефективне розташування світильників для забезпечення норм яскравості та освітлення проїзної частини та тротуарів доріг загального користування.

Такий ефективний комплекс освітлення доріг загального користування можливо побудувати встановленням економічних світильників з ефективною системою управління ними. Так, як на сьогодні в більшості ліній зовнішнього освітлення застосовують мало ефективні ртутні та натрієві лампи та реле управління, що вмикається відповідно до запрограмованого графіка, потрібні суттєві грошові інвестиції в «переозброєння» такого освітлення. Підприємства дорожньої галузі, а саме служби автомобільних доріг в областях, на балансі яких знаходяться лінії зовнішнього освітлення доріг загального користування, не мають достатнього фінансування для вирішення цієї проблеми. Тому постає питання фінансування. На теперішній час одним із шляхів вирішення цієї проблеми є можливість розширення інвестиційного потенціалу підприємства. Основними серед складових інвестиційного потенціалу підприємства є власний капітал, кредитування, лізинг тощо. Всі ці ресурси потребують перенаправлення грошових потоків і витрачання додаткових фінансових ресурсів на закупівлю обладнання чи сплату відсотків за кредит. Іншим механізмом інвестування, що дозволяє не використовувати додаткового фінансування та витрати залишити на попередніх рівнях, є механізм енергосервісу.

Застосування енергосервісу надасть можливість застосувати комплекс енергозберігаючих (енергоефективних) та інших заходів, спрямованих на скорочення споживання електроенергії та витрат на оплату енергетичних ресурсів порівняно зі споживанням та витратами, які існували б за відсутності таких заходів.

Відповідно до положень [8] енергосервіс — комплекс технічних та організаційних

енергозберігаючих (енергоефективних) та інших заходів, спрямованих на скорочення замовником енергосервісу споживання витрат на оплату паливно-енергетичних ресурсів чи житлово-комунальних послуг порівняно зі споживанням (витратами) за відсутності таких заходів. Послуги з енергосервісу надають енергосервісні компанії, основною метою діяльності яких є застосування управлінських, фінансових і конструкторських рішень, що дозволяють істотно заощадити на енерговитратах. Тобто, під час укладання договору з енергосервісною компанією про енергосервіс ліній зовнішнього освітлення доріг загального користування, балансоутримувач, де реалізується енергозберігаючий проект, нічого додатково не витрачає на його впровадження. Витрати енергосервісу та енергосервісної компанії компенсуються за рахунок частки коштів, які раніше підприємство дорожньої галузі витрачало на експлуатацію ліній зовнішнього освітлення доріг загального користування та які отримує ця компанія протягом реалізації проекту (середня тривалість такого проекту складає 3...5 років, якщо проект масштабний — то 10–15 років). Отримана за рахунок реалізації енергозберігаючого проекту економія частіше всього розподіляється між енергосервісною компанією та балансоутримувачем у співвідношенні: 50 % ÷ 50 %; 40 % ÷ 60 %; 30 % ÷ 70 %; 60 % ÷ 40 %; 70 % ÷ 30 %. Якщо підприємство не отримало очікуваного прибутку (економії) то енергосервісна компанія повинна компенсувати різницю. Початкові витрати проекту завжди лягають на енергосервісну компанію.

Дорожні підприємства, що фінансуються за рахунок державного бюджету, енергосервіс здійснюють тільки за процедурами публічних закупівель у порядку, встановленому [8] для закупівель послуг, з урахуванням особливостей, встановлених [8]. Відповідно, закупівлі енергосервісу здійснюються шляхом застосування процедури відкритих торгів або переговорної процедури закупівлі.

Для проходження процедури публічних закупівель потрібно підготувати наступні документи:

- 1) інструкцію з підготовки тендерних пропозицій;
- 2) один або декілька кваліфікаційних критеріїв до учасників з урахуванням інформації про спосіб підтвердження відповідності учасників установленим критеріям і вимогам згідно із законодавством;
- 3) базовий річний рівень споживання енергетичних ресурсів у натуральних показниках та у грошовій формі за цінами (тарифами), чинними на дату оголошення про проведення процедури закупівлі;
- 4) повну інформацію про об'єкт енергосервісу та обладнання, що використовується на об'єкті енергосервісу для постачання і споживання енергетичних ресурсів;
- 5) перелік критеріїв та методику оцінки тендерних пропозицій із зазначенням питомої ваги критеріїв, якщо замовником прийнято рішення включити інші критерії, крім показника ефективності енергосервісного договору;
- 6) строк, протягом якого тендерні пропозиції вважаються дійсними, але не менше ніж 90 робочих днів з дати розкриття тендерних пропозицій;
- 7) інформацію про мову (мови), якою (якими) мають бути складені тендерні пропозиції;
- 8) зазначення кінцевого строку подання тендерних пропозицій;
- 9) прізвище, ім'я та по батькові, посаду та адресу однієї чи кількох посадових осіб замовника, уповноважених здійснювати зв'язок з учасниками процедури закупівлі;
- 10) формулу розрахунку показника ефективності енергосервісного договору;
- 11) вимоги про зазначення учасником процедури закупівлі у тендерній пропозиції такої інформації:
  - пропонуваній строк енергосервісного договору;
  - щорічні платежі виконавцю енергосервісу, розраховані з урахуванням

- пропонованого строку дії енергосервісного договору;
- щорічне скорочення витрат замовника енергосервісу;
- рівень скорочення споживання відповідних паливно-енергетичних ресурсів чи житлово-комунальних послуг, який має бути досягнуто в результаті здійснення енергосервісу, за кожний рік дії енергосервісного договору (у натуральних показниках та відсотках до базового рівня споживання паливно-енергетичних ресурсів та житлово-комунальних послуг);
- фіксований відсоток суми скорочення витрат замовника енергосервісу на оплату відповідних паливно-енергетичних ресурсів та/або житлово-комунальних послуг, що підлягає до сплати виконавцю енергосервісу;
- ціна енергосервісного договору.

Під час проведення процедури закупівлі енергосервісу для оцінки пропозицій учасників процедури закупівлі та визначення найбільш економічно вигідної пропозиції замовник використовує показник ефективності енергосервісного договору. Цей показник визначається як сумарне за двадцятирічний період з дати оголошення про проведення процедури закупівлі енергосервісу значення дисконтованих у кожному інтервалі різниць між щорічними скороченнями витрат замовника та щорічними платежами виконавцю енергосервісу. Дисконтування здійснюється на розмір облікової ставки Національного банку України, що діяла на дату оголошення про проведення процедури закупівлі енергосервісу.

Енергосервісний договір укладається за ціною, що дорівнює сумі скорочення витрат замовника енергосервісу на оплату енергетичних ресурсів, порівняно з витратами, що були б здійснені за відсутності енергосервісу, яка має бути забезпечена виконавцем енергосервісу за весь строк дії енергосервісного договору, з урахуванням фіксованого відсотка суми скорочення витрат замовника енергосервісу на оплату відповідних енергетичних ресурсів, що підлягає до сплати виконавцю енергосервісу.

### Висновки

Для підвищення рівня економічності, екологічності та збільшення ефективності використання ліній зовнішнього освітлення доріг загального користування в підприємств дорожньої галузі є можливість використати одну із складових їх інвестиційного потенціалу, а саме застосування механізму енергосервісу. Ця складова інвестиційного потенціалу підприємства не потребує перенаправлення грошових потоків і витрачання додаткових фінансових ресурсів на закупівлю обладнання чи сплату відсотків за кредит і дозволяє не використовувати додаткового фінансування та залишити витрати на попередніх рівнях. Застосування енергосервісу надасть можливість застосувати комплекс енергозберігаючих (енергоефективних) та інших заходів, спрямованих на скорочення споживання електроенергії та витрат на оплату енергетичних ресурсів порівняно із споживанням і витратами, які існували б за відсутності таких заходів.

### Список літератури

1. Кужель В. П., Кашканов А. А., Кашканов В. А. Методика зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи ДТП при ідентифікації дальності видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби : монографія. Вінниця, 2010. 200 с.
2. Рейцен Є. О., Ромашко Ю.В. Аудит зовнішнього освітлення та безпека міського руху. *Містобудування та територіальне планування*. Київ, 2014. Вип. 53. С. 444-448. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP\\_2014\\_53\\_57](http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2014_53_57) (дата звернення: 21.06.2020).
3. Пашкевич В. З., Шепітчак В. Б., Крайовський В. Я., Желих В. М. Оцінювання

енергоефективності будівель закладів вищої освіти на основі визначення базового рівня енергоспоживання. *Енергетика та автоматика*. Київ, 2020. Вип. 6. С. 86-102.

4. Brych Vasyl et al. The development of the energy service market: world practice and Ukraine's realities. *Herald of Ternopil National Economic University*, 2019, 3 (85). P. 7-20.

5. Статистика ДТП в Україні за період з 01.01.2017 по 31.12.2019. Патрульна поліція України. URL: <http://patrol.police.gov.ua/statystyka/> (дата звернення: 21.06.2020).

6. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина I. Проектування Частина II. Будівництво. Київ, 2015. 104 с. (Інформація та документація).

7. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. Київ, 2018. 133 с. (Інформація та документація).

8. Про запровадження нових інвестиційних можливостей, гарантування прав та законних інтересів суб'єктів підприємницької діяльності для проведення масштабної енергомодернізації. Закон України від 9 квітня 2015 року за № 327-VIII. Відомості Верховної Ради. 2015.

### References

1. Kuzhel V. P., Kashkanov A. A., Kashkanov V. A. (2010) *Metodyka zmenshennya nevyznachenosti v zadachakh avtotekhnichnoyi ekspertyzy DTP pry identyfikatsiyi dalnosti vydymosti dorozhnikh ob'ektiv v temnu poru doby (Methods of reducing uncertainty in the tasks of auto technical examination of road accidents in identifying the range of visibility of road objects in the dark) : a monograph*. Vinnytsya, 2010. 200 p. [in Ukrainian].

2. Reysen Ye. O., Romashko Yu.V. *Audyt zovnishnoho osvittlenya ta bezpeka miskoho rukhu (Exterior lighting audit and urban safety)*. *Mistobuduvannâ ta teritorial'ne planuvannâ*. Kyiv, 2014. Iss. 53. P. 444-448 [in Ukrainian].

3. Pashkevych V. Z., Shepitchak V. B., Krayovskyy V. Ya., Zhelykh V. M. *Otsynuyannya enerhoefektyvnosti budivel zakladiv vyshchoyi osvity na osnovi vyznachennya bazovoho rivnya enerhospozhyvannya (Evaluation of energy efficiency of buildings of higher education institutions based on the definition of the basic level of energy consumption)*. *Energetika i avtomatika*. Kyiv, 2020. Iss. 6. P. 86-102 [in Ukrainian].

4. Brych Vasyl et al. The development of the energy service market: world practice and Ukraine's realities. *Visnik Ternopil's'kogo nacional'nogo ekonomichnogo universitetu*. Ternopil, 2019. Vol. 3 (85). P. 7-20 [in Ukrainian].

5. *Statystyka DTP v Ukrayini za period z 01.01.2017 po 31.12.2019*. [Accident statistics in Ukraine for the period from 01.01.2017 to 31.12.2019] Patrol police of Ukraine. URL: <http://patrol.police.gov.ua/statystyka/> [in Ukrainian].

6. *DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo (State Building Norms (DBN V.2.3-4-2015) Highways. Part I. Design. Part II. Building)*. Kyiv, 2015. 104 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

7. *DBN V.2.5-28:2018 Pryrodne i shtuchne osvittlenya (State Building Norms (DBN B.2.5-28:2018) Natural and artificial lighting)*. Kyiv, 2018. 133 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

8. *Pro zaprovadzhennya novykh investytsiynykh mozhlyvostey, harantuvannya prav ta zakonnykh interesiv sub'yektiv pidpryyemnytskoyi diyal'nosti dlya provedennya masshtabnoyi enerhomodernizatsiyi. [On the introduction of new investment opportunities, guaranteeing the rights and legitimate interests of business entities for large-scale energy modernization]* *Zakon Ukrayiny vid 9 kvitnya 2015 roku za № 327-VIII. Vidomosti Verkhovnoyi Rady*. 2015 [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 ASPECTS OF FORMATION OF SOME COMPONENTS OF INVESTMENT POTENTIAL OF ENTREPRENEURSHIP**

### ***Abstract***

**Introduction.** In modern society, people's lives is hard to imagine without cars. In turn, the rapid development of automotive technology has led to new problems and difficulties related to the need to ensure its safe operation.

**Problem Statement.** Increasing the rolling stock on the public roads affected the growth of the number of accidents, especially in the dark during the day. To overcome these effects, public roads must be illuminated. Today, the majority in the lines of outdoor lighting of public roads using old lamps providing illumination minor roads. This situation is further complicated by the use of incandescent lamps and mercury or sodium lamps. In addition, only such service lines outdoor lighting costs almost as much energy costs. With few financial resources of enterprises road sector, operating line of outdoor lighting roads and keep them in balance, there is a problem in modernization. This problem can be solved by expanding the investment potential applying mechanism Energoservice.

**The purpose and tasks of work.** The article is to highlight one of the ways to increase business investment opportunities by identifying organizational aspects of forming constituents investment potential and challenge is the discovery and characterization of certain organizational aspects of one of the components of the investment potential business.

**Materials and methods.** When writing the article was used dialectical method of cognition as analysis and synthesis in analysis of accidents and induction to uncover organizational aspects of formation of some components of the investment potential of the business.

**Results.** The paper highlights Energoservice and characterized as part of the investment potential of the company. The content of this concept and highlights the implementation of this project. For the procedure of public procurement Energoservice The list of key documents needed to prepare and performance indicator defined energy service contract.

**Conclusions.** Enterprises road sector, namely in highway service areas, which are on the balance of the line of outdoor lighting of public roads do not have sufficient funding to address the "upgrading" of lines of outdoor lighting of public roads to increase their effectiveness, efficiency and environmental friendliness. Therefore, the question of funding. Today one of the solutions to this problem is the possibility of expanding the investment potential of the enterprise by Energoservice mechanism. This component of the investment potential of the company does not need to redirect cash flows and use of additional financial resources for purchasing equipment or paying interest on loans and eliminates the need for additional financing costs and leave the same. The application will allow Energoservice apply a set of energy-saving (energy efficiency) and other measures aimed at reducing energy consumption and costs of energy consumption and compared to the costs that would exist in the absence of such measures.

**Keywords:** road industry, energy service, investment potential, energy service mechanism, entrepreneurship.

УДК 657.471

**Концева В. В.**, канд. екон. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-4911-7723>**Лук'яненко К. О.**, <https://orcid.org/0000-0003-3884-2652>

Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

**ОРГАНІЗАЦІЯ ОБЛІКУ ВИТРАТ ВИРОБНИЦТВА ДОРОЖНІХ ПІДПРИЄМСТВ  
ЗА ЦЕНТРАМИ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ****Анотація**

**Вступ.** У даній статті пропонується огляд теоретичних і практичних засад організації обліку витрат виробництва дорожніх підприємств за центрами відповідальності. Розглянуто основні етапи процесу формування центрів витрат за центрами відповідальності та розроблено план рахунків управлінського обліку дорожніх підприємств. Узагальнено центри витрат основної діяльності дорожніх підприємств, а саме виділено центри відповідальності та центри витрат.

**Проблематика.** Проблема розподілу витрат між окремими підрозділами (центрами відповідальності) вирішують шляхом встановлення взаємозв'язку витрат із роботою конкретних відповідальних осіб. Інструментом для цього є система управлінського обліку, яка спрямована на забезпечення інформацією та об'єднує всю послідовність операцій щодо прийняття управлінських рішень – планування і прогнозування.

**Мета.** Метою роботи є визначення понять «центр відповідальності» та «центр витрат», розроблення плану рахунків управлінського обліку дорожніх підприємств із визначенням субрахунків другого та третього порядку.

**Матеріали та методи.** Під час написання статті було використано такі загальнонаукові методи дослідження: індукція, дедукція, систематизація, наукова абстракція та порівняння — для з'ясування теоретичних основ обліку витрат виробництва, аналізу та розроблення плану рахунків управлінського обліку дорожніх підприємств.

**Результати.** Проведення дослідження дозволило запропонувати комплексну методіку бухгалтерського обліку, а також запровадити поетапний порядок формування внутрішньої звітності в розрізі центрів витрат.

**Висновки.** Для забезпечення ефективної організації обліку виробництва за центрами відповідальності необхідно своєчасно надавати інформацію про витрати. Вибір методу обліку витрат на виробництво та калькулювання собівартості робіт повинні бути гнучкими, простими у використанні та дозволяти в оперативному порядку отримати необхідну інформацію.

**Ключові слова:** витрати виробництва, облік, план рахунків, центр відповідальності, центр витрат.

**Вступ**

З метою ефективного управління витратами виробництва важливим для підприємства є отримання достовірної та чіткої інформації про витрати не в цілому, а в розрізі деталізованих об'єктів формування витрат. Інформація щодо формування витрат на виробництво контролюється у процесі виробничого споживання ресурсів. У зв'язку із цим, з'явилися такі об'єкти формування і обліку витрат, як місця виникнення витрат, центри витрат і центри відповідальності. Місце виникнення витрат — це сфера відповідальності, яка пов'язана з певними видами витрат під час виготовлення продукції.

Висвітленню питань обліку витрат виробництва за центрами відповідальності приділяється достатньо багато уваги, їх досліджували у своїх працях такі вчені як Бутинець Ф. Ф., Дерій В. А., Турило А. М., Загородній А. Г., Задорожній З.-М. В., Крупка Я. Д., Омецінська І. Я., Палій В. Ф., Пушкар М. С., Сопко В. В., Грещак М. Г., Коцюба О. С.

Серед зарубіжних учених, що займалися проблемами досконалості обліку витрат за центрами відповідальності, слід зазначити таких як К. Друрі, Дж. Рис, Ф. Тейлор, Дж. А. Хігінс, Р. Ентоні та ін.

Метою дослідження є проведення аналізу організації обліку витрат виробництва дорожніх підприємств за центрами відповідальності та розроблення плану рахунків управлінського обліку.

### Основна частина

Чітка організація обліку витрат виробництва є основою для визначення переліку статей витрат виробництва та складу витрат для кожної із статей; порядку відображення витрат на рахунках обліку виробництва та способів включення витрат до вартості кожного об'єкта калькулювання; вибір обліку витрат за їх видами та об'єктами обліку (центрами відповідальності).

Регулювання витрат виробництва здійснюється на основі Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 16 «Витрати» [1] та Методичних рекомендацій з формування собівартості будівельно-монтажних робіт [2]. Склад витрат за кожною статтею (прямі матеріальні витрати, прямі витрати на оплату праці, інші прямі витрати) встановлюється підприємством виходячи із особливостей і специфіки технології і організації виробництва. Виникає необхідність розроблення методики розподілу витрат, які безпосередньо не можна віднести на певний об'єкт обліку витрат.

Облік витрат за центрами відповідальності дає змогу контролювати ефективність їхньої діяльності щодо дотримання встановлених кошторисів (бюджетів) витрат.

За результатами дослідження управлінського обліку витрат дорожніх підприємств пропонується план рахунків управлінського обліку з метою систематизації облікової інформації за центрами відповідальності, які здійснюють управління виробничою діяльністю і оцінку результатів.

Розглянемо поняття «центр відповідальності» і «центр витрат».

Концепцію центрів відповідальності, на якій базується сучасний підхід до організації управління витратами на підприємстві, вперше було сформульовано Джоном А. Хігінсом. На початку 50-х років ХХ ст. вона поширюється в США, а згодом і в інших країнах. Поява концепції центрів відповідальності в цілому пов'язана з потребою ефективнішого управління підприємством в умовах ринкової економіки, а конкретніше — з потребою посилення контролю за використанням ресурсів [3].

А. М. Турило, Ю. Б. Кравчук, А. А. Турило, вважають, що центр відповідальності — це структурний підрозділ підприємства, який очолює певна особа (менеджер), що самостійно приймає управлінські рішення в межах власних повноважень та несе персональну відповідальність за виконання доведених до цього підрозділу планових завдань, основних показників діяльності [4].

Центр відповідальності — це організаційна одиниця підприємства, керівник якої відповідає за надані у його відповідальність ресурси та досягнуті результати діяльності. У свою чергу центр витрат — це центр відповідальності, керівник якого контролює витрати виробництва з метою управління ними.

Розглянемо порядок формування центрів витрат за центрами відповідальності (табл. 1), що складається з трьох основних етапів:

- 1) попереднє визначення центрів відповідальності;
- 2) виявлення центрів технологічної відповідальності центрів витрат, за якими закріплена



відповідальність за дотримання технологічних параметрів;

3) формування центрів витрат виходячи з виконуваних ними завдань і функцій.

*Таблиця 1*

**Основні етапи процесу формування центрів витрат за центрами відповідальності**

Назва етапу	Основне завдання етапу	Процедура виконання етапу
Етап 1: Попереднє визначення центрів відповідальності	Формування ідеології виділення, а також побудова попередньої організаційної структури	Прийняте рішення про створення центрів відповідальності та внесені відповідні зміни до плану рахунків
Етап 2: Виявлення центрів відповідальності центрів витрат	Розподіл відповідальності працівників за дотримання всіх процедур та якості виконаних робіт	Виявлення точок відповідальності; визначення посадових осіб, які несуть відповідальність (працівники підрозділів); визначення змісту відповідальності і її персоніфікації
Етап 3: Формування центрів витрат виходячи з виконуваних ними завдань і функцій	Визначення видів центрів витрат, формування організаційної структури управління на основі центрів витрат	Аналіз попередньої структури на основі центрів витрат; побудова остаточного варіанта схеми організаційної структури управління в рамках центрів витрат

Зважаючи на те, що облік витрат за центрами відповідальності та центрами витрат на підприємствах дорожньої галузі трудомісткий, для облікової роботи пропонуємо розглянути план рахунків управлінського обліку (табл. 2).

*Таблиця 2*

**План рахунків управлінського обліку дорожніх підприємств**

Синтетичний рахунок (рахунок першого порядку)		Субрахунки (рахунки другого порядку) Центри відповідальності		Субрахунки (рахунки третього порядку) Назва центру витрат	
код	назва	код	назва	код	назва
1	2	3	4	5	6
<b>23</b>	<b>Виробництво</b>	231	Основне виробництво	2311	Будівництво доріг
				2312	Реконструкція доріг
				2313	Капітальний ремонт
				2314	Поточний ремонт
				2315	Експлуатаційне утримання автомобільних доріг загального користування
		232	Допоміжне виробництво	2321	Ремонт штучних споруд
				2322	Проектні роботи
		233	Обслуговуючі господарства	2331	Влаштування засобів організації дорожнього руху
				2332	Нанесення дорожньої розмітки
				2333	Ремонт та встановлення бар'єрних огорожень

1	2	3	4	5	6
		234	Витрати по тимчасових будівлях та спорудах	2341	Тимчасові будівлі та споруди
		238	Незавершені будівельні контракти	2381	Незавершені будівельні контракти
91	Загальновиробничі витрати	911	Витрати на управління та обслуговування будівельного майданчика	9111	Заробітна плата працівників апарату управління відокремлених виробничих структур підрозділів
				9112	Відрахування на соціальні заходи від витрат на оплату працівників
				9113	Витрати на транспортне обслуговування будівельного виробництва
				9114	Витрати на упорядкування та утримання будівельних майданчиків
		912	Витрати на організацію робіт на будівельних майданчиках та вдосконалення технологій	9121	Амортизація основних засобів, призначених для обслуговування працівників
				9122	Амортизація нематеріальних активів, призначених для обслуговування працівників
				9123	Витрати на утримання, експлуатацію та ремонт основних засобів загальновиробничого призначення
				9124	Витрати на опалення, освітлення, водопостачання, водовідведення та інше утримання виробничих приміщень
				9125	Витрати на перевезення робітників
		913	Витрати на дотримання правил охорони праці, санітарно-гігієнічних та інших спеціальних вимог, передбачених правилами виконання будівельно-монтажних робіт або законодавством, утримання пожежної і сторожової охорони	9131	Витрати на утримання протипожежної та сторожової охорони будівельних майданчиків, виробничих приміщень
				9132	Витрати на здійснення заходів з охорони праці на будівельних майданчиках
		914	Інші загально виробничі витрати	9141	Резерв на матеріальне заохочення

1	2	3	4	5	6
				9142	Створення забезпечень для відшкодування наступних операційних витрат
				9143	Виплати за тимчасовий характер виконання будівельних робіт
				9144	Податки, збори та інші обов'язкові платежі, передбачені законодавством, що включаються до собівартості будівельно-монтажних робіт
				9145	Інші загальновиробничі витрати, що можуть бути віднесені до собівартості будівельно-монтажних робіт
92	Адміністративні витрати	921	Зарплата працівників апарату управління		
		922	Витрати на службові відрядження працівників апарату управління		
		923	Страхові внески та відрахування на загальнообов'язкове державне пенсійне та соціальне страхування від заробітної плати		
		924	Витрати на транспортне обслуговування працівників апарату управління		
		925	Витрати на матеріально-технічне забезпечення апарату управління		
		926	Загально корпоративні витрати		
		927	Витрати, пов'язані з оплатою послуг комерційних банків та інших кредитно-фінансових установ		
		928	Витрати на утримання протипожежної та сторожової охорони адміністративних приміщень		
93	Витрати на збут	931	Витрати на рекламу та на дослідження ринку (маркетинг)		
		932	Витрати на участь у виставках, ярмарках тощо		
		933	Витрати пакувальних матеріалів, ремонт тари		
			Витрати на утримання персоналу, включаючи: - витрати на оплату праці та ЄСВ; - витрати на відрядження; - витрати на матеріально-технічне забезпечення.		
		934	Витрати на утримання основних засобів, інших матеріальних необоротних активів		
		935	Транспортні витрати		
		936	Інші витрати, в т. ч. витрати на проведення тендерів		

Основне виробництво для дорожнього підприємства складає виконання будівельних робіт, реконструкцію доріг, капітальний і поточний ремонт, експлуатаційне утримання автомобільних доріг загального користування.

Допоміжне виробництво — це частина виробничої діяльності підприємств, необхідна для обслуговування основного виробництва і забезпечення ремонту штучних споруд та виконання

проектних робіт, до яких відносяться такі роботи:

- перебудова або будівництво нових мостів, шляхопроводів і водопропускних труб;
- поладження невеликих пошкоджень деяких елементів споруд (поручнів, настилів, стояків та підпірних стінок, дренажних систем, конусів, ремонт кам'яної кладки, штукатурки та ін.), руйнування захисних шарів, усунення деформацій, тріщин, розмивів;
- фарбування металевих елементів мостів;
- відбудова та заміна тимчасових і перехідних мостиків через канали;
- ремонт невеликих пошкоджень наплавних мостів;
- очистка мостів та труб підмосткових русел від бруду;
- пропускання льодоходів та паводкових вод, прибирання снігу та льоду, відкриття та закриття отворів малих мостів і труб;
- утримання та обслуговування наплавних мостів;
- складання та розбирання тимчасових переправ і мостів та ін.

Виробнича собівартість реалізованих дорожніх робіт включає в себе: виконані роботи на замовлення регіональної служби автомобільних доріг, виконані на замовлення обласної державної адміністрації (далі — ОДА) (дороги місцевого користування), виконання робіт для інших замовників.

Складові вартості дорожніх робіт складаються з витрат матеріалів, витрат на виплату заробітної плати робітників, витрат на експлуатаційне утримання машин і механізмів, загальновиробничих витрат, витрат на перевезення працівників, витрат на відрядження працівників та адміністративних витрат.

За способом віднесення вартості витрат до собівартості робіт витрати поділяються на прямі та загальновиробничі.

Облік загальновиробничих витрат дорожніх підприємств ведеться на рахунку 91 та складається з витрат на управління та обслуговування будівельного майданчика, витрат на організацію робіт на будівельних майданчиках та вдосконалення технологій, витрат на дотримання правил охорони праці, санітарно-гігієнічних та інших спеціальних вимог, передбачених правилами виконання будівельно-монтажних робіт або законодавством, утримання пожежної та сторожової охорони й інших загальновиробничих витрат.

Класифікація загальновиробничих витрат на постійні та змінні, на постійні розподілені та постійні нерозподілені витрати, при цьому база їх розподілу обирається кожним підприємством самостійно.

Методи обліку витрат на виробництво і калькулювання собівартості робіт повинні бути гнучкими, простими у використанні та дозволяти в оперативному порядку отримувати необхідну інформацію.

Перелік витрат операційної діяльності, які не включаються до собівартості будівельно-монтажних робіт:

1. Адміністративні витрати.

Адміністративні витрати можуть бути визнані витратами за договором підряду, якщо:

- ці витрати безпосередньо пов'язані з виконанням цього договору;
- окреме відшкодування цих витрат за умовами договору покладеного на замовника.

У таких випадках зазначені витрати включаються до вартості будівельно-монтажних робіт за договором з використанням бази розподілу витрат.

2. Витрати на збут.

3. Інші операційні витрати.

Сформовані субрахунки плану рахунків управлінського обліку дорожніх підприємств

можуть служити елементами внутрішнього контролю та аналізу, оскільки кожний центр витрат відповідає за величину витрат задіяну в діяльності підприємства.

Важливе практичне значення має класифікація виробничих витрат за їх зв'язком із обсягом виробництва, а саме витрати поділяють на постійні та змінні. Така класифікація витрат дає змогу:

- оцінювати завантаженість виробничих потужностей і визначити величину непродуктивних постійних витрат;
- визначити ефективність функціонування виробничих підрозділів, технологічних процесів;
- здійснювати прогноз обсягу виробництва та величини витрат із урахуванням наявних виробничих потужностей;
- своєчасно втручатись у процес виробництва за необхідності (коли є суттєві відхилення фактичних даних від нормативних) [5].

План рахунків управлінського обліку дорожніх підприємств (табл. 2) дає можливість запропонувати комплексну методичку бухгалтерського обліку, а також запровадження поетапного порядку формування внутрішньої звітності в розрізі центрів витрат, який дозволить об'єднати роботу всіх сегментів діяльності дорожніх підприємств:

I етап: складання інформаційних карт, що містять необхідну для використання інформацію за різними структурними підрозділами й графік документообігу, де визначаються виконавці вихідної інформації, терміни, періодичність підготовки та подання форм внутрішньої звітності й відповідальні за складання особи.

II етап: використання даних внутрішньої звітності для контролю виконання встановлених показників, аналізу виявлених відхилень та прийняття управлінських рішень.

Структурні підрозділи дорожніх підприємств залежно від організаційної структури підпорядкування можуть функціонувати у центрах відповідальності основного виробництва, допоміжного виробництва, обслуговуючого та у центрах утримання апарату управління.

Отже, ефективна система управлінського обліку за центрами відповідальності дозволяє вирішувати такі основні завдання дорожньо-будівельних підприємств:

- забезпечення надання інформації про витрати, необхідної для прийняття управлінських рішень (за місцями виникнення, за центрами відповідальності тощо);
- забезпечувати інформацією для оцінки ефективності діяльності центрів відповідальності підрозділів підприємства;
- здійснення бюджетного контролю (виявлення відхилень фактичних витрат від нормативних);
- досягнення чіткості при формуванні собівартості робіт;
- забезпечення формування ціни, яка б відображувала фактичні витрати виробництва;
- забезпечення оцінки оптимальності витрат за всіма видами робіт, процесами, проектами, відповідальними особами, що сприятиме підвищенню ефективності контролю та управління.

### Висновки

На основі проведеного аналізу визначено, що для удосконалення обліку витрат виробництва дорожніх підприємств необхідно відносити витрати на об'єкти калькулювання за центрами витрат або застосовувати різні бази розподілу для різних складових витрат. Запропонований план рахунків дає можливість фіксувати господарські операції за центрами витрат після чого формувати управлінську звітність.

Проведене дослідження дозволило узагальнити та відобразити витрати дорожньо-

будівельних підприємств, систематизувавши їх в план рахунків управлінського обліку.

У подальшому дослідженні буде проведено детальний аналіз номенклатури витрат підприємств із врахуванням організаційно-технологічної складової дорожньої галузі.

### Список літератури

1. Про затвердження Положення (стандарту) бухгалтерського обліку: Наказ Міністерства фінансів України від 31.12.99 N 318, редакція від 09.08.2013 // База даних Законодавство України / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0027-00#Text> (дата звернення: 21.06.2020).

2. Про затвердження нової редакції Методичних рекомендацій з формування собівартості будівельно-монтажних робіт: Наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва від 31.12.2010. N 573 // База даних Законодавство України / Верховна Рада України. URL: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/FIN61608.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/FIN61608.html) (дата звернення: 21.06.2020).

3. Грещак М. Г., Коцюба О. С. Управління витратами : навч.-метод. посіб. Київ, 2002. 131 с.

4. Турило А.М., Кравчук Ю.Б., Турило А.А. Управління витратами підприємства : навч. посіб. Київ, 2006. 120 с.

5. Задорожний З.-М.В., Крупка Я.Д., Омецінська І.Я. Стан і перспективи розвитку вітчизняної системи обліку: монографія. Тернопіль, 2013. 294 с.

### References

1. Pro zatverdzhennia Polozhennia (standartu) bukhgalterskoho obliku: Nakaz Ministerstva finansiv Ukrainy of 31.12.99 N 318 // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine // URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0027-00#Text> (Last accessed: 21.06.2020) [in Ukrainian].

2. Pro zatverdzhennia novoї redaktsii Metodychnykh rekomendatsii z formuvannia sobivartosti budivelno-montazhnykh robot: Nakaz Ministerstva rehionalnoho rozvytku ta budivnytstva of 31.12.2010 N 573 // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine // URL: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/FIN61608.htm](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/FIN61608.htm) (Last accessed: 21.06.2020) [in Ukrainian].

3. Hreshchak M.H., Kotsiuba O.S. Upravlinnia vytratamy (Cost management) : tutorial. Kyiv, 2002. 131 p. [in Ukrainian].

4. Turylo A.M., Kravchuk Yu.B., Turylo A.A. Upravlinnia vytratamy pidpriemstva (Enterprise cost management) : tutorial. Kyiv, 2006. 120 p. [in Ukrainian].

5. Zadorozhnyi Z.-M.V., Krupka Ya.D., Ometsinska I. Ya. Stan i perspektyvy rozvytku vitchyznianoї systemy obliku (Status and prospects of development of the domestic accounting system) : monograph. Ternopil, 2013. 294 p. [in Ukrainian].

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

Kateryna Lukianenko, <https://orcid.org/0000-0003-3884-2652>

National Transport University, Kyiv, Ukraine

**ORGANIZATION OF ACCOUNTING OF COSTS OF PRODUCTION  
OF ROAD ENTERPRISES AT RESPONSIBILITY CENTERS**

**Abstract**

Introduction. This article provides an overview of the theoretical and practical foundations of the organization of cost accounting for road enterprises by responsibility centers. The basic stages of the process of formation of cost centers by responsibility centers are considered and a chart of accounts of management accounting of road enterprises is developed. The cost centers of the main activity of the road enterprises have been summarized, namely the responsibility centers and the cost centers.

Problem Statement. The problem of costs haring between individual units (centers of responsibility) Is solved by establishing there lationship of costs with the work of specific responsible persons. A tool for this is a management accounting system that aims at providing information and integrates the entire sequence of operations for management decision making — planning and forecasting.

Purpose. The aim of the present paper is to define the concepts of “responsibility center” and “cost center”, to develop a chart of accounts of management accounting of road enterprises with the definition of second and third order subaccounts.

Materials and methods. In writing the article, the following general scientific methods of research were used: induction, deduction, systematization, scientific abstraction and comparison — to clarify the theoretical bases of accounting of production costs, analysis and development of the plan of accounts of management accounting of road enterprises.

Results. The study made it possible to propose a comprehensive accounting methodology, as well as to introduce a step-by-step procedure for the formation of internal reporting by cost centers.

Conclusions. Cost information needs to be provided in a timely manner in order to ensure efficient organization of production accounting by responsibility centers. The choice of method of accounting for the cost of production and costing of works should be flexible, easy to use and allow to obtain the necessary information in an operational order.

**Keywords:** production costs, accounting, responsibility centers, cost centers, chart of accounts.

UDC 625.7/.8

**Paolino Caputo**, Ph.D., Research Fellow, <https://orcid.org/0000-0003-3472-7710>**Haris Kaljaca**, Reseacher of Kimical srl, <https://orcid.org/0000-0002-6680-1674>**Michele Porto**, Ph.D. Student, <https://orcid.org/0000-0001-6019-1089>**Valeria Loise**, Ph.D. Student, <https://orcid.org/0000-0001-5156-5077>**Abraham A. Abe**, Ph.D. Student, <https://orcid.org/0000-0003-2781-7355>**Cesare Oliviero Rossi**, Ph.D., Prof., <http://orcid.org/0000-0003-4406-7824>*University of Calabria, Arcavacata, Italy*

---

**WASTE FOOD WAX ADDITIVE AS A BITUMEN MODIFIER FOR WARM MIX ASPHALT PRODUCTION****Abstract**

This work deals with the investigation of a waste food wax as a potentially eco-friendly modifier for bitumen binders in order to decrease the viscosity at temperatures below 120 °C. To date it is well known that — compared to classical processes — waxes lower operating temperatures of asphalt paving, thereby reducing atmospheric emissions and costs.

Hereafter we will present compare and discuss the effect of this waste wax as well as other waxy and surfactant additives on the macroscopic rheological properties by determining temperatures of viscoelastic transition and viscosities of various bitumen additives blend. Moreover we present a molecular study of the effect of the various additives by studying the molecular diffusion through the Nuclear Magnetic Resonance (NMR) diffusimetry, Differential Scanning Calorimetry (DSC) measures has been also performed on the various waxes (waste and commercial) to evaluate and compare the solid-liquid phase transition temperatures of the studied additives.

**Keywords:** Bitumen, Warm Mix Asphalt, Waste Food Material, Rheology, DSC, WAX.

**Introduction**

Bitumen is a viscoelastic multi component material generally derived from petroleum industry processes. It consists of a complex solid or semisolid colloidal dispersion of asphaltenes in a continuous oily phase of saturated paraffin, aromatics and resins [1-3]. Bitumen mechanical properties show both time and temperature dependence [4–6]. It is used as a binder for road paving by mixing it — in a percentage of about 5 % — with crushed stone materials, sand and filler. Such mixture is commonly denoted as asphalt. [7, 8]. It is very important that the selection of asphalt materials takes into account the wide variation in geographical and climatic conditions [9]. To reduce cost and emissions, nowadays different organic or chemical additives [10] — as well as modern technologies like foaming techniques — are used to enhance asphalt workability and aggregate coating by reducing bitumen viscosity or modifying its surface tension for better wettability of the aggregate, therefore reducing operation temperatures and viscosity of the asphalt conglomerate by producing what is known as Warm Mix Asphalt (WMA) [11]. It has also been proven that the reduction has a direct impact on the reduction of greenhouse gases in the atmosphere [12, 13]. This reduction of emissions is the most important reason the European asphalt industry has continuously recommended the use of Warm Mix Asphalt [14, 15].

Currently, the most common types of WMA additives generally consist of surfactants [16–19] or waxes materials able to flush the bitumen and consequentially to get better workability of the asphalt concretes at lower temperatures (100 °C — 140 °C) [20–22]. The mechanism of action of the warm mix



agent is not yet understood; some wax-based technologies seem to modify the ligand alone, while other alternative technologies — like that using surfactants — seem to act on the bitumen-aggregate interaction. This research should be considered as preliminary paper since it focuses only on the bituminous binder blended with the warm mix agents trying to find a correlation between chemico-physical parameters and the fluxing effects, by comparing the results of rheological, NMR and DSC measures of different warm mix agents. On the contrary the effect of the aggregates — that seems to be relevant in the bitumen surfactant system — will not be studied here. It will be only shown that the rheological properties of the bitumen will remain unaltered upon the inclusion of the liquid surfactant — in particular its viscosity as compared to that obtained using waxes additives — confirming that somehow aggregates plays a fundamental role in the binder surfactant system. This role will be investigated in a successive paper in which mechanical properties – like round press, Marshall, Indirect Tensile Strength (ITS) — of asphalt conglomerates obtained through bitumen-surfactant-aggregate system will also be taken into account. However, it has to be said that the invariance of rheological properties of the bitumen/surfactant system was observed only in the high temperature range, while a more significative change has been observed in the low one, in particular below minus 10 °C. This somewhat strange behaviour, necessitate more deeper investigation that is out of the goal of the present paper, but could be studied in future work on the topic. In this study, a waste wax derived from food industry — used mainly for food packaging — was tested and compared with a surfactant-based additive and — more important — with two commercial waxes. Physical chemistry characterization was performed in order to outline a possible physical mechanism induced by the bitumen modifier.

### Materials and Methods

#### Materials

The bitumen used in this study is produced in Saudi Arabia and supplied by Lo Prete costruzioni s.r.l.. It has a 50/70 penetration grade. More details about it can be found elsewhere in Caputo et al. [23]. The other material used are:

- Sasobit (**SB**) waxes provided by Polyglass s.p.a. (solid sample);
- PE Wax (**PE**) provided by SER s.p.a. (solid sample);
- Evotherm (**WH30**) surfactant provided by Ingevity corp. (liquid sample);
- Waste Wax (**WW**) provided by KimiCal s.r.l. (solid sample).

All chemicals were used immediately after purchase.

#### Methods

##### *Sample preparation*

Modified bitumen samples were prepared by using a high shear mixing homogenizer (IKEA model). Bitumen was heated up to flow point at about  $(150 \pm 5)$  °C and then various percentages of additive — ranging from 0.4 % to 3 % on the total mass of the bitumen — were gradually added (1 g/min) to the melted bitumen samples (100 g) under a high-speed shear mixing of 500 to 700 rpm. The mixtures have been stirred at 150 °C for 15 min to guarantee an essentially homogenous sample.

##### *Rheological characterization*

Dynamic Shear Rheological (DSR) tests on modified and on the reference virgin bitumen samples were carried out using a controlled shear stress rheometer (SR5000, Rheometric Scientific, USA) in a plate-plate geometry mode. Plate tools of  $\phi = 25$  mm and  $\phi = 8$  mm has been used for tests in the temperature range 20 °C to 110 °C and 25 °C to minus 30 °C respectively. Plate — plate gap was set to 2 mm. A Peltier system ( $\pm 0.1$  °C) was used for temperature control.

Rheological responses were determined under the kinematics of both steady and oscillatory simple shears.

In steady-shear experiments, the viscosity of bitumen samples was determined from the ratio of

measured shear stress to applied shear rate, as a function of shear rate that was varied from 1 to 100 s<sup>-1</sup>. Steady states were previously checked by transient experiments (step-rate test). For all samples it was observed that 10 s was a sufficient scanning time to ensure the steady state condition.

It has been found that all samples show a Newtonian behavior in the investigated shear rate range.

Dynamic tests have been carried out in conditions of linear regime where measured material features are independent of the amplitude of applied load and are function only of microstructure [24,25]. Aimed at investigating the material viscoelastic phase transition, dynamic temperature ramp tests were performed both at 1 Hz and rate of 1 °C/min in the high and low temperature range by applying the proper stress values – previously determined by stress sweep tests — to guarantee linear viscoelastic conditions at all tested temperatures.

For low temperatures measures the samples were initially kept at 25 °C for 4 mins, to obtain uniform temperature conditions, and then the test was started by cooling down from 25 °C to minus 30 °C [26].

More details about the mechanical characterization can be found elsewhere [27–30].

#### ***Differential Scanning Calorimetry (DSC)***

Differential scanning calorimetry (DSC) was used as a convenient and reliable thermal analysis technique to analyze the characteristics of wax used in this work.

The DSC studies were performed using a SETARAM 131 instrument. The amount of each sample analyzed was around 40 — 60 mg. Analyses were performed from 25 °C to 150 °C at a temperature scan rate of 5 °C/min under nitrogen flux [31].

#### ***Nuclear Magnetic Resonance (NMR) characterization***

The NMR characterization was conducted at three different temperatures (100 °C, 110 °C and 120 °C) using a Bruker 300 Spectrometer (Bruker, Italy) equipped with a Diff30 NMR probe for diffusion measurements. PFG-STE technique was used to measure molecular diffusivity [32,33]. Sixteen scans, a sequence of three  $\pi/2$  rf pulses ( $\pi/2$ - $\tau_1$  -  $\pi/2$ - $\tau_m$  -  $\pi/2$ ) and two gradient pulses  $\delta$ ,  $\Delta$  — applied after the first and third rf pulses — has been used during the measurements. The echo was characterized when  $\tau_1 = 2\tau_1 + \tau_m$  and its amplitude attenuation was derived from the Stejskal - Tanner equation:

$$I(2\tau_1 + \tau_m) = I_0 e^{-\left[ \frac{\tau_m}{T_1} + \frac{3\tau_1}{T_2} + (\gamma g \delta)^2 D \left( \Delta - \frac{\delta}{3} \right) \right]} \quad (1)$$

where D represents the self-diffusion coefficient;

$\delta$  — the gradient length pulse;

$\Delta$  — the diffusion delay time  $g$  the gradient amplitude;

$\gamma$  — the gyrosopic ratio of the proton nucleus and  $T_1$  and  $T_2$  respectively the spin-lattice and spin-spin relaxation times.

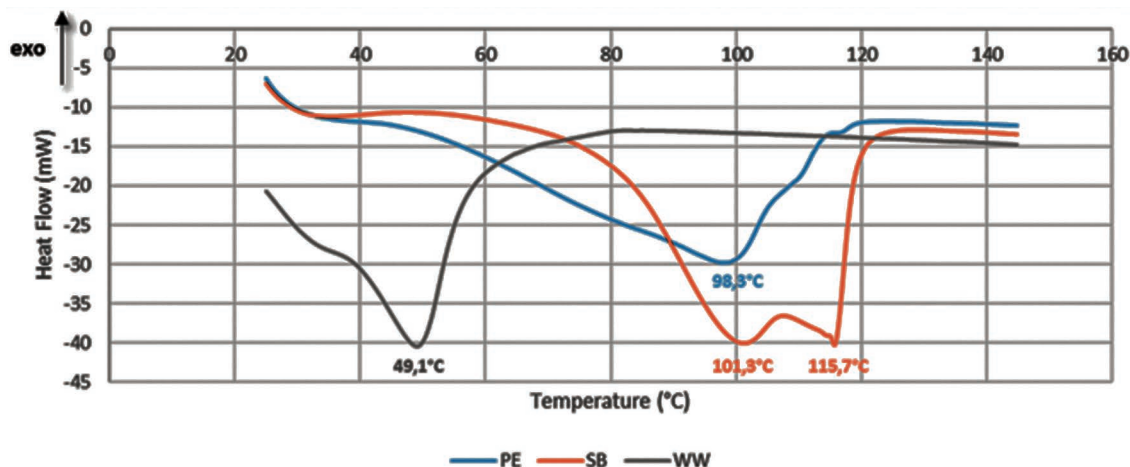
Values of 2 ms, 30 ms and 100–900 G/cm were used for  $\delta$   $\Delta$  and  $g$  respectively. The NMR experiments had a very low fitting standard deviation and reproducibility of measurements. The uncertainty of D is approximately 3 %.

According to the colloidal model, two principal types of molecules constitute the general composition of bitumen on the molecular level: asphaltenes and maltenes. Asphaltenes are rigid, polar molecules and are characterized by high melting points while the maltenes on the other hand are soft, oily and they disperse the asphaltenes in the compound (bitumen). Taking into consideration the asphaltene's low  $T_2$  relaxation times [34], the self-diffusion coefficients can be attributed to the oily part (maltene) of the bitumen. In fact, the NMR signal of the asphaltenes relaxes during the application of the pulses [35].

## **Results and Discussion**

To start, the solid — liquid phase transitions temperatures of waxes were determined by DSC

in order to know the temperature values at which the waxes are liquid and consequently can show their fluxing effect. As it can be seen from figure 1, DSC thermogram shows that there is a huge difference in transition temperature between WW and the other (PE and SB) waxes.



**Figure 1** – Differential Scanning Calorimetry (DSC). Grey curve represents Waste food Wax (WW), blue curve represents PE wax, while orange curve represents Sasobit wax (SB)

In fact, the commercial waxes softens/melt in a broad interval peaked at about 100 °C and melt completely at 120 °C. On the contrary the WW shows a soften/melt interval peaked at about 49 °C, becoming completely melt at 60 °C. Moreover, SB shows 2 broad peaks centred at around 100 and 116 °C indicating the presence of two different hydrocarbon molecules, probably isomers. From these results it can be argued that the WW could have a better flow improving power under 100°C compared to the other waxes. To verify this hypothesis — as we will show hereafter — we perform rheological and NMR investigations.

Table 1 shows the viscosity values obtained from DSR measurements of the virgin and modified bitumen in the temperature range from 100 °C to 140 °C.

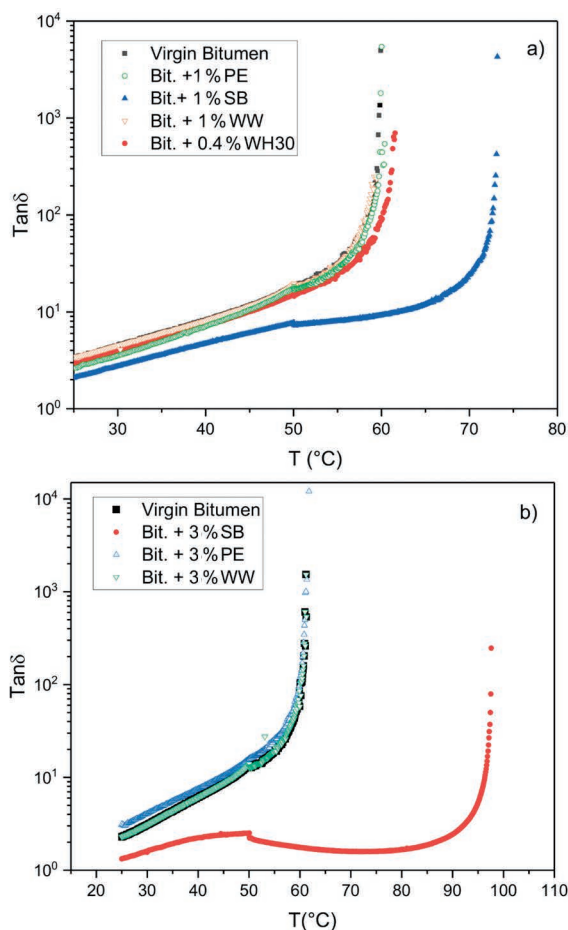
**Table 1**

**Viscosity of bitumen with and without additives at different temperatures**

Sample	Eta 100 °C (Pa-s)	Eta 110 °C (Pa-s)	Eta 120 °C (Pa-s)	Eta 130 °C (Pa-s)	Eta 140 °C (Pa-s)
Virgin Bitumen	10.3	5.3	2.8	1.4	1.3
Bit. + 0.4 % WH30	10.1	4.9	2.7	1.5	0.9
Bit. + 1 % SB	15.0	4.8	2.1	1.1	0.7
Bit+ 1 % WW	7.3	3.6	2.0	1.1	0.7
Bit. + 1 % PE	10.4	4.6	2.3	1.3	0.8
Bit. + 3 % SB	16.2	5.3	2.0	1.0	0.7
Bit+ 3 % WW	7.1	3.4	1.9		
Bit. + 3 % PE	9.8	4.6	2.5	1.4	0.8

All the viscosity data shown in table 1 are obtained by averaging data recorded in three different experiments made by the same operator. As it can be seen the viscosity of the waste food wax WW modified bitumen is significantly lower than that of the virgin one at temperature below 120 °C. It can

also be noted that SB – at both percentages studied – increases the bitumen viscosity at temperature values lower than the solid – liquid transition temperature of the additive itself. This – as could be easily guessed – is due to the presence of incompletely melted additive. As temperature increases above its melting point, viscosity values lower becoming similar to that of WW additive. PE waxes shows a similar trend. On the contrary, as expected, the liquid surfactant additive (WH30) does not significantly affect the viscosity of the virgin bitumen. In conclusion, it can be said that the additive composed of waxes derived from food scraps (WW) shows results comparable to SB and PE waxes at high temperatures but show better effects at temperatures lower than 120 °C. This can be of huge advantage in the preparation and spreading of the conglomerates at temperatures lower than 120 °C. In fact, the viscosities recorded and shown in Table 1 are always lower compared to that of virgin bitumen. Furthermore, as we will show below, this additive does not significantly change the rheological properties of the bitumen particularly in the high temperature range (25 °C — 120 °C). In fact, as it can be seen from figure 2, the only additive capable of modifying the rheological properties of the virgin bitumen is the SB wax [36] which shows — at both used percentages — a remarkable increase in the viscoelastic transition temperature (higher  $\tan \delta$ ). On the contrary the other additives show very similar profiles to the virgin binder. The latter aspect however, can be seen in a positive way because an additive is often required to act only as a warm mix agent and not as a rheological modifier.



a) virgin bitumen, virgin bitumen + 1 % waxes and virgin bitumen + 0.4 % surfactant;

b) virgin bitumen and virgin bitumen + 3 % waxes

**Figure 2** — Rheological properties of virgin and modified bitumen in the high temperature range

Table 2 summarizes the values of the various viscoelastic transition temperatures, the  $\Delta T$  of viscoelastic transitions (respect to the virgin bitumen) and the percentages of the increased transition temperature.

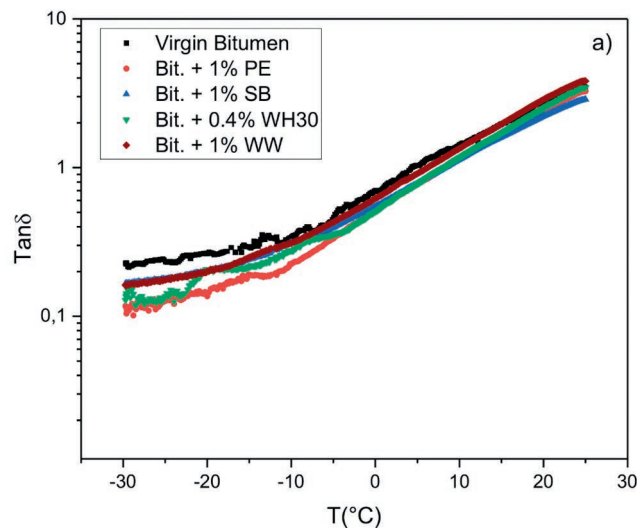
**Table 2**

**Transition Temperatures,  $\Delta T$  of viscoelastic transition and percentage of the increment of transition temperature (Ref. to virgin bitumen)**

Sample	Transition Temperature (°C)	$\Delta T$ (°C)*	Increased transition temperature (%)
Virgin Bitumen	59.9	–	–
Bit. + 1 % PE	60.0	+ 0.1	+ 0.2
Bit. + 1 % SB	73.1	+ 13.2	+ 22.0
Bit. + 1 % WW	59.4	– 0.5	– 0.8
Bit. + 3 % PE	61.8	+ 1.9	+ 3.2
Bit. + 3 % SB	97.4	+ 37.5	+ 62.6
Bit. + 3 % WW	61.2	+ 1.3	+ 2.2
Bit. +0.4 % WH30	61.5	+ 1.6	+ 2.7

\* Difference between the transition temperature of the modified bitumen and virgin bitumen.

From Table 2 it is evident that SB waxes lead to a significant change to the rheological properties of virgin bitumen. In particular a concentration increase leads to an increase in the transition temperatures — higher than 60 % — as compared to virgin bitumen. On the other hand, the other additives, even at concentrations of 3 %, leave these properties almost unchanged (no significantly variation from bitumen transition temperature is observed), even though they act on the viscosity of the binder. Rheological studies have also been performed at low temperature from 25 °C to minus 30 °C. The effect of various modifiers is depicted in Figures 3:



a) virgin bitumen, virgin bitumen + 1 % waxes and virgin bitumen + 0.4 % surfactant;

b) virgin bitumen and virgin bitumen + 3 % waxes

**Figure 3, list 1** — Rheological properties of virgin and modified bitumen at low temperature range

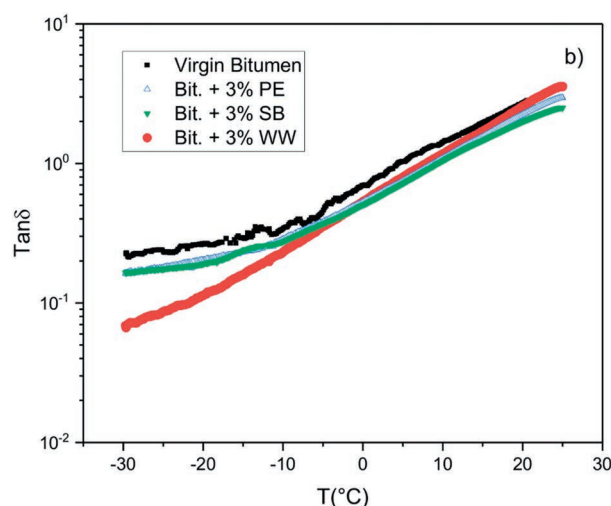


Figure 3, list 2

It is worthy to note the effect of the WW additive in the temperature range from minus 30 °C to minus 10 °C where its warm mix ability is evident particularly at 3 % w/w concentration. Tan $\delta$  of WW bitumen is lower than all other additives showing that the bitumen kept a good deformability of the bitumen. It seems that WW is really efficient for cold countries where the climate is more severe.

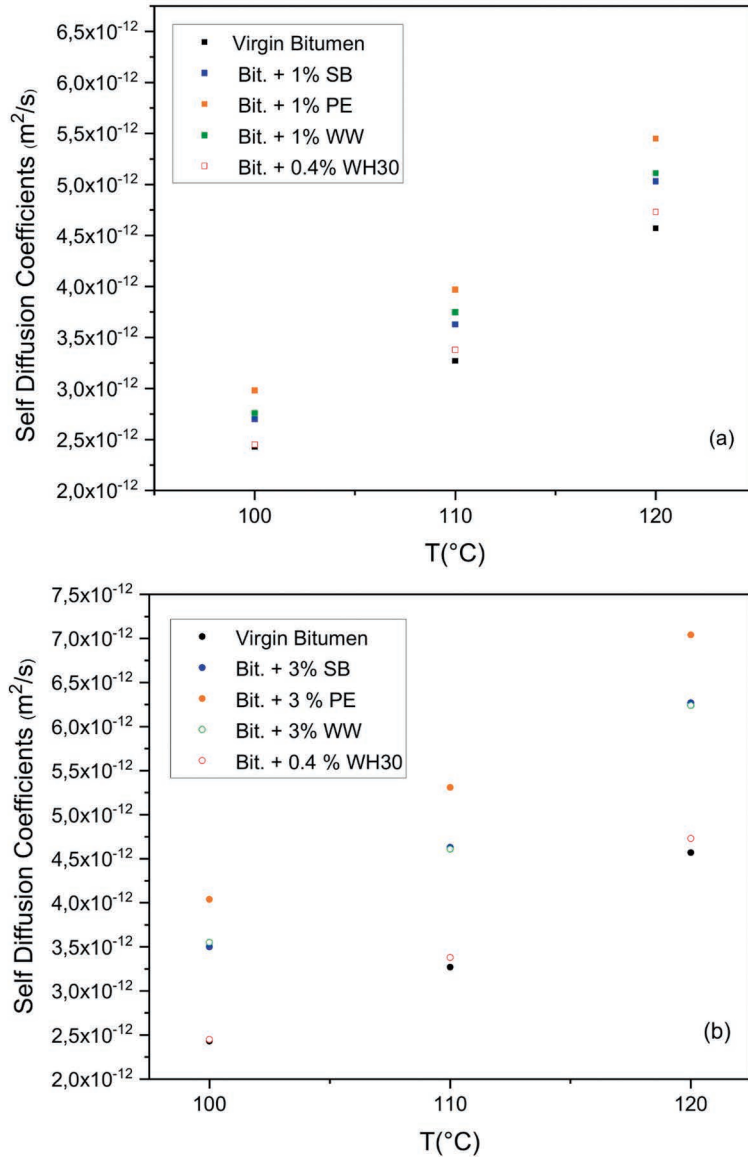
Finally, a molecular self-diffusion investigation was conducted in order to study the influence of the additives studied on the microstructural modification of bitumen. Indeed, the observation of the phenomenon of self-diffusion is based on the mobility of molecules. The motion of these molecules can be impeded due to the obstruction they face during their mobility in their media. Therefore, the SDC data, can be considered as an adequate representation of the microstructural behavior. As previously mentioned, NMR self-diffusion coefficients (SDC) give better insight into bitumen’s microstructure by detecting the long-range mobility of the mixture constituents. Motion determination over long distances, in comparison with ideal micelles, facilitates a sensitive probe for the state of aggregates [33, 37]. It is important to note that the SDC values of asphaltene molecules cannot be detected due to the short transverse relaxation times ( $T_2$ ) of their protons; thus, the measured SDC values are related to the maltene phase. The SDC data for each sample investigated are summarized in table 3 and represented in Figure 4 a) and Figure 4 b) respectively for 1 % (and 0.4 % of WH30) and 3 % additive added.

Table 3

*Self Diffusion Coefficients (SDC) of virgin bitumen and modified bitumen samples at different temperatures*

Sample	SDC (m <sup>2</sup> /s) at 100 °C	SDC (m <sup>2</sup> /s) at 110 °C	SDC (m <sup>2</sup> /s) at 120 °C
Virgin Bitumen	2.43E-12	3.27E-12	4.57E-12
Bit. + 1 % SB	2.70E-12	3.63E-12	5.03E-12
Bit. + 1 % PE	3.72E-12	4.29E-12	5.95E-12
Bit. + 1 % WW	2.76E-12	3.75E-12	5.11E-12
Bit. + 3 % SB	3.50E-12	4.63E-12	6.27E-12
Bit. + 3 % PE	4.04E-12	5.31E-12	7.04E-12
Bit. + 3 % WW	3.55E-12	4.61E-12	6.24E-12

Sample	SDC (m <sup>2</sup> /s) at 100 °C	SDC (m <sup>2</sup> /s) at 110 °C	SDC (m <sup>2</sup> /s) at 120 °C
Bit. + 0.4 % WH30	2.45E-12	3.38E-12	4.73E-12



- a) 1 % w/w and 0.4 % w/w concentration;
- b) 3 % w/w concentration

Figure 4 — NMR Self-Diffusion Coefficient in the temperature range 100–120 °C

As it can be seen from Figure 4 (a and b), the effect of the surfactant WH30 does not promote any significant improvement of the bitumen’s maltene self-diffusion meaning that no particular structure modification of bitumen arises from the use of the surfactant. This support the hypotheses that the use of surfactants acts only when the biphasic system — bitumen/aggregates is taken into account. The bitumen

structure modification induced by the Sasobit and by Waste Wax is more significant than that of WH30 (at all three temperatures), and almost the same for both additives' concentrations, although at the 1 % concentration there is slightly difference between SB and WW.

On the other hand, PE shows a more marketed difference in diffusion values both with respect to virgin bitumen and SB and WW. Moreover, as it can be seen from Table 4 and Figure 5 this difference increases in the 3 % w/w concentration PE bitumen blend.

Table 4

*Increased Self Diffusion Coefficients (SDC) of modified bitumen samples in comparison with virgin bitumen at different temperature*

Sample	$\Delta$ SDC (m <sup>2</sup> /s) at 100 °C	$\Delta$ SDC (m <sup>2</sup> /s) at 110 °C	$\Delta$ SDC (m <sup>2</sup> /s) at 120 °C
Virgin Bitumen	–	–	–
Bit. + 1 % SB	2.70E-13	3.60E-13	4.60E-13
Bit. + 1 % PE	5,50E-13	7.00E-13	8.80E-13
Bit. + 1 % WW	3.30E-13	4.80E-13	5.40E-13
Bit. + 3 % SB	1.07E-12	1.36E-12	1.70E-12
Bit. + 3 % PE	1.61E-12	2.04E-12	2.47E-12
Bit. + 3 % WW	1.12E-12	1.34E-12	1.67E-12
Bit. + 0.4 % WH30	2.00E-14	1.10E-13	1.60E-13

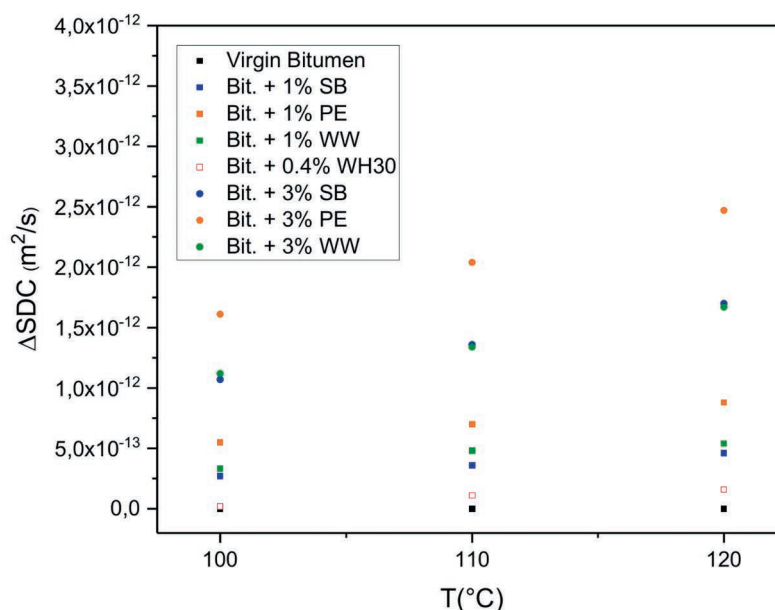


Figure 5 — Trend of the  $\Delta$ SDC respect to the virgin bitumen of 1 % and 3 % waxes additives and 0.4 % of surfactant additive in the temperature range 100 °C–120 °C

The interesting point to be noted is that, although the WW is completely melted at the three temperatures tested, the molecular diffusion of the maltene phase of the WW modified bitumen is very similar to that of the SB one at all temperatures and for each concentration. In particular at 100 °C where



both SB and PE additives are partially melted, we would have expected a higher diffusion of the WW modified bitumen respect to both SB and PE. However, the higher diffusion showed by PE at 100 °C have led us to hypothesize that the molecular structure of the WW should be more cumbersome than that of PE (for example it could consist of more branched hydrocarbons unlike the linear one of PE). This hypothesis should be also valid for SB sample, because at 120 °C — where all the three waxes are melted — the PE sample shows a higher diffusion than SB one. However, this hypothesis has to be verified by a more detailed study on molecular structures of each wax, but this is not the goal of the present paper.

To conclude, it can be said that Waste Wax studied is a suitable additive to be used in warm mix asphalt production. In fact, it does not modify the bitumen rheology but decreases its viscosity at temperatures lower than 120 °C although on a molecular level it does not enhance the maltene mobility as much as PE additive.

### Conclusions

The waste wax derived from the food industry improves the workability of the conglomerate at temperatures lower than the typical operating ones. The rheological results show that these additives act only on the viscosity of the binder without changing the rheological properties of the bitumen. Their effectiveness is similar to the commercial additives currently used in road pavements. These results demonstrate that this product can be used in the asphalt industry as Warm Mix Asphalt with consequent economic savings and above all with reduction of harmful fume emissions into the environment. In fact, for Food Companies, these waxes are currently a waste, therefore transforming it into a commercial product for the road industry, they will save the cost of disposal and will also obtain earnings from its sale.

### References

1. Yen T.F., Chilingarian G.V. *Asphalthenes and Asphalts*, Elsevier. New York, 1994. 458 p. [in English].
2. Oliviero Rossi C., Caputo P., De Luca G., Maiuolo L., Eskandarsefat S., Sangiorgi C.: <sup>1</sup>H-NMR Spectroscopy: A Possible Approach to Advanced Bitumen Characterization for Industrial and Paving Applications. *Applied Sciences*. Switzerland, 2018. Vol. 8. 229 p. DOI: 10.3390/app8020229 (Last accessed: 12.07.2020) [in English].
3. Caputo P., Loise V., Crispini A., C. Sangiorgi C., Scarpelli F., Oliviero Rossi C. The efficiency of bitumen rejuvenator investigated through Powder X-ray Diffraction (PXRD) analysis and T<sub>2</sub>-NMR spectroscopy. *Colloids and surfaces. A, Physicochemical and engineering aspects*. Netherlands, 2019. N 571. P. 50–54 [in English].
4. Loeber L., Muller G., Morel J., Sutton O.: Bitumen in colloid science: a chemical, structure and rheological approach. *Fuel*. United Kingdom, 1998. N 77. P. 1443–1450. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(98\)00054-4](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(98)00054-4) (Last accessed: 12.07.2020) [in English].
5. Oliviero Rossi C., Caputo P., Ashimova S, Fabozzi A., D'Errico G., Angelico R. Effects of Natural Antioxidant Agents on the Bitumen Aging Process: An EPR and Rheological Investigation. *Applied Sciences*. Switzerland, 2018. Vol. 8. 1405 p. DOI: 10.3390/app8081405 (Last accessed: 12.07.2020) [in English].
6. Oliviero Rossi C., Caputo P., Loise V., Miriello D., Teltayev B., Angelico R. Role of a food grade additive in the high temperature performance of modified bitumens. *Colloids and surfaces. A, Physicochemical and engineering aspects*. Netherlands, 2017. Vol. 592. P. 618–624 [in English].
7. Oliver E.B. Asphalt Rheology: Relationship to Mixture. ASTM Spec. Publ. 941, *American*

*Society for Testing and Materials*. Philadelphia, PA, 1987. [in English].

8. Caputo P., Loise V., Ashimova S., Teltayev B., Vaiana R., Oliviero Rossi C. Inverse Laplace Transform (ILT) NMR: A powerful tool to differentiate a real rejuvenator and a softener of aged bitumen. *Colloids and surfaces. A, Physicochemical and engineering aspects*. Netherlands, 2019. Vol. 574. P. 154–161 [in English].

9. Ashimova S., Teltayev B., Oliviero Rossi C., Caputo P., Eskandarsefat S.: Organic-based recycling agents for road paving applications in cold-climate regions. *International Journal of Pavement Engineering*. DOI: <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1726347> (Last accessed: 12.07.2020) [in English].

10. M.C. Rubio M.C., Martínez G., Baena F., Moreno F. Warm mix asphalt: An over-view. *Journal of Cleaner Production*. 2012. Vol. 24. P. 76–84. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.11.053 (Last accessed: 12.07.2020) [in English].

11. Caputo P., Abe A.A., Loise V., Porto M., Calandra P., Angelico R., Oliviero Rossi C. The Role of Additives in Warm Mix Asphalt Technology: An Insight into Their Mechanisms of Improving an Emerging Technology. *Nanomaterials*. Switzerland, 2020. Vol. 10, 2020. 1202 p. DOI: 10.3390/nano10061202 (Last accessed: 12.07.2020) [in English].

12. Prowell B.D., Hurley G.C., Frank B.: Warm-Mix Asphalt: Best Practices, 2nd ed.; Quality Improvement Publication: *National Asphalt Pavement Association*. USA, 2011 [in English].

13. Srikanth G., Kumar R., Vasudeva R. A Review on Warm Mix Asphalt. *In Proceedings of National Conference: Advanced Structures, Materials and Methodology in Civil Engineering*. (3–4 November 2018). NIT Jalandhar, India [in English].

14. Caputo P., Ranieri G.A., Godbert N., Aiello I., Tagarelli A., Oliviero Rossi C. Investigation of new additives to reduce the fume emission of bitumen during Asphalt Concrete Processing. *Mediterranean Journal of Chemistry*. Morocco, 2018. Vol. 7. P. 259-266 [in English].

15. The Use of Warm Mix Asphalt – EAPA Position Paper. *European Asphalt Pavement Association*. USA, 2014 [in English].

16. Sol-Sánchez M., Moreno-Navarro F., Rubio-Gómez M.C.: Study of Surfactant Additives for the Manufacture of Warm Mix Asphalt: From Laboratory Design to Asphalt Plant Manufacture. *Applied sciences*. Switzerland, 2017. Vol. 7. 745 p. [in English].

17. Bayati S., Galantini L., Knudsen K.D., Schillén K.: Effects of Bile Salt Sodium Glycodeoxycholate on the Self-Assembly of PEO–PPO–PEO Triblock Copolymer P123 in Aqueous Solution. *Langmuir*. United States, 2015. Vol. 31. P. 13519–13527 [in English].

18. di Gregorio M.C., Gubitosi M., Travaglini L., Pavel N.V., Jover A., Meijide F., Vázquez Tato J., Sennato S., Schillén K., Tranchini F., De Santis S., Masci G., Galantini L. Supramolecular assembly of a thermoresponsive steroidal surfactant with an oppositely charged thermoresponsive block copolymer. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2017. Iss. 2. 1504 p. DOI: <https://doi.org/10.1039/C6CP05665B> (Last accessed: 12.07.2020) [in English].

19. Bayati S., Galantini L., Knudsen K.D., Schillén K.: Complexes of PEO-PPO-PEO triblock copolymer P123 and bile salt sodium glycodeoxycholate in aqueous solution: A small angle X-ray and neutron scattering investigation. *Colloids and surfaces. A, Physicochemical and engineering aspects*. Netherlands, 2016. Vol. 504. P. 426–436 [in English].

20. Sasol Wax Sasobit REDUX Factsheet, 2016. Available online: [https://www.sasolwax.com/fileadmin/sasolwax/documents/Asphalt%20Additives/Asphalt\\_Additive\\_Sas\\_obit\\_REDUX.pdf](https://www.sasolwax.com/fileadmin/sasolwax/documents/Asphalt%20Additives/Asphalt_Additive_Sas_obit_REDUX.pdf). (Last accessed: 11.04.2020) [in English].

21. Rowe G.M, Baumgardner G.L, Reinke G., D'Angelo J., Anderson D.A.: Evaluation of the BBR test with mixtures containing waxes. *In Proceedings of the Binder Expert Task Group Meeting*

(September 2009). San Antonio, 2009 [in English].

22. Lu X., Redelius P. Effect of bitumen wax on asphalt mixture performance. *Construction and Building Materials*. Vol. 21 (11). United Kingdom, 2007. P. 1961–1970. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.05.048> (Last accessed: 11.04.2020) [in English].

23. P. Caputo, D. Miriello, A. Bloise, N. Baldino, O. Mileti, G. A. Ranieri. A comparison and correlation between bitumen adhesion evaluation test methods, boiling and contact angle tests. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. United Kingdom, 2020. Vol. 102. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2020.102680 (Last accessed: 12.07.2020) [in English].

24. Baldino N., Gabriele D., Oliviero Rossi C., Seta L., Lupi F.R., Caputo P., Falvo T.: Rheological effects on bitumen of polyphosphoric acid (PPA) addition. *Construction and Building Materials*. United Kingdom, 2013. Vol. 40. P. 397–404 [in English].

25. Porto M., Caputo P., Loise V., De Filpo G., Oliviero Rossi C., Calandra P.: Polysaccharides-Reinforced Bitumens: Specificities and Universality of Rheological Behavior. *Applied Sciences*. Switzerland, 2019. Vol. 9. 564 p. [in English].

26. Duncan J. Principles and applications of mechanical thermal analysis. Oxford: Blackwell Publishing Ltd; 2008. P. 119–63 [in English].

27. Baldino N., Gabriele D., Oliviero Rossi C., Seta L., Lupi F.R., Caputo P. Low temperature rheology of polyphosphoric acid (PPA) added bitumen. *Construction and Building Materials*. United Kingdom, 2012. Vol. 36. P. 592–598 [in English].

28. Porto M., Caputo P., Loise V., Eskandarsefat S., Teltayev B., Oliviero Rossi C. Bitumen and Bitumen Modification: A Review on Latest Advances. *Applied Sciences*. Switzerland, 2019. Vol. 9. 742 p.

29. Calandra P., Caputo P., De Santo M.P., Todaro L., Turco Liveri V., Oliviero Rossi C. Effect of additives on the structural organization of asphaltene aggregates in bitumen. *Construction and Building Materials*. United Kingdom, 2019. Vol. 199. P. 288–297 [in English].

30. Caputo P., Porto M., Calandra P., De Santo M.P., Oliviero Rossi C. Effect of epoxidized soybean oil on mechanical properties of bitumen and aged bitumen. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, United States, 2018. Vol. 675. P. 68–74. <https://doi.org/10.1080/15421406.2019.1606979> (Last accessed: 12.07.2020) [in English].

31. Oner J., Sengoz B., Maidanova N., Topal A., Malkoc G. Evaluation of rheological effects of waxes on bitumen from different sources. *6th Eurasphalt & Eurobitume Congress* (1-3 June 2016, Prague). Czech Republic, 2016 [in English].

32. Stejskal E.O., Tanner J.E.: Spin diffusion measurements: spin echoes in the presence of a time-dependent field gradient. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 1965. Vol. 42. P. 288–292. [in English].

33. Coppola L., Oliviero C., Olsson U., Ranieri G.A. Characterization of a reverse hexagonal lyomesophase by a PGSE NMR water self-diffusion study. *Langmuir*, United States, 2000. Vol. 16. P. 4180–4184 [in English].

34. Filippelli L., Gentile L., Oliviero Rossi C., Ranieri G.A., Antunes F.E. Structural change of bitumen in the recycling process by using rheology and NMR. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Washington, 2012. Vol. 51. P. 16346–16353. DOI: 10.1021/ie301899v [in English].

35. Chidichimo G., De Fazio D., Ranieri G.A., Terenzi M. Self-diffusion of water in a lamellar lyotropic liquid crystal: A study by pulsed field gradient NMR. *Chemical physics letters*. 1985. Vol. 117 (5). P. 514–517. DOI: [https://doi.org/10.1016/0009-2614\(85\)80293-1](https://doi.org/10.1016/0009-2614(85)80293-1) (Last accessed: 12.07.2020) [in English].

36. Hassan F., Hamid B., Amir A.A., Rahmani J., Golazin Y. High and Low Temperature Properties of FT-Paraffin-Modified Bitumen. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2012. DOI: 10.1155/2012/406791 [in English].

37. Coppola L., Oliviero C., Pogliani L., Ranieri G.A., Terenzi M. A self-diffusion study in aqueous solution and lyotropic mesophases of amphiphilic block copolymers. *Colloid and Polymer Science*. Switzerland, 2000. Vol. 278. P. 434-442. DOI: 10.1007/s003960050536 [in English].

---

**Paolino Caputo**, Ph.D., Research Fellow, <https://orcid.org/0000-0003-3472-7710>

**Haris Kaljaca**, Reseacher of Kimical srl, <https://orcid.org/0000-0002-6680-1674>

**Michele Porto**, Ph.D. Student, <https://orcid.org/0000-0001-6019-1089>

**Valeria Loise**, Ph.D. Student, <https://orcid.org/0000-0001-5156-5077>

**Abraham A. Abe**, Ph.D. Student, <https://orcid.org/0000-0003-2781-7355>

**Cesare Oliviero Rossi**, Ph.D., Prof., <http://orcid.org/0000-0003-4406-7824>

*Університет Калабрії, Аркаваката, Італія*

### **ВІСК ХАРЧОВИХ ВІДХОДІВ ЯК МОДИФІКАТОР БІТУМУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОЇ АСФАЛЬТОБЕТОННОЇ СУМІШІ**

#### **Анотація**

**Вступ.** Наведено результати дослідження воску харчових відходів як потенційно екологічного модифікатора бітумних в'язучих з метою зменшення в'язкості при температурі нижче 120 °С. На сьогодні добре відомо, що порівняно з класичними процесами віск знижує робочі температури асфальтобетонного покриття, зменшуючи тим самим атмосферні викиди та витрати енергоресурсів.

**Мета.** Встановити вплив цього воску харчових відходів, а також інших воскоподібних та поверхнево-активних добавок на макроскопічні реологічні властивості шляхом визначення температури в'язкоеластичного переходу та в'язкості різних сумішей бітумних добавок.

**Результати.** Представлено молекулярне дослідження впливу різних добавок на основі молекулярної дифузії за допомогою дифузіометрії ядерно-магнітного резонансу (ЯМР), вимірювання диференціальної скануючої калориметрії (ДСК). Також проведено дослідження для різних типів воску (відходи та комерційний) для оцінки та порівняння температури переходу досліджуваних добавок з твердої фази у рідку.

**Висновки.** Встановлено, що віск харчових відходів зменшує в'язкість бітуму за температури нагрівання менше ніж 120 °С, що дозволяє виробляти суміш за нижчих температур. Дія цього воску аналогічна комерційним воскам, які застосовують для виробництва теплих асфальтобетонних сумішей, але його вартість значно нижча, оскільки, по суті — це відходи.

**Ключові слова:** бітум, тепла асфальтобетонна суміш, відходи харчових матеріалів, реологія, DSC, віск.

УДК 625.7/.8

Бубела А. В., канд. техн. наук, доц., <http://orcid.org/0000-0002-5619-003X>

Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

**ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ІНТЕНСИВНОСТІ ВОДОВІДВЕДЕННЯ  
ВІД КОНСТРУКТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ПОПЕРЕЧНИХ ДРЕНАЖІВ МІЛКОГО ЗАКЛАДАННЯ****Анотація**

**Вступ.** При проектуванні дренажних систем мілкового закладання та відповідного упередження деформації дорожнього покриття, важливо знати не тільки час, за який вода надходить в дорожню конструкцію, але і час, необхідний для її відведення з шарів основи дорожнього одягу після припинення притоку. Особливого значення це набуває для випадку поверхневої інфільтрації при випаданні атмосферних опадів. Вода захоплює найдрібніші частки, які накопичуються у місцях угнутих вертикальних кривих, а також на переході з виїмок в насип.

**Проблематика.** У північних районах України, де промерзання поширюється на глибину до 1 м, дренажну систему слід проектувати так, щоб виключити замерзання води в дренажному шарі. Для цього необхідно, щоб час добігання води по дренажному шару не перевищував допустиме значення. Особливо важливо виключити замерзання води в перехідні періоди та при відлизі з плюсовою температурою повітря вдень і з мінусовою вночі, у поєднанні з випадінням опадів або таненням снігу і льоду. При повільному водовідведенні циклічні коливання температури можуть призвести до утворення великої кількості лінз льоду. Питання щодо дослідження режимів роботи дренажної конструкції та визначення її конструктивних параметрів носять розрізнений характер. Одним із шляхів вирішення цієї актуальної проблеми є проведення експериментальних досліджень, які максимально відповідають натурним умовам.

**Мета.** Метою цієї роботи є визначення залежності інтенсивності водовідведення від конструктивних характеристик поперечних дренажів мілкового закладання на основі проведених експериментальних досліджень.

**Матеріали та методи.** На експериментальній установці дорожньої конструкції в навчально-науковій лабораторії кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету було проведено ряд досліджень роботи дренажних конструкцій мілкового закладання з різними матеріалами-наповнювачами. З метою апробації проведених експериментальних досліджень, проведено порівняння з аналітичним методом, визначено мінімальне та максимальне значення кількості води, яка витікає з дренажу.

**Результати.** Під час досліджень на лабораторній установці було визначено інтенсивність водовідведення дренажної конструкції з різними матеріалами-наповнювачами. За результатами вимірів проаналізовано вплив конструктивних елементів та характеристик поперечних дренажів мілкового закладання (ДМЗ) на інтенсивність їх роботи з відведення води. Отримано граничні значення інтенсивності водовідведення кожної з дренажних конструкцій. Інтенсивність водовідведення дренажної конструкції з наповнювачем із крупнозернистого піску з трубою ПВХ більш відповідає розрахунковим мінімальним граничним значенням, а дренажної конструкції з щелевним ядром — розрахунковим максимальним. Відносні відхилення значень середніх інтенсивностей водовідведення поперечних ДМЗ від граничних, отриманих аналітичним методом. Розходження результатів експериментальних досліджень із граничними значеннями пов'язано з тим, що аналітичний метод не достатньо враховує конструктивні особливості ДМЗ та режими водовідведення з дренажних прорізів.

**Висновки.** На основі аналітичного підходу, визначено граничні значення інтенсивності водовідведення з ДМЗ. Дренажна конструкція, в якій матеріалом-наповнювачем є крупнозернистий пісок з трубою ПВХ більш відповідає мінімальним граничним значенням інтенсивності водовідведення, а дренажна конструкція з щелевним ядром — максимальним.

Порівняльний аналіз результатів експериментальних досліджень щодо інтенсивності водовідведення дренажними траншеями з граничними значеннями, визначеними за аналітичним методом, показав суттєві відносні відхилення в межах від 34 % до 40 %. Для поперечних ДМЗ важливим параметром, щодо інтенсивності водовідведення є не тільки відстань між дренажними прорізами, а ще властивості матеріалів-наповнювачів, які не в повній мірі враховуються аналітичним підходом при проектуванні дренажних конструкцій.

**Ключові слова:** дренаж мілкового закладання, дренажна труба, дренальний шар, інтенсивність водовідведення, щелеве ядро.

### Вступ

При проектуванні дренажних систем мілкового закладання та відповідного упередження деформації дорожнього покриття важливо знати не тільки час, за який вода надходить в дорожню конструкцію (ДК), але і час, необхідний для її відведення з шарів основи дорожнього одягу (ДО) після припинення притоку. Особливого значення це набуває для випадку поверхневої інфільтрації при випаданні атмосферних опадів. На ділянках з позовжнім похилом більшим за поперечний (у виїмках, нульових відмітках, невисоких насипах) вільна вода рухається у дренальному шарі вздовж дороги. Вода захоплює найдрібніші частки, які накопичуються у місцях угнутих вертикальних кривих, а також на переході з виїмок в насип.

У північних районах України, де промерзання поширюється на глибину до 1 м [1], дренажну систему слід проектувати так, щоб виключити замерзання води в дренальному шарі. Для цього необхідно, щоб час добігання води по дренальному шару не перевищував допустиму межу. Особливо важливо виключити замерзання води в перехідні періоди та при відлизі з плюсовою температурою повітря вдень і з мінусовою вночі, у поєднанні з випадінням опадів або таненням снігу і льоду. При повільному водовідведенні циклічні коливання температури можуть призвести до утворення великої кількості лінз льоду.

З метою запобігання накопиченню вологи у шарах основи ДО, у робочій зоні земляного полотна (ЗП) влаштовують дренажі мілкового закладання (ДМЗ), режим роботи яких дослідити дуже складно. Питання щодо дослідження режимів роботи дренажної конструкції та визначення її конструктивних параметрів носять розрізнений характер. Одним із шляхів вирішення цієї актуальної проблеми є проведення експериментальних досліджень, які максимально відповідають натурним умовам.

Вагомою причиною погіршення стану автомобільної дороги є дощова вода [2]. Під час опадів частина води відводиться на поверхню покриття, а частина її просочується в шари основи. Просочення води залежить, як від інтенсивності опадів, так і від експлуатаційного стану дорожнього покриття та узбіч. Водовідведення — це процес видалення та контролю надлишків води, як на поверхні, так і в шарах основи, за рахунок правильно спроектованого та влаштованого ДМЗ, що детально описано у роботі [2].

Основною причиною аварій на дорогах є навантаження від транспортних засобів, вплив кліматичних факторів і неналежна робота дренальних шарів. Наявність води на дорозі є причиною послаблення несної здатності, наслідком чого є розтріскування поверхні покриття, що в десятки разів збільшує витрати на утримання дороги [3].

Важливість роботи ДМЗ, наслідки їх поганого водовідведення, суттєво впливають на безпеку дорожнього руху та на міжремонтні строки, що детально розглянуто в роботах [4, 5].

Аналіз представлених досліджень обумовлює необхідність обґрунтування методів та підходів щодо індивідуального проектування конструкцій ДМЗ.

Метою цієї роботи є визначення залежності інтенсивності водовідведення від конструктивних характеристик поперечних дренажів мілкого закладання на основі проведених експериментальних досліджень.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

- отримати рівняння інтенсивності водовідведення в залежності від відстані між дренажними прорізами;
- отримати граничні значення кількості води, що витікає з прорізи на одиницю її довжини за аналітичним підходом;
- провести порівняльний аналіз результатів експериментальних досліджень з граничними значеннями показників, щодо кількості води, яка витікає з прорізи.

### Основна частина

Потік води, що просочується вниз через пористі шари дорожнього одягу в проникні ґрунти ЗП, а також потік води, що рухається в горизонтальному напрямку через дренавальні шари і узбіччя підпорядковується основним законам гідродинаміки. Оцінка інтенсивності осушення, визначення часу, необхідного для відведення води з конструктивних шарів ДО ґрунтуються на співвідношеннях, отриманих за формулою Дарсі [6]. Але аналітичні розв'язки щодо визначення конструктивних параметрів дренажної системи не завжди забезпечують достатній збіг результатів. Залежності, які запропоновані для строку водовідведення в роботі [6] призначені для повздовжніх ДМЗ.

Поперечні ДМЗ порівняно з повздовжніми працюють в іншому режимі водовідведення. Це пов'язано з їх конструктивними особливостями. Крива депресії в повздовжніх ДМЗ формується в дренавальному шарі в поперечному профілі дороги. У свою чергу, крива депресії поперечних ДМЗ формується також в дренавальному шарі, але в повздовжньому напрямку дороги, тобто вздовж її осі. Відстань між повздовжніми дренами пов'язана з параметрами поперечного профілю дороги, а відстань між поперечними дренами залежить від кількості води, що надходить у дренавальний шар на площу  $1\text{ м}^2$ .

У виїмках, нульових відмітках і низьких насипах поперечні прорізи влаштовують на ширину проїзної частини. Для відведення з них води використовують поздовжню дренаж з одного краю проїзної частини або виводять на укiс з кожної прорізи. Якщо висота насипу більша від товщини ДО, тоді влаштовують наскрізні прорізи, згідно вимог [7, 8].

За підходом, запропонованим у роботі [9], загальна витрата  $Q$  на ділянці  $l = l_1 + l_2$  становить:

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (1)$$

де  $Q_1$  — витрата води на зливній частині ділянки довжиною  $l_1$ ;  
 $Q_2$  — витрата води на підпiрній частині ділянки довжиною  $l_2$ .

$$Q_1 = \frac{k_\phi (h_{\max} + L_1)^2}{2l_1}, \quad (2)$$

$$Q_2 = \frac{k_\phi (h_{\max} - L_2)^2}{2l_2}, \quad (3)$$

де  $L_{1,2} = \frac{il_{1,2}}{2}$  ;

$h_{\max}$  — максимальна глибина фільтраційного потоку, м;  
 $i$  — поздовжній похил проїзної частини;  
 $k_{\phi}$  — коефіцієнт фільтрації, м/добу;  
 $l_1$  — довжина на зливній частині ділянки, м;  
 $l_2$  — довжина на підпірній частині ділянки, м.

За розрахункову схему в роботі [9] прийнята рівність притоку води в дренавальний шар та її витрати при максимальній глибині фільтраційного потоку, яка справедлива лише при усталеному режимі руху води. Відстань  $l$  між дренажними прорізами визначають із врахуванням розрахункового питомого надлишку води  $Q_p$ , м<sup>3</sup>/добу з м<sup>2</sup> поверхні та максимальної глибини фільтраційного потоку  $h_{\max}$ , м:

$$l = h_{\max} \left( \frac{1}{\gamma - \frac{i}{2}} + \frac{1}{\gamma + \frac{i}{2}} \right) = \frac{2\gamma h_{\max}}{\gamma^2 - \left(\frac{i}{2}\right)^2}, \quad (4)$$

$$h_{\max} = \frac{l \left( \gamma^2 - \left(\frac{i}{2}\right)^2 \right)}{2\gamma}, \quad (5)$$

де  $\gamma$  — безрозмірна величина, що дорівнює:

$$\gamma = \sqrt{2 \frac{q}{k_{\phi}}}, \quad (6)$$

де  $q$  — кількість води, яка надходить у дренавальний шар на площі 1м<sup>2</sup>, м<sup>3</sup>/добу на м<sup>2</sup>.

Перетворимо вираз (5), з урахуванням (6):

$$l = \frac{2h_{\max} \sqrt{2 \frac{q}{k_{\phi}}}}{2 \frac{q}{k_{\phi}} - \frac{i^2}{4}}. \quad (7)$$

Через відстань між дренажними прорізами можливо визначити інтенсивність відведення води. Вираз (7) перетворимо в квадратне рівняння та отримаємо:

$$4l^2 \frac{q^2}{k_{\phi}} - q(l^2 i^2 + 8h^2) + l^2 \frac{k_{\phi} i^4}{16} = 0. \quad (8)$$

Згідно з розв'язанням квадратного рівняння, визначаємо кількість надходження води:



$$q_{\max, \min} = \frac{l^2 i^2 + 8h^2 \pm 4h\sqrt{l^2 i^2 + 4h^2}}{8l^2} k_{\phi}. \quad (9)$$

Кількість води, яка витікає з прорізи на одиницю її довжини, можна отримати згідно рекомендацій, наведених у роботі [9], на основі спрощеної залежності:

$$Q_p = qlb, \quad (10)$$

де  $b$  — довжина прорізи, м.

У навчально-науковій лабораторії кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету на лабораторній установці дорожньої конструкції було проведено ряд експериментальних досліджень із визначення параметрів водовідведення поперечних ДМЗ. Було виміряно об'єм відведеної води з траншеї та час її відведення на різних конструкціях ДМЗ за різних умов. Параметри установки, особливості роботи конструкцій та результати вимірювань наведені в [10, 11]. Таким чином, були отримані залежності для інтенсивності водовідведення з різних дренажних конструкцій. Результати досліджень роботи дренажних конструкцій наведені в табл. 1 і табл. 2, за інтенсивності зливових опадів 5 % забезпеченості [1].

*Таблиця 1*

*Результати досліджень роботи щебеневого дренажного шару з поперечними ДМЗ*

Наповнювач траншеї ДМЗ	Потік сформований	Після того, як потік розформувався (у краплинах)	Загальний показник інтенсивності водовідведення, м <sup>3</sup> /добу
	Інтенсивність водовідведення, м <sup>3</sup> /добу	Інтенсивність водовідведення, м <sup>3</sup> /добу	
Крупнозернистий пісок, труба ПВХ	0,476 3	0,016 0	<b>0,074 1</b>
	0,613 3	0,016 0	<b>0,093 9</b>
	0,606 9	0,032 0	<b>0,109 4</b>
Щебенева ядро (фр. 10–20 мм і 20–40 мм)	0,598 5	-	<b>0,598 5</b>
	0,491 7	-	<b>0,491 7</b>
	1,336 0	-	<b>1,336 0</b>

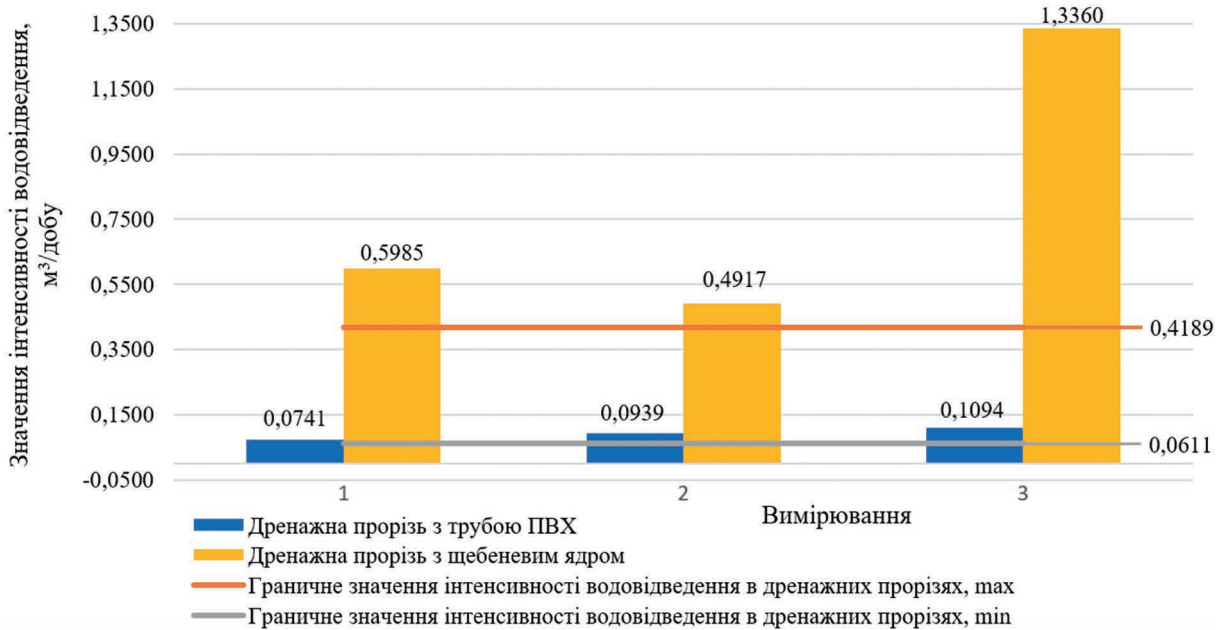
*Таблиця 2*

*Результати досліджень роботи піщаного дренажного шару (середньозернистий пісок) з поперечними ДМЗ*

Наповнювач траншеї ДМЗ	Після того, як потік розформувався (у краплинах)	Загальний показник інтенсивності водовідведення, м <sup>3</sup> /добу
	Інтенсивність водовідведення, м <sup>3</sup> /добу	
Крупнозернистий пісок, труба ПВХ	0,003 8	<b>0,003 8</b>
	0,001 9	<b>0,001 9</b>
	0,002 6	<b>0,002 6</b>

Із метою апробації проведених експериментальних досліджень, проведемо порівняння за аналітичним методом, визначимо мінімальне та максимальне значення за формулами (9) та (10), щодо кількості води, яка витікає з прорізі. Для конструкції поперечного ДМЗ з дренавальним щебеним шаром були прийняті такі вимоги: коефіцієнт фільтрації  $k_{\phi} = (150\text{—}200)$  м/добу, максимальна глибина фільтраційного потоку  $h_{\max} = (0,01\text{—}0,02)$  м. Відповідно, для другої конструкції, з піщаним дренавальним шаром:  $k_{\phi} = (4\text{—}5)$  м/добу,  $h_{\max} = (0,10\text{—}0,15)$  м.

Порівняльний аналіз розрахункових та експериментальних даних наведених на графіках рис. 1 та рис. 2.



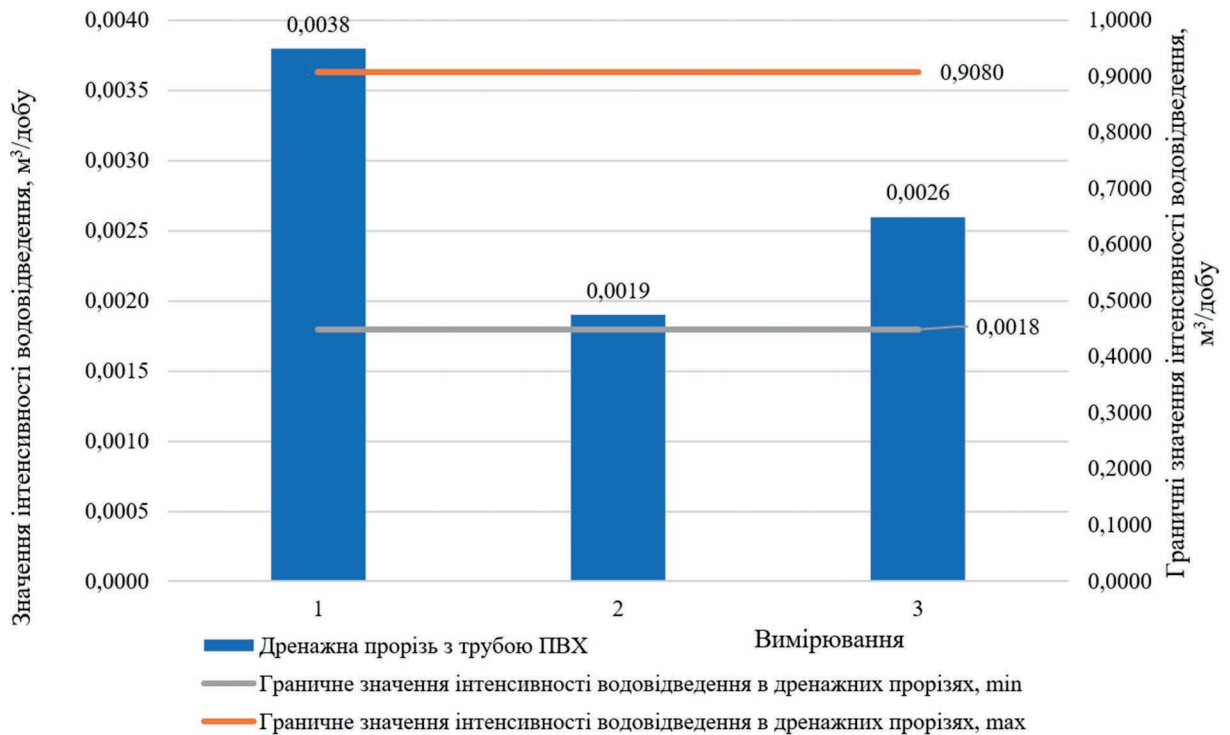
**Рисунок 1** — Порівняння значень експериментальних досліджень інтенсивності водовідведення з розрахунковими за аналітичним методом

Інтенсивність водовідведення дренажної конструкції з наповнювачем із крупнозернистого піску з трубою ПВХ більш відповідає розрахунковим мінімальним граничним значенням, а дренажної конструкції з щебеним ядром — розрахунковим максимальним. Відносні відхилення значень середніх інтенсивностей водовідведення поперечних ДМЗ від граничних, отриманих аналітичним методом, наведені в табл. 3.

**Таблиця 3**

**Відносні відхилення середніх значень інтенсивності водовідведення поперечних ДМЗ від граничних**

Дренавальний шар	Щебінь фр. 20–40 мм		Середньозернистий пісок
Наповнювач траншеї поперечного ДМЗ	Труба ПВХ, обсипана крупнозернистим піском	Щебенеve ядро (фракція 10–20 мм та 20–40 мм)	Труба ПВХ, обсипана крупнозернистим піском
Відносні відхилення, %	34	40	35



**Рисунок 2** — Порівняння значень експериментальних досліджень інтенсивності водовідведення з розрахунковими за аналітичним методом

Розбіжність результатів експериментальних досліджень з граничними значеннями пов’язано з тим, що аналітичний метод не достатньою мірою враховує конструктивні особливості ДМЗ та режими водовідведення з дренажних прорізів.

### Висновки

1. За аналітичним підходом, у результаті перетворень, було отримано рівняння інтенсивності водовідведення з дренажної траншеї через параметр відстані між дренажними прорізами згідно з [9], з урахуванням кількості води, що надходить у дренажний шар на площу 1 м<sup>2</sup>.

2. Визначено граничні значення інтенсивності водовідведення з дренажної прорізі з урахуванням таких параметрів поперечних ДМЗ, як коефіцієнт фільтрації дренажного шару, повздовжній похил ділянки дороги, довжина прорізі. Дренажна конструкція, в якій матеріалом-наповнювачем є крупнозернистий пісок з трубою ПВХ більш відповідає мінімальним граничним значенням інтенсивності водовідведення, а дренажна конструкція з щебеневим ядром — максимальним.

3. Порівняльний аналіз результатів експериментальних досліджень щодо інтенсивності водовідведення дренажними траншеями з граничними значеннями, визначеними за аналітичним методом, показав суттєві відносні відхилення в межах від 34 % до 40 %. Для поперечних ДМЗ важливим параметром, щодо інтенсивності водовідведення є не тільки відстань між дренажними прорізами, а ще властивості матеріалів-наповнювачів, які не в повній мірі враховуються аналітичним підходом при проектуванні дренажних конструкцій.

## Список літератури

1. Довідник № 4. Кліматичні характеристики та кліматичне районування території України для регулювання водно-теплогового режиму в дорожньому будівництві. Київ, 2018. 98 с. (Інформація та документація).
2. Tejas D. Khediya. Study of Surface and Sub Surface Highway Drainage System. *International Journal of Engineering Development and Research*. 2016. Volume 4, Issue 3. P. 945-949.
3. Erna Ismiyani, Dewi Handayani, RR. Rintis Hadiani. The impact of drainage towards roads in maintenance cost. *The 4<sup>th</sup> International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering*. 2018. Volume 195. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819505012> (дата звернення: 17.08.2020).
4. Tiza Michael Toryila, Iorver Vitalis Terpase, Iortyom Enoch Terlumun. The effects of poor drainage system on road pavement : a review. *International journal for innovative research in multidisciplinary field*. 2016. Volume 2, Issue 8. P. 216–223. URL: [https://www.researchgate.net/publication/307167618\\_THE\\_EFFECTS\\_OF\\_POOR\\_DRAINAGE\\_SYSTEM\\_ON\\_ROAD\\_PAVEMENT\\_A\\_REVIEW](https://www.researchgate.net/publication/307167618_THE_EFFECTS_OF_POOR_DRAINAGE_SYSTEM_ON_ROAD_PAVEMENT_A_REVIEW) (дата звернення: 17.08.2020).
5. Dipanjan, Mukherjee. Highway Surface Drainage System & Problems of Water Logging In Road Section. *The International Journal Of Engineering And Science*. 2014. Volume 3, Issue 11. P. 44-51. URL: <http://www.theijes.com/papers/v3-i11/Version-1/G031101044051.pdf> (дата звернення: 17.08.2020).
6. Седергрэн Г.Р. Дренаж дорожных одежд и аэродромных покрытий. Москва, 1981. 280 с.
7. ДСТУ-Н Б В.2.3-41:2016 Настанова з проектування дренажних конструкцій мілкового закладання автомобільних доріг. Київ, 2016. 23 с. (Інформація та документація).
8. АД А.2.4-37641918-002:2015 Архітектурно-будівельні креслення. Дренажні конструкції земляного полотна на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2015. 37 с. (Інформація та документація).
9. Пузаков Н.А., Золотарь И.А., Сиденко В.М. и др. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд. Москва, 1971. 413 с.
10. 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*. Kharkiv, 2018. Volume 2, Issue 7-92. P. 18-26. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126512> (дата звернення: 17.08.2020).
11. Бубела А. В., Квагадзе А. І. Дослідження режимів роботи дренажних шарів в дорожніх конструкціях. *Science Review*. 2020. (5(32)). P. 24-29. DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_sr/30062020/7140](https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30062020/7140) (дата звернення: 17.08.2020).

## References

1. Dovidnyk № 4. Klimatychni kharakterystyky ta klimatyчне rayonuvannya terytoriyi Ukrainy dlya rehulyuvannya vodno-teplovoho rezhymu v dorozhn'omu budivnytstvi (Handbook № 4. Climatic characteristics and climatic zoning of the territory of Ukraine for the regulation of water-thermal regime in road construction). Kyiv, 2018. 98 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
2. Tejas D. Khediya. Study of Surface and Sub Surface Highway Drainage System. *International Journal of Engineering Development and Research*. Chattisgarh, 2016. Volume 4, Issue 3. P. 945-949 [in English].
3. Erna Ismiyani, Dewi Handayani, RR. Rintis Hadiani. (2018). The impact of drainage towards

roads in maintenance cost. *The 4<sup>th</sup> International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering*. Volume 195. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819505012> (Last accessed: 17.08.2020) [in English].

4. Tiza Michael Toryila, Iorver Vitalis Terpase, Iortyom Enoch Terlumun. The effects of poor drainage system on road pavement: a review. *International journal for innovative research in multidisciplinary field*. 2016. Volume 2, Issue 8. P. 216-223. URL: [https://www.researchgate.net/publication/307167618\\_THE\\_EFFECTS\\_OF\\_POOR\\_DRAINAGE\\_SYSTEM\\_ON\\_ROAD\\_PAVEMENT\\_A\\_REVIEW](https://www.researchgate.net/publication/307167618_THE_EFFECTS_OF_POOR_DRAINAGE_SYSTEM_ON_ROAD_PAVEMENT_A_REVIEW) (Last accessed: 17.08.2020) [in English].

5. Dipanjan, Mukherjee. Highway Surface Drainage System & Problems of Water Logging In Road Section. *The International journal of engineering and science*. India, 2014. Volume 3, Issue 11. P. 44–51. URL: <http://www.theijes.com/papers/v3-i11/Version-1/G031101044051.pdf> (Last accessed: 17.08.2020) [in English].

6. Sedergren G.R. Drenazh dorozhnykh odezhd i aerodromnykh pokrytiy (Drainage of road pavements and airfield surfaces). Moscow, 1981. 280 p. [in Russian].

7. DSTU-N B V.2.3-41:2016 Nastanova z proektuvannya drenazhnykh konstruktsiy milkoho zakladannya avtomobil'nykh dorih (State Standard of Ukraine (DSTU-N B V.2.3-41:2016) Guidelines for the design of shallow drainage structures on the road). Kyiv, 2016. 23 p. [in Ukrainian].

8. AD A.2.4-37641918-002:2015 Arkhitekturno-budivel'ni kreslennya. Drenazhni konstruktsiyi zemlyanoho polotna na avtomobil'nykh dorohakh zahal'noho korystuvannya. Kyiv, 2015. 37 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

9. Puzakov N.A., Zolotar I.A., Sidenko V.M. i dr. Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna i dorozhnykh odezhd (Water-thermal regime of the ground and road pavements). Moscow, 1971. 413 p. [in Russian].

10. 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*. Kharkiv, 2018. Volume 2. Issue 7-92. P. 18-26. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126512> (Last accessed: 17.08.2020) [in English].

11. Bubela A. V., Kvatadze A. I. (2020). Doslidzhennya rezhymiv roboty drenoval'nykh shariv v dorozhnikh konstruktsiyakh (Study of the operating modes of drainage layers in road construction). *Science Review*. No 5(32). P. 24-29. DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_sr/30062020/7140](https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30062020/7140) (Last accessed: 17.08.2020) [in English].

---

---

**Andrii Bubela, Ph.D., Associate Prof.,** <http://orcid.org/0000-0002-5619-003X>

*National Transport University, Kyiv, Ukraine*

***DETERMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE RATE OF DIVERSION  
AND THE DESIGN CHARACTERISTICS OF SHALLOW CROSS-DRAINAGE***

***Abstract***

**Introduction.** When designing shallow drainage systems and the corresponding prevention of deformation of the road surface, it is important to know not only the time when water enters the road structure, but also the time needed to remove it from the base of the road clothing after the stop of the influx. This is particularly important in the case of surface infiltration during precipitation. The water captures the tiniest particles that accumulate at the places of concave vertical curves, as well as at the transition from the grooves to the mound.

**Problem Statement.** In the northern regions of Ukraine, where freezing extends to a depth of up to 1 m, the drainage system should be designed to prevent freezing of water in the drainage layer. For this purpose, it is necessary that the time when the water reaches the drainage layer does not exceed the allowable value. It is particularly important to ensure that water does not freeze during transition periods and thaw with a positive temperature during the day and at a negative night, when combined with precipitation or melting of snow and ice. With slow drainage, cyclic temperature variations can produce large amounts of ice lenses. The question of the study of the working conditions of the drainage system and its design parameters is scattered. One way to address this pressing problem is to carry out experimental studies that are most appropriate to the field conditions.

**Purpose.** The aim of this work is to determine the relationship between the water drainage intensity and the structural characteristics of shallow cross-sectional drains on the basis of experimental studies.

**Materials and methods.** For the pilot installation of a road structure in the Scientific Laboratory of the Department of Transport Construction and Property Management of the National Transport University has conducted research on the operation of shallow drainage structures with various fillers. In order to validate the experimental studies carried out, a comparison with the analytical method has been made, and a minimum and maximum value has been defined for the quantity of water flowing from the aperture.

**Results.** During the laboratory tests, the drainage intensity of the drainage structure with various filling materials was determined. On the basis of the results of the measurements, the influence of structural elements and characteristics of shallow transverse drains on the intensity of their water discharge work was analyzed. The limit values for the water discharge intensity of each of the drainage structures are obtained. The drainage intensity of the drainage structure with the filler coarse sand with the PVC tube is more in line with the calculated minimum threshold, and the drainage structure with the chipping kernel is more in line with the calculated maximum. Relative deviations of the mean discharge intensity of the transverse DMZ limits obtained by the analytical method. The difference in the results of the experimental studies with limit values is due to the fact that the analytical method does not sufficiently take into account the design features of the DMZ and drainage regimes.

**Conclusions.** Based on an analytical approach, limit values have been defined for the intensity of drainage. Drainage structure in which coarse sand with PVC tube is the filling material more meets the minimum water discharge threshold and the drainage structure with chipping kernel is the maximum.

A comparison of the results of the pilot studies on drainage intensity of drainage ditches with analytical limit values showed significant relative deviations ranging from 34% to 40%. For cross-sectional DMZ, an important parameter in the intensity of water drainage is not only the distance between the drainage slots, but also the properties of the filling materials, which are not fully considered in the analytical approach when designing drainage structures.

**Keywords:** shallow drainage, drainage pipe, drainage layer, water discharge rate, chip core.

УДК 625.70

Гамеляк І. П.<sup>1</sup>, *д-р тех. наук, проф.*, <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>Дмитриченко А. М.<sup>1</sup>, *канд. тех. наук, доц.*, <https://orcid.org/0000-0001-6144-7533>Нагайчук В. М.<sup>2</sup>, *канд. тех. наук, доц.*, <https://orcid.org/0000-0001-9238-9276>Райковський В. Ф.<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-6391-7647>Биковець М. М.<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-7490-7479><sup>1</sup> Національний транспортний університет, м. Київ, Україна<sup>2</sup> Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

## **ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДСИЛЕННЯ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ ШАРАМИ ЦЕМЕНТОБЕТОНУ**

### **Анотація**

**Вступ.** Національний проект «Велике будівництво» передбачає відновлення у 2020 році понад 6000 км автомобільних доріг. Враховуючи незадовільний стан переважної кількості автомобільних доріг загального користування і необхідність їх підсилення виникає потреба у використанні сучасних технологій, які дозволяють максимально використати існуючі конструкції дорожнього одягу в якості основи та підсилити їх, забезпечивши при цьому високу якість доріг та їх довговічність. Такі технології повинні відкрити реальну перспективу підвищення транзитної привабливості нашої держави та скасувати необхідність введення сезонних обмежень проїзду важкого автомобільного транспорту. Відповідно до забезпечення більшої надійності існуючих дорожніх покриттів навіть при збільшених навантаженнях на покриття та відновлення діючих автомобільних доріг з асфальтобетонним покриттям використовують технологію їх підсилення цементобетонними шарами «whitetopping».

**Мета.** Ремонт та підсилення покриттів нежорсткого типу за технологією «whitetopping».

**Результати.** Результатом роботи є визначення особливостей технології підсилення дорожніх покриттів шарами цементобетону та встановлення можливості застосування технології «whitetopping» для відновлення автомобільних доріг загального користування.

**Висновки.** Технологія «whitetopping» є оптимальним варіантом посидання в конструкціях дорожніх одягів асфальто- і цементобетону. За певних умов вона дозволяє ефективно використати існуючі нежорсткі дорожні покриття в якості основи під цементобетонні шари, підсилити їх та збільшити надійність та довговічність таких покриттів.

**Ключові слова:** whitetopping, асфальтобетон, дорожній одяг, бетон, підсилення цементобетоном.

### **Вступ**

Ремонт покриттів за технологією «whitetopping» передбачає усунення поверхневих дефектів асфальтобетонного або цементобетонного покриття, а також підсилення існуючого покриття шляхом нанесення на нього шару цементобетону. Термін «whitetopping» означає в дослівному перекладі «біле покриття». У дорожньому будівництві це означає застосування бетону в якості верхнього шару, що укладається на шар асфальтобетону або цементобетону. Цей метод рекомендовано для усунення проблемних ділянок із дефектами верхнього шару покриття на автомагістралях, на ділянках руху великовагових транспортних засобів, а також критичних зонах у межах міста, в зонах зміни режиму руху, наприклад: світлофори та перехрестя, смуги

руху автобусів, автобусні зупинки тощо. Замість повної заміни покриття проводиться швидкий ремонт пошкодженого покриття за допомогою укладання тонкого шару бетону, для якого існуючий конструктив дороги служить основою [1–5].

### Виклад основного матеріалу

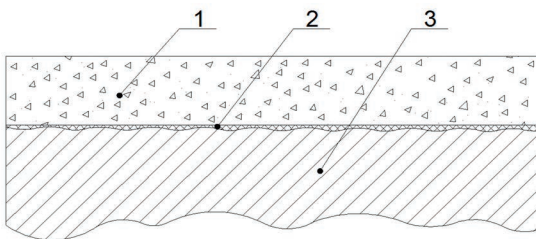
На теперішній час в Україні автомобільні дороги переважно мають асфальтобетонні покриття, несна здатність яких становить не більше ніж 115 кН (11,5 т) на вісь, а загальний модуль пружності — до 300 МПа. Навантаження від 13 т на вісь вимагає збільшення загального модуля пружності до 390–400 МПа, при цьому напруження в шарі дорожнього покриття досягає 7,0–7,5 МПа, що у 2,5–3,0 рази перевищує межі міцності та зсувостійкості звичайного асфальтобетону. У цьому випадку пропонують застосовувати спеціальні технічні рішення [4]:

- посилити дорожню основу шляхом укладання поверх старого асфальтобетонного покриття армуючих прошарків із армуючих синтетичних матеріалів (АСМ) і геотраток для армування основи з подальшим їх перекриттям шаром з регенованого асфальтобетону, сумішей укріплених в'язучим або цементогрунту;

- влаштування цементобетонного покриття з використанням в якості основи або старого асфальтобетонного покриття, або посиленої дорожньої основи (у цьому випадку товщина цементобетонного шару істотно зменшується).

Під час ремонту асфальтобетонних покриттів шарами цементобетону використовують два методи: «зрощування» (із забезпеченням зчеплення між шарами) і «нарощування» (без зчеплення з просковзування між шарами). Вибір методу залежить від стану асфальтобетонного покриття, несної здатності існуючого дорожнього одягу, складу й інтенсивності руху, кліматичних і ґрунтово-гідрологічних умов.

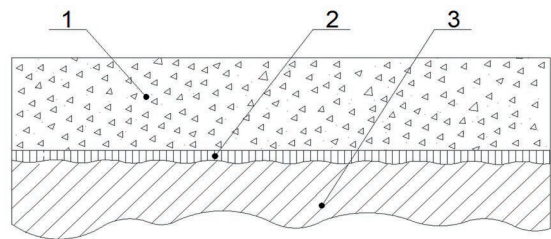
При методі «зрощування» забезпечується повний зв'язок поверхні асфальтобетонного покриття з новим шаром. Для цього, перед укладанням модифікованої цементобетонної суміші, на підготовлене асфальтобетонне покриття наносять шар із цементного клею (рис. 1, а), або фрезерують верхню частину покриття для ліквідації нерівностей і забезпечення належного зчеплення шарів (рис. 1).



Метод «зрощування»:

- 1 — шар підсилення з цементобетону;
- 2 — шар цементного клею;
- 3 — відфрезероване асфальтобетонне покриття або шар вирівнювання по існуючому покриттю

а)



Метод «нарощування»:

- 1 — шар підсилення з цементобетону;
- 2 — розділовий прошарок (ППА) або геосинтетичний прошарок;
- 3 — відфрезероване асфальтобетонне покриття або шар вирівнювання по існуючому покриттю

б)

**Рисунок 1** — Конструкції підсилення дорожнього одягу

Під час методу «нарощування» влаштування шарів посилення з монолітного цементобетону здійснюють по розділових прошарках (переважно використовується плівка



поліетиленова аеродромна (ППА), а в останні роки геосинтетичні матеріали), які укладають на підготовлене покриття перед укладанням модифікованої цементобетонної суміші (рис.1, б), тим самим забезпечуються незалежні температурні деформації шарів покриття [6–12].

Ремонт асфальтобетонних покриттів шарами цементобетону класифікують залежно від товщини шару, що укладається:

- ремонт шаром цементобетону звичайної товщини від 200 мм до 280 мм;
- ремонт тонким шаром цементобетону від 100 мм до 200 мм;
- ремонт ультратонким шаром завтовшки товщиною від 50 мм до 100 мм.

Під час ремонту асфальтобетонних покриттів тонкими й ультратонкими шарами зазвичай застосовують метод «зрощування». Методом «зрощування» ремонтують асфальтобетонні покриття, що мають незначні деформації та руйнування, достатній запас міцності конструкції дорожнього одягу (коефіцієнт запасу міцності складає не менше ніж 0,9), за відсутності тріщин від втоми та під час прогнозування зростання транспортного навантаження.

Товщину фрезерування асфальтобетонного покриття призначають залежно від величини деформацій і руйнувань покриття, а також товщини цементобетонного шару підсилення, що укладається. Після фрезерування товщина старого асфальтобетону повинна бути не менше ніж 7–10 см (рис. 2).



**Рисунок 2** — Підготовка поверхні існуючого покриття до вкладання шару цементобетону при застосуванні методу «зрощування»

Метод «наращування» застосовують за значних деформацій і руйнувань асфальтобетонного покриття без забезпечення надійного зв'язку між шарами. При цьому старе асфальтобетонне покриття не розглядається як елемент нового верхнього шару покриття. Для запобігання появи в шарі підсилення тріщин, викликаних дією транспортних навантажень, виконують раціональне армування верхнього шару покриття металевою чи неметалевою (базальтопластиковою, склопластиковою тощо) арматурою. Робочу арматуру розташовують в нижній частині плити не по всій площі, а лише в місцях концентрації згинальних моментів, тобто на крайових ділянках плит. Ширину сіток визначають залежно від кількості робочої арматури. Відсоток крайового армування шару підсилення становить від 0,4 % до 0,5 %.

Для проектування конструктивних параметрів шарів посилення і вибору методу ремонту дорожнього одягу спочатку виконують оцінку експлуатаційного стану асфальтобетонного покриття на основі результатів візуального огляду його поверхні та визначення загального модуля пружності. Перед проведенням обстеження вивчають проектну документацію і матеріали з експлуатації автомобільної дороги, включаючи дані про попередні обстеження покриття.

Оцінювання експлуатаційного стану асфальтобетонних покриттів виконують спочатку на основі результатів візуального огляду їх поверхні та оформлення Акта дефектів та руйнувань.

На основі визначення в польових умовах загального модуля пружності та його коефіцієнта варіації після приведення до розрахункової температури визначають коефіцієнт запасу міцності за критерієм пружного прогину (загального модуля пружності) дорожнього одягу і порівнюють її з необхідним і приймають рішення про проведення робіт з посилення дорожнього одягу. Розрахунок товщини шарів посилення здійснюють з урахуванням температурних напружень і деформацій, викликаних температурними градієнтами в плиті.

**Конструювання жорсткого дорожнього одягу**

Для призначення варіантів ремонту сучасних конструкцій дорожнього одягу скористаємось прикладами, зображеними на рис. 3.

Метод «зрощування» (Профілактичне обслуговування / Незначні ремонти)	Метод «нарощування» (Поточні середні / Капітальні ремонти, Реконструкція)
Цей тип підсилення використовують для усунення поверхневого руйнування, коли існуюче покриття дорожнього одягу знаходиться в хорошому стані. Необхідна ретельна підготовка поверхні перед підсиленням.	Цей тип підсилення відрізняється високою надійністю, з більш тривалим строком служби конструкції, ніж підсилення шарами асфальтобетону. Потрібне мінімальне попереднє відновлення поверхні існуючого дорожнього одягу.

По асфальтобетону



По композиту (ресайклінгу)



По цементобетону

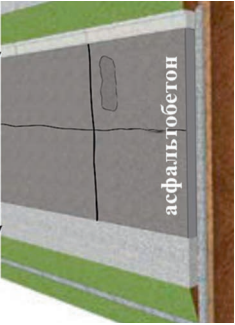
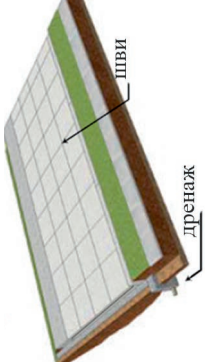

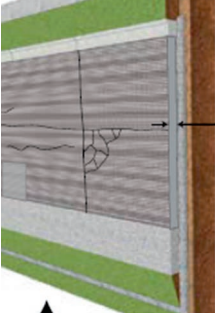


**Рисунок 3** — Типи підсилення

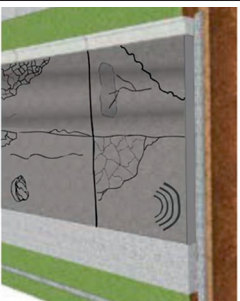
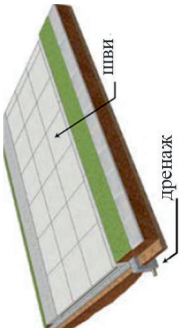
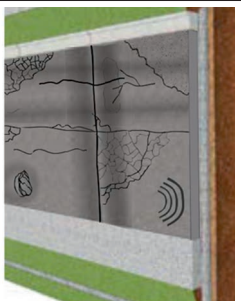
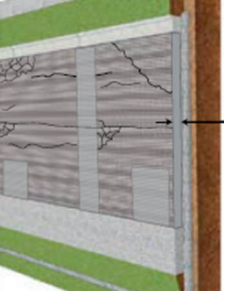
Новим в практиці зарубіжних країн є використання в якості основи для підсилення асфальтобетону товщиною 10 см.

Таблиця 1

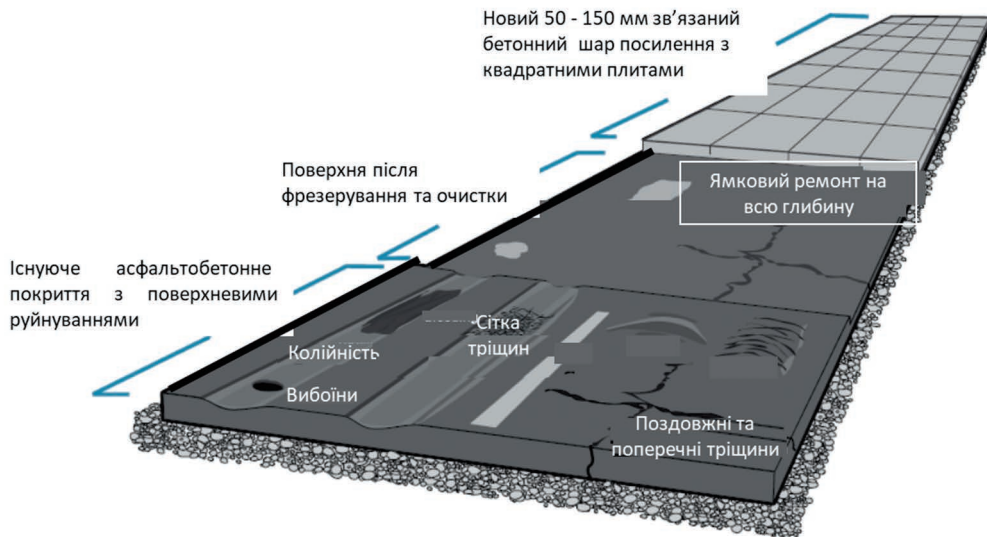
Вибір ремонту залежно від стану існуючого покриття

Стан	Ремонт		
<p>Добрий стан. Дорожнє покриття в хорошому стані, але потребує підвищення структурної міцності, поліпшення характеристик поверхні (жорсткість, зчеплення і шум), поверхневі дефекти ліквідовані.</p>	 <p>асфальтобетон</p>	<p>Локальний ремонт. Можна провестися локальний ремонт з мінімальними витратами, визначити недоліки, привести покриття в «хороший стан» і забезпечити відповідність іншим вимогам (вертикальний просвіт, узбіччя, смуги безпеки, допустимі ухили тощо), для забезпечення зв'язаності шарів.</p>	<p>Метод «зропсування» Основа — покриття із асфальтобетону</p>  <p>шви дренаж</p> <p>Влаштовують дренаж при необхідності. Примітка: товщина бетону повинна бути відповідним чином розрахована з урахуванням руху автомобілів, розрахункового строку служби і бюджету.</p>
<p>Задовільний стан. Дорожнє покриття в хорошому стані, але має незначні руйнування, такі як вибоїни, блочні тріщини або випадкові температурні тріщини. Необхідно перевірити наявність хвилеподібного профілю (коліноності) щоб вирішити питання відведення води, перевірити вибоїни, щоб переконатися, що в асфальтобетоні немає помітних викришувань або відшарувань.</p>	 <p>асфальтобетон</p>	<p>Фрезерування. Можливе фрезерування для забезпечення належного контакту шарів та привести покриття в «хороший стан» і забезпечити відповідність профілю нормативам (вертикальний просвіт, узбіччя, смуги безпеки, допустимі похили тощо), для забезпечення зв'язаності шарів.</p>	 <p>асфальтобетон</p>

Кінець таблиці 1

<p>Поганий стан. Дорожнє покриття має значні руйнування, крім описаних в розділі «задовільний стан», такі як сітка тріщин, руйнування швів, локальні руйнування, просадки та проломи і/або руйнування, пов'язані з втраченою (винесенням) матеріалу. Примітка: Стан асфальтобетонного покриття добре відображає проблеми, пов'язані з поганим станом основи.</p>		<p>Фрезерування і ямковий ремонт. За допомогою ямкового ремонту і фрезерування (при достатній товщині асфальтобетону) можна ліквідувати недоліки старого покриття і привести існуюче покриття до стану, що забезпечує рівномірну основу для підсилення.</p>	 <p>Метод «нарошування». Основа — покриття із асфальтобетону</p>
<p>Зношений стан. Покриття, що характеризується як «поганий стан» має, значні руйнування поверхні, нерівності та структурні пошкодження.</p>		<p>Додатковий ремонт. У разі поганого стану ґрунтової основи (наприклад, через переволоження), або втраги несної здатності дорожньої конструкції, потрібно виконати додатковий ремонт: за допомогою технології холодного ресайклінгу переробити асфальтобетонне покриття, що втрапило несну здатність і використати цей шар в якості основи під цементобетонне покриття. При цьому необхідно забезпечити додатковий дренаж на всю ширину або влаштувати геосинтетичний прошарок.</p>	 <p>8 см мін. асфальтобетон</p> <p>Що робити, якщо існуюче покриття не є потенційно придатним для цього типу підсилення? В такому випадку рекомендується встановити причину поганого стану дороги і у разі втраги несної здатності дорожнього одягу за технологією холодного ресайклінгу переробити старе асфальтобетонне покриття і використати стабілізований шар у якості основи під цементобетонне покриття. Коли достатня несна здатність дорожньої конструкції і асфальтобетон має товщину менше, ніж 15 см та знаходиться в пошкодженому стані, асфальтобетон може бути використаний в якості підстильного шару під цементобетонне покриття.</p>

На рис. 4 наведено асфальтобетонне покриття, на яке може бути потенційно влаштоване підсилення за методом «зрощування», поряд з ним види підготовчих ремонтних робіт, які можуть бути застосовані.



**Рисунок 4** — Підсилення за методом «зрощування» із задовільним і кращим асфальтобетонним покриттям та з поверхневими руйнуваннями (ультратонкий whitetopping)

### Застосування та використання підсилення за методом «зрощування»

- Цей тип підсилення є доцільним для асфальтобетонних доріг, вулиць і перехресть в задовільному або доброму структурному стані з типовими руйнуваннями, такими як колійність, нерівність, недостатня шорсткість і температурні тріщини (рис. 4).
- Товщина, як правило, складає 50–150 мм.
- Влаштовується на існуюче асфальтобетонне покриття, щоб забезпечити додаткову несну здатність, а також зв'язок з існуючим асфальтовим покриттям з утворенням моноліту, тим самим зменшуючи напруження при згині.
- Збільшує міцність конструкції, де транспортні навантаження зростають або передбачається їх збільшення.
- Усуває дефекти поверхні, такі як колійність і нерівності.
- Поліпшує характеристики покриття (шорсткість, шум, і жорсткість).
- Скорочення впливу теплового ефекту за рахунок збільшення жорсткості поверхні дорожнього покриття.

На рис. 5 наведено експлуатаційні стани дорожнього покриття з часом.

### Працездатність

Цей тип підсилення успішно використовують у багатьох країнах для підтримки та відновлення асфальтобетонних покриттів з поверхневими дефектами (рис. 6).

Результати багаторічних досліджень показали, що підсилення за методом «зрощування» забезпечує міцність поверхні за умови (1) достатнього зчеплення між поверхнею асфальтобетону і цементобетонним підсиленням, і (2) існуюче асфальтобетонне покриття забезпечує достатню структурну підтримку.

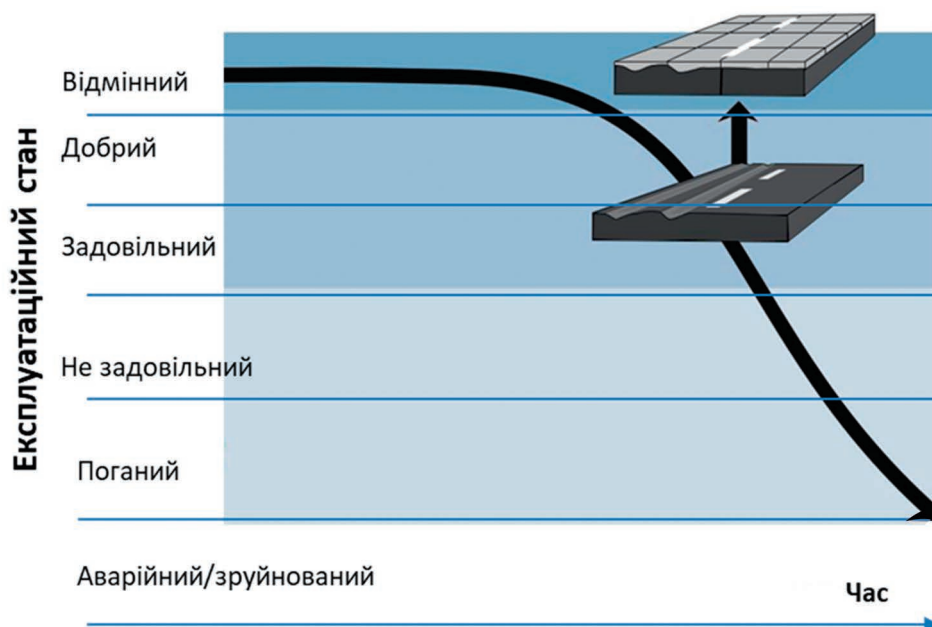


Рисунок 5 — Підсилення асфальтобетонного покриття методом «зрощування»



Дорога SH-119 у 1991 році до влаштування цементобетонного підсилення (джерело: Рон Youngman, CO / WY розділ, АСРА)

Дорога SH-119 у 2009 році після 18 років служби (джерело: Рон Youngman, CO / WY глави, АСРА)

Рисунок 6 — Стан дорожнього покриття до та після ремонту

### Конструювання жорсткого дорожнього одягу

Для призначення варіантів сучасних конструкцій жорсткого дорожнього одягу скористаємось прикладами, наведеними в каталогах Німеччини та Польщі (табл. 2 і табл. 3).

### Варіанти конструкцій жорсткого дорожнього одягу (Німеччина)

У зведеній табл. 2 наведено конструкції бетонних покриттів для проїзної частини на земляній основі/ нижніх шарах дорожнього одягу з каталогу конструкцій дорожнього одягу Німеччини.

**Приклади конструкцій цементобетонних покриттів**

Ч. ч.	Категорія дороги	SV	I	II	III	IV	V	VI
		Проходи осі навантаження еквівалентного 10 т, млн	> 32	10–32	3–10	0,8–3	0,3–0,8	0,1–0,3
	Товщина морозостійких верхніх шарів дорожнього одягу, з кроком 10 см	55–85	55–85	45–75	45–75	45–75	35–65	35–65
<b>Варіант. Несний шар із гідравлічним в'язучим на морозозахисному шарі</b>								
1.1	Цементобетонне покриття	27	25	24	23			
	Нетканый матеріал							
	Гідравлічно укріплений несний шар	15	15	15	15			
	Морозозахисний шар	43	45	45	37			
	Варіанти товщин, крок 10 см	33–43	25–45	25–45	27–37			
1.2	Цементобетонне покриття	27	25	24	23			
	Нетканый матеріал							
	Укріплення	20	15	15	15			
	Морозозахисний шар згідно DIN 18196	36	40	45	45			
	Варіанти товщин, крок 10 см	8–38	15–45	16–46	7–37			
1.3	Цементобетонне покриття	27	25	24	23			
	Нетканый матеріал							
	Укріплення	23	20	20	21			
	Морозозахисний шар згідно DIN 18196	62	40	41	43			
	Варіанти товщин, крок 10 см	3–33	10–40	11–41	24–32			
<b>Варіант. Несний шар — асфальтобетон</b>								
2.1	Цементобетонне покриття	26	24	23	22	18	14	16
	Асфальтобетон	10	10	10	22	24	24	24
	Морозозахисний шар	24	24	23	22	24	24	24
	Варіанти товщин, крок 10 см	29–49	31–51	32–52	33–43	29–49	21–41	21–41
<b>Варіант. Щебневий несний шар</b>								
3.1	Бетонне покриття	30	28	27	26			
	Щебневий шар	30	30	30	30			
	Шар з морозостійкого матеріалу							
<b>Варіант. Щебневий несний шар</b>								
4.1	Бетонне покриття					22	20	18
	Морозозахисний шар					22	20	18
	Варіанти товщин, крок 10 см					33–53	25–45	27–37

Як видно з даних табл. 2 у каталозі конструкцій Німеччини, для подібних умов використовується цементобетон товщиною 26 см. На основі із пісного бетону товщиною 18 см. Під пісним бетоном нормується загальний модуль пружності 120 МПа. Ґрунтова основа повинна мати модуль пружності не менше 45 МПа. Товщина шарів основи (морозозахисні шари) від 25 см до 45 см.

### Варіанти конструкцій жорсткого дорожнього одягу (Польща)

Подібні конструкції наведені в каталозі республіки Польща (табл. 3).

Основа: пісний бетон.

Розрахункове навантаження 100 кН.

Розрахункове навантаження 115 кН.

*Таблиця 3*

#### *Приклади конструкцій бетонних покриттів із польського каталогу*

Ч. ч.	Категорія	KR 1	KR 2	KR 3	KR 4	KR 5	KR 6	KR 7
Ч. ч.	Проходи осі навантаження еквівалентного 10 т, млн	< 0,15	0,15–0,75	0,75–6,39	6,39–15,99	15,99–42,63	42,63–101,25	> 101,25
	Проходи осі навантаження еквівалентного 11,5 т, млн	< 0,06	0,06–0,28	0,28–2,40	2,40–6,00	6,00–16,00	16,00–38,00	> 38,00
Тип II	Цементобетонне покриття	19	20	21	23	25	27	29
	Асфальтобетон	8	8	8	8	10	10	10
	Мінімальний модуль пружності, МПа	80	80	100	100	120	120	120
	Армування	ні	ні	так	так	так	так	так
Тип III	Цементобетонне покриття	17	19	22	23	25	27	29
	Ресайклінг/ЩПС, оброблена цементом/комплексним в'язучим марки М 40 – М 60	12	12	15	16	18	18	22
	Укріплена основа, морозозахисний або дренажний шар							
	Мінімальний модуль пружності, МПа	100	100	120	120	120	120	150

У цьому каталозі в якості верхнього шару покриття використовують шар із цементобетону. Цементобетонні плити, залежно від категорії автомобільної дороги можуть бути: незв'язні або зв'язні із шаром основи або безперервно армовані.

Для категорій автомобільних доріг KR1 і KR2 застосовують неармовані цементобетонні плити. Для категорій KR3, KR4, KR5, KR6 і KR7 використовують дюбелі в зазорах (поперечні) та анкери в поздовжніх стиках. Для будівництва покриттів з рухом KR7 і основ із суміші, укріпленої гідравлічним в'язучим, використовують бетонну плиту із суцільним армуванням, без зазорів та компенсаторів.

#### **Варіанти ремонтних рішень**

– З метою усунення або зменшення поверхневих руйнувань глибиною 50 мм або та для забезпечення хорошого зчеплення шару покриття з основою часто застосовують фрезерування існуючого асфальтобетонного покриття.

– Мінімум 75 мм асфальтобетону повинно залишитися після фрезерування.

– У деяких випадках потрібен ямковий ремонт.

– За температури поверхні асфальтобетонного покриття 49 °С і більше у процесі влаштування підсилення, її потрібно зволожувати водою.

– Чистота поверхні має вирішальне значення для досягнення адекватного зв'язку між підсиленням і нижче лежачим асфальтобетоном.



- Відповідний розмір плити встановлюють по відношенню до товщини цементобетонного підсилення.
- Поперечні шви нарізають на глибину 1/3 товщини (Т/3) (з особливою увагою до подовження підсилення над асфальтовими коліями й іншими немонолітними місцями).
- Коли це можливо, поздовжні шви влаштовують, щоб вони були поза смугою накату.
- На асфальтобетонній поверхні не потрібно залишати помітного зачищення або відшарування поверхні після фрезерування.
- При тонких шарах підсилення крок між деформаційними швами менший, що може вимагати додаткові пропили.
- Потрібно приділяти значну увагу догляду за свіжоукладеним цементобетоном, особливо по краях плит.
- Заповнення швів підвищує довговічність.

### **Процес підсилення**

Проект підсилення передбачає оцінку стану покриття, проектування, будівництво і догляд за влаштованим покриттям.

Технологія виконання робіт при ремонті асфальтобетонного покриття шарами із цементобетону включає такі етапи:

- підготовчі роботи;
- основні роботи з влаштування підсилення шаром із цементобетону;
- додаткові роботи.

### **Підготовчі роботи**

Підготовку асфальтобетонного покриття до підсилення шарами із цементобетону виконують ретельно, так як від неї багато в чому залежить довговічність всієї конструкції дорожнього одягу. Вимоги до підготовки покриття встановлюють залежно від ступеня його руйнування, міцності дорожнього одягу та методу підсилення.

Перед виконанням підготовчих робіт розглядають результати обстеження і дані випробування дорожнього одягу, отримані відповідно до вимог [12].

При обстеженні визначають вологість ґрунтової основи, рівень ґрунтових вод, причини перезволоження при його наявності. Розробляють проект капітального ремонту, у якому потрібно значну увагу приділити питанням водовідведення і дренажування.

Осушення основи, ремонт або влаштування водовідвідних систем є першочерговими роботами при підготовці асфальтобетонного покриття до підсилення.

Підготовка асфальтобетонного покриття включає розмітку місць з найбільш імовірною появою відображених тріщин на поверхні шару підсилення і фрезерування поверхні старого покриття.

Розмітку місць з найбільш імовірною появою відображених тріщин на поверхні шару підсилення виконують за допомогою кілочків на брівці земляного полотна.

Використовують два варіанти фрезерування поверхні асфальтобетонного покриття:

- фрезерування на глибину, яка дорівнює товщині шару підсилення, що влаштовується;
- фрезерування на глибину деформацій покриття (максимальну глибину колії, вибоїн).

Фрезерування забезпечує вирівнювання поверхні старого асфальтобетонного покриття та створення шорсткої текстури поверхні.

Закладення тріщин здійснюють після фрезерування асфальтобетонного покриття згідно з методичними рекомендаціями по ремонту та утриманню автомобільних доріг загального користування.

### **Основні роботи з влаштування підсилення шаром із цементобетону**

До основних робіт відносять:

- приготування цементобетонної суміші;

– постачання та монтаж арматурних сіток (каркасів), якщо їх застосування передбачено проектом;

- постачання цементобетонної суміші до місця укладання;
- розподілення цементобетонної суміші розподільником;
- ущільнення, формування і обробка шару бетонної суміші;
- нанесення шорсткості на поверхню свіжоукладеного цементобетону.

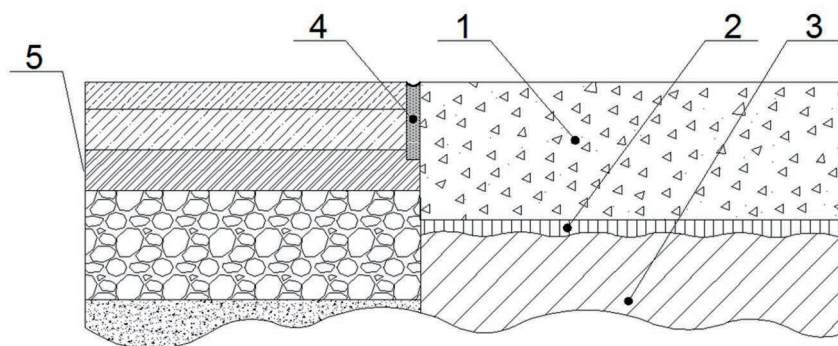
### Додаткові роботи

До додаткових робіт відносять:

- догляд за свіжоукладеним цементобетоном;
- нарізання швів;
- влаштування робочого шва (при необхідності);
- герметизація швів.

Під час влаштування шарів жорсткого дорожнього одягу з використанням бетонних сумішей, що задовільняють вимозі відповідних нормативних документів, необхідно дотримуватись вимог до технологічних процесів застосування бетонних сумішей згідно з ДСТУ-Н Б В.2.3-36 [3].

Стиковка цементобетонного покриття з існуючим асфальтобетонним на межі ділянки, що ремонтується, виконується з нарізанням шва на глибину половини товщини цементобетонного покриття. Схема сполучення існуючого асфальтобетонного покриття з шаром посилення з цементобетону наведена на рис. 7.



- 1 — шар посилення із цементобетону; 2 — шар цементного клею / розділовий прошарок;  
3 — відфрезероване асфальтобетонне покриття або шар вирівнювання; 4 — шов, заповнений бітумною мастикою; 5 — існуючий дорожній одяг

**Рисунок 7** — Схема сполучення асфальтобетонного покриття з шаром посилення із цементобетону

Відкривати рух автомобільного транспорту по цементобетонному шару посилення допускається при наборі міцності цементобетону не менше ніж 70 % від проектної міцності.

Для різних розрахункових схем роботи асфальтобетонних шарів дорожнього одягу під бетонними покриттями, з метою визначення температурних напружень, встановлені залежності для розрахунку зміни температурних полів у шарах покриття та основи. Для визначення температури шарів на будь-якій глибині у будь-який момент часу можна використовувати закони Фур'є, які враховують гармонійний закон зміни температури по глибині.

Результати досліджень може бути використано під час перегляду таких нормативних документів [12], в частині врахування зміни температурного режиму в конструкції дорожнього одягу.

За результатами теоретичних досліджень уточнено температурний режим роботи асфальтобетонних шарів під цементобетонною плитою.

У подальшому необхідно виконати уточнюючі розрахунки температури по глибині асфальтобетонного шару основи в різних дорожньо-кліматичних зонах для різних категорій автомобільних доріг.

### Висновки

За результатом аналізу по даній тематиці можливо зробити наступні висновки:

- цементобетон можна застосовувати не тільки під час будівництва нових дорожніх одягів, а і для капітального ремонту існуючих нежорстких дорожніх одягів;
- цементобетонне покриття здатне витримувати значні навантаження, в зв'язку з чим строк його експлуатації значно не залежить від інтенсивності та складу транспортного потоку. Проте дані результати потребують практичного багаторічного дослідження;
- для оптимальної роботи конструкції необхідно забезпечити міцне зчеплення між шарами асфальтобетону та цементобетону;
- враховуючи, що під час влаштування цементобетонного покриття в якості основи використовується зношений асфальтобетонний шар з різноманітними деформаціями та нестабільною товщиною, перспективним є застосування різноманітних типів фібри. Доцільність використання фібри та матеріалу, з якого її виготовляють, потребує проведення практичних досліджень;
- вирівнювання існуючого асфальтобетонного покриття шляхом влаштування додаткового шару або його фрезування є необхідною умовою забезпечення міцності конструкції. При фрезуванні необхідно враховувати загальну товщину асфальтобетону, щоб забезпечити максимально можливий модуль пружності нежорсткої конструкції;
- довжина кроку влаштування температурних швів залежить від товщини цементобетонної плити.

Оптимальним поєднанням у конструкціях дорожніх одягів асфальто- та цементобетонну є використання асфальтобетону товщиною близько 10 см в якості основи під жорстку цементобетонні плиту при новому будівництві.

Капітальний ремонт нежорстких дорожніх одягів із застосуванням цементобетонну при розвиненій матеріально-технічній базі дорожнього господарства дозволить істотно (на 10–15 років) збільшити міжремонтний строк його служби.

При ремонті цементобетонних покриттів із застосуванням асфальтобетону в якості захисного шару доцільно тільки при влаштуванні тріщиноперериваючого прошарку та товщині шару близько 10 см.

### Список літератури

1. Богданович С.В., Киселев В.В. Бетон: дороже, но дешевле: [о строительстве второй Минской кольцевой автодороги: беседа со специалистами БелдорНИИ]. *Транспортный вестник*. Минск, 2014. № 39. С. 8-9.
2. Александров Д.Ю., Бураков В.П. О перспективе применения технологии whitetopping при капитальном ремонте автомобильных дорог Республики Беларусь. *Архитектура, строительство, транспорт: материалы научно-практической конф. (к 85-летию ФГБОУ ВПО «СибАДИ»)*. Омск, 2015. С. 8-12.

3. ДСТУ-Н Б В.2.3-36:2016 Настанова з влаштування жорсткого дорожнього одягу. Київ, 2017. 30 с. (Інформація та документація).
4. Гамеляк І.П., Шургая А.Г., Якименко Я.М., Чиженко Н.П., Карпюк О.А. Порівняння сучасних добавок для високоміцного дорожнього бетону. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2014. Вип. 92. С. 38-49.
5. Гамеляк І.П., Корецький А.С., Корецький С.С. Про необхідність будівництва цементобетонних покриттів в Україні. *Автошляховик України*. Київ, 2013. № 5 (201). С. 24–26.
6. Гамеляк І.П., Якименко Я.М. Аналіз впливу метеорологічних факторів на роботоздатність конструкції дорожнього одягу. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2008. Вип. 75. С. 336-340.
7. МР В.2.7-37641918-885:2017 Методичні рекомендації щодо забезпечення надійності конструкцій жорстких дорожніх одягів автомобільних доріг при використанні високоміцного цементобетону. Київ, 2017. 66 с. (Інформація та документація).
8. Harrington, Dale & Fick, Gary & Bordelon, Amanda & Cable, James & DeGraaf, Dan & Parkes, Nigel & Riley, Randell & Rodden, Rob & Roesler, Jeff & Vandenbossche, Julie. *Guide to Concrete Overlays: Sustainable Solutions for Resurfacing and Rehabilitating Existing Pavements* (3rd edition). Washington, 2014. 145 p. DOI: 10.13140/RG.2.1.3106.4724.
9. Haifang Wen, P.E., Xiaojun Li, Wilfung Martono. Performance assessment of wisconsin's whitetopping and ultra-thin whitetopping projects. *Performance assessment of whitetopping and wisconsin highway research program*. Washington, 2010. 133 p. URL: <https://wisconsin.gov/documents2/research/08-10-final-report.pdf> (дата звернення: 04.06.2020).
10. Michael S. Townes, Joseph H. Boardman, Robert E. Skinner NCHRP SYNTHESIS 338, Thin and Ultra-Thin Whitetopping, *A Synthesis of Highway Practice, National cooperative highway research program*. Washington, 2004. 87 p. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/2ba2/34dbe5ca48bc1932dac07d6fe56aac47bb00.pdf> (дата звернення: 04.06.2020).
11. Гамеляк І.П., Якименко Я.М. Дослідження фізико-механічних властивостей асфальтобетону в залежності від температури і швидкості деформування. *Автошляховик України*. Київ, 2009. № 6. С. 12-15.
12. ГБН В.2.3-37641918-557:2016 Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування. 2016. 74 с. (Інформація та документація).

### References

1. Bogdanovich S.V., Kiselev V.V. Beton: dorozhe. no deshevle: [o stroitelstve vtoroy Minskoy koltsevoy avtodorogi: beseda so spetsialistami BeldorNII] (Beton: more expensive, but cheaper: [about the construction of the second Minsk ring road: conversation with BeldORNI specialists]). *Transportnyy vestnik*. Minsk, 2014. N 39. P. 8-9. [in Russian].
2. Alexandrov D.Yu., Burakov V.P. O perspektive primeneniya tekhnologii whitetopping pri kapitalnom remonte avtomobilnykh dorog Respubliki Belarus (On the prospect of applying whitetopping technology in major repairs of highways of the Republic of Belarus). *Architecture, construction, transport: materials of scientific and practical conf. (to the 85th anniversary of FGBOU IDP «Sibadi»*). Omsk, 2015. P. 8–12 [in Russian].
3. DSTU-N B V.2.3-36:2016 Nastanova z vlashtuvannia zhorstkooho dorozhnoho odiahu (State Standard of Ukraine (DSTU-N B V.2.3-36:2016) Guidelines on rigid pavement construction). Kyiv, 2017. 30 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
4. Gameliak I.P., Shurgaya A.G., Yakimenko Y.M., Chyzenko N.P., Karpiuk O.A Porivniannia

suchasnykh dobavok dlia vysokomitsnoho dorozhnogo betonu (Comparison of modern additives for high-strength road concrete). *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. Kyiv, 2014. N 92. P. 38-49 [in Ukrainian].

5. Gameliak I.P., Koretsky A.S., Koretsky S.S. Про необхідність будівництва цементобетонних покриттів в Україні (On the need to build cement concrete coatings in Ukraine). *Avtošljachovyk Ukraïny*. Kyiv, 2013. Iss. 5 (201). P. 24-26 [in Ukrainian].

6. Gameliak I.P., Yakimenko Y.M. Analiz vplyvu meteorolohichnykh faktoriv na robotozdatnist konstruktsii dorozhnogo odiahu (Analysis of the influence of meteorological factors on the roadworthiness of the construction of pavement). *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. Kyiv, 2008. Iss. 75. P. 336-340 [in Ukrainian].

7. MR B.2.7-37641918-885:2017 Metodychni rekomendatsii shchodo zabezpechennia nadiinosti konstruktsii zhorstkykh dorozhnykh odiahiv avtomobilnykh doroh pry vykorystanni vysokomitsnoho tsementobetonu (Methodical recommendations (MR B.2.7-37641918-885:2017) Guidelines for ensuring the reliability of rigid road structures of highways when using high-strength cement concrete). Kyiv, 2017. 66 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

8. Harrington, Dale & Fick, Gary & Bordelon, Amanda & Cable, James & DeGraaf, Dan & Parkes, Nigel & Riley, Randell & Rodden, Rob & Roesler, Jeff & Vandenbossche, Julie. Guide to Concrete Overlays: Sustainable Solutions for Resurfacing and Rehabilitating Existing Pavements (3rd edition). Washington, 2014. 145 p. DOI: 10.13140/RG.2.1.3106.4724 [in English].

9. Haifang Wen, P.E., Xiaojun Li, Wilfung Martono. Performance assessment of wisconsin's whitetopping and ultra-thin whitetopping projects. *Performance assessment of whitetopping and wisconsin highway research program*. Washington, 2010. 133 p. URL: <https://wisconsindot.gov/documents2/research/08-10-final-report.pdf> (Last accessed: 04.06.2020) [in English].

10. Michael S. Townes, Joseph H. Boardman, Robert E. Skinner. NCHRP SYNTHESIS 338, Thin and Ultra-Thin Whitetopping, *A Synthesis of Highway Practice, National cooperative highway research program*. Washington, 2004. 87 p. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/2ba2/34d6e5ca48bc1932dac07d6fe56aac47bb00.pdf> (Last accessed: 04.06.2020) [in English].

11. Gameliak I.P., Yakimenko Y.M. Doslidzhennia fizyko-mekhanichnykh vlastyvostei asfaltobetonu v zalezhnosti vid temperatury i shvydkosti deformuvannia (Investigation of the physical-mechanical properties of asphalt concrete as a function of temperature and deformation rate). *Avtošljachovyk Ukraïny*. Kyiv, 2009. N 6. P. 12-15 [in Ukrainian].

12. GBN B.2.3-37641918-557:2016 Avtomobilni dorohy. Dorozhni odiah zhorstkyi. Proektuvannia (Industry building codes (GBN B.2.3-37641918-557:2016) Highways. Rigid pavement. Designing. 2016. 74 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Ihor Gamelyak<sup>1</sup>, Dr.Sc., Prof., <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>

Andrii Dmytrychenko<sup>1</sup>, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0001-9238-9276>

Vasyl Nagaychuk<sup>2</sup>, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0001-9238-9276>

Vitalii Raikovskiy<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-6391-7647>

Mykola Bykovets<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-7490-7479>

<sup>1</sup> National Transport University, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

### **FEATURES OF ROAD PAVEMENT REINFORCEMENT TECHNOLOGY WITH CEMENT CONCRETE LAYERS**

#### **Abstract**

**Introduction.** The national project “Big Construction” provides the restoration of more than 6,000 km of roads in 2020. Taking into account the unsatisfactory condition of the vast majority of public roads and the need to reinforce them, there is a need to use modern technologies that allow maximum using the existing pavement designs as a basis and reinforce them while ensuring high quality roads and their durability. Such technologies should open a real prospect of increasing the transit attractiveness of our country and eliminate the need to introduce seasonal restrictions on the passage of HGV. The technology of «whitetopping» is used in order to ensure greater reliability of existing pavements, even with increased loads on the pavement and the restoration of existing roads with asphalt pavement.

**Purpose.** Repair and reinforcement of non-rigid pavement using the «whitetopping» technology.

**Results.** The result of the work is to determine the features of the road pavement reinforcement technology with cement layers and to establish the possibility of using the «whitetopping» technology for the restoration of public roads.

**Conclusions.** «Whitetopping» technology is the optimal combination of asphalt and cement concrete in pavement structures. Under certain conditions, it allows effectively using the existing non-rigid pavements as a basis for cement layers, reinforce them and increase the durability of such pavements.

**Keywords:** whitetopping, asphalt concrete, concrete, road pavement, cement concrete.

УДК 625.7/.8

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

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

## **ЙМОВІРНІСНО-ГЕОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ОБМЕЖЕНОГО ВМІСТУ ФРЕЗЕРОВАНОЇ КРИХТИ В СКЛАДІ ЩЕБЕНЕВО-ПІЩАНОЇ СУМІШІ, УКРІПЛЕНОЇ КОМПЛЕКСНИМ В'ЯЖУЧИМ**

### **Анотація**

**Вступ.** У роботі розглядається питання можливості повторного використання асфальтобетонної крихти в кількості до 40 % для виготовлення щебенево-піщаної суміші укріпленої комплексним в'язучим.

**Проблематика.** При ремонті автомобільних доріг, особливо місцевого значення, стикаються з проблемою недостатньої кількості фрезерованої крихти для приготування суміші фрезерованої обробленої в'язучим за методом холодного ресайклінгу відповідно до [1, 2]. Постає питання, як раціонально використати обмежену кількість (менше 40 %) фрезерованої крихти, яку будівельники можуть отримати при ремонті дорожнього одягу.

**Мета.** Пошук можливості застосування фрезерованої крихти для виготовлення щебенево-піщаної суміші укріпленої комплексним в'язучим.

**Методи дослідження.** Аналітично-експериментальний з використанням залежностей ймовірно-геометричного підходу до аналізу структур.

**Результати.** У роботі за допомогою ймовірно-геометричного підходу виконаний аналіз формування структури, яка ймовірно буде утворена при обмеженому вмісті фрезерованої крихти (до 40 % за масою). Визначено, що за такої кількості крихти буде формуватись безконтактний каркас.

**Висновки.** Проведені дослідження дозволили встановити, що припустимо вводити у склад щебенево-піщаної суміші укріпленої комбінованим в'язучим обмежений вміст фрезерованої крихти. Отримане рішення дозволить знизити вартість суміші та вирішити питання утилізації бітумомістких матеріалів, що позитивно вплине та екологічну безпеку регіону.

**Ключові слова:** безконтактний каркас, ймовірно-геометричний підхід, комбіноване в'язуче, щебенево-піщана суміш, фізико-механічні показники, фрезерована крихта.

### **Вступ**

Досвід влаштування шарів із фрезерованої асфальтобетонної крихти (далі — фрезерована крихта), обробленої комплексним в'язучим відповідно до [1, 2] показав, що дане рішення є прогресивним, оскільки дозволяє повторно використовувати значну кількість фрезерованої крихти з одночасним суттєвим підвищенням фізико-механічних характеристик дорожнього одягу, який ремонтують.

Разом із тим, на багатьох об'єктах, особливо при ремонті автомобільних доріг місцевого значення, стикаються з проблемою недостатньої кількості фрезерованої крихти для приготування суміші фрезерованої обробленої в'язучим (далі — СФОВ) відповідно до [1, 2]. Постає питання, як ефективно використати фрезеровану крихту, при ремонті дорожнього одягу, якщо її кількість обмежена і становить менше 40 %.

## Основна частина

Досвід влаштування шарів із фрезерованої суміші, обробленої комплексним в'язучим показав, що високі фізико-механічні показники досягаються за рахунок оброблення суміші комбінацією в'язучих, як правило це водні розчини цементу (цементно-водна суспензія) та бітуму (емульсія бітумна катіонна), з одночасною оптимізацією зернового складу, шляхом додавання потрібної кількості фракцій мінерального заповнювача.

Однак, як вже відмічалось на цілому ряді об'єктів, особливо при ремонті автомобільних доріг місцевого значення, стикаються з проблемою недостатньої кількості фрезерованої крихти для приготування суміші фрезерованої обробленої в'язучим.

Наприклад: існуюча конструкція має покриття з асфальтобетону товщиною 5 см та основу з шару щебеню, влаштованому за технологією заклинки чи просочення. Доцільно використати крихту з асфальтобетону, але для влаштування шару із фрезерованої суміші обробленою в'язучим товщиною 16 см такої кількості асфальтобетонної фрезерованої крихти необхідно додавати понад 60 % за масою нового мінерального матеріалу. Додавання такої кількості нового кам'яного матеріалу вже формує матеріал, який не може розглядатись як СФОВ. Згідно з [ 1 , 2 ] СФОВ — це оброблена в'язучим матеріалом фрезерована суміш, що містить фрезерований матеріал та добавку нового мінерального матеріалу (при потребі); а матеріал мінеральний новий – це природного або штучного походження кам'яний матеріал та пісок, які додаються для оптимізації зернового складу фрезерованої суміші.

Отже, коли фрезерованої крихти менше 40 % постає питання щодо його повторного використання при ремонті дорожнього одягу і у більшості випадків фрезерована крихта використовується для виконання другорядних робіт (підсіпка узбіч тощо), а не для влаштування конструктивних шарів при ремонті або реконструкції дорожнього одягу.

Слід зауважити, що такої проблеми не виникає, коли ми розглядаємо питання повторного використання фрезерованої асфальтобетонної крихти за методом гарячого ресайклінгу [3, 4], де оптимальна кількість фрезерованої крихти визначається, виходячи з балансу тепло-масообміну та аналізу ймовірності утворення безперервного кластеру з гранул фрезерованого матеріалу. Згідно з рішеннями вище вказаних задач встановлено, що оптимальна кількість використання фрезерованої асфальтобетонної крихти за методом гарячого ресайклінгу становить від 20 % до 40 % за масою [5].

Виходячи з ймовірно-геометричного підходу [6–8], розглянемо задачу щодо формування просторових структур із дисперсних гранул, якими в нашому випадку виступає фрезерована крихта, у композитному матеріалі, що складається зі щебеню та піску, оброблених комбінованим в'язучим.

Композит який ми розглядаємо — це бінарна система матриці та заповнювача. Матрицею виступає розчин піску (відсіву) обробленою комбінацією в'язучих: цементу та бітуму. Заповнювач у даному випадку — «новий» щебінь та гранули асфальтобетонної крихти. На відміну від «нового» щебеню, гранули асфальтобетонної крихти це «старий» щебінь оброблений органічним в'язучим з обмеженим вмістом мінерального порошку, піску тощо.

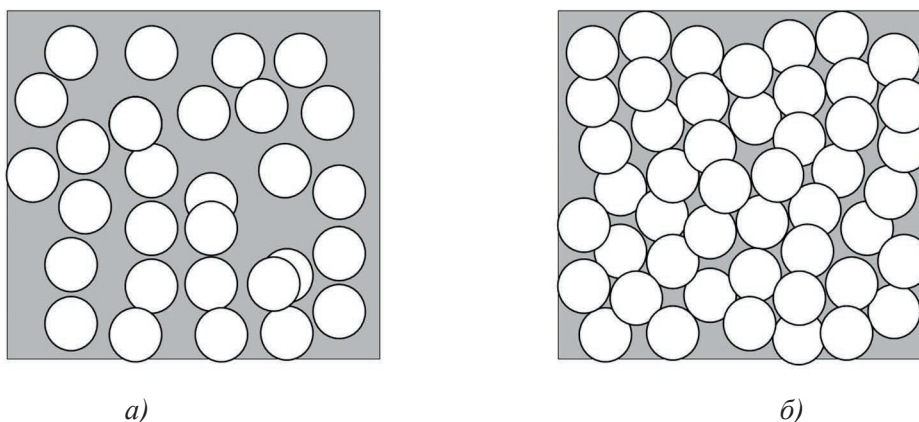
Вихідна система це щебенево-піщана суміш, яка побудована як каркасна дисперсна система, пори в якій заповнені дрібними складовими. У дисперсній системі каркас є сталим [9, 10] коли вміст його елементів становить близько 0,60 від об'єму.

Кількість гранул, яку ми плануємо додавати набагато менша і можна бачити, що сталого каркасу вони не утворюють. Згідно рішення І. Палашті [11] та розрахунків за методом Монте-Карло відомо, що обсяг одномірних дисперсних елементів 0,38–0,42 утворює у просторі безконтактний каркас (рис. 1, а). Далі, при наповненні системи подібними дисперсними елементами, відбувається формування вже контактного каркасу (рис.1, б).



Відповідно, до вище наведених залежностей, при кількості гранул з асфальтобетонної крихти до 0,4 від об'єму, у системі буде утворюватись безконтактний каркас. Далі, при подальшому поступовому наповненні системи зернами щебеню — буде утворюватись контактний каркас 0,6 від об'єму.

Всі елементи каркасної системи (заповнювач), обробляються матрицею і таким чином формується композит. Матриця складається з дрібного кам'яного матеріалу (пісок або відсів) оброблені комбінацією в'язучих: цементу (цементно-водна суспензія) та бітуму (емульсія бітумна катіонна). Такий підхід проектування дозволяє отримати композитний матеріал із високими фізико-механічними властивостями.



**Рисунок 1** — Невпорядковані і безконтактна (а) та контактна (б) упаковка дисперсних елементів у просторі

Можна припустити, що обмежена кількість гранул тільки опосередковано впливає на фізико-механічні властивості композитної системи, оскільки рівномірно розподілені в об'ємі гранули між собою не контактують і вони є складовою контактного каркасу.

Були розглянуті вимоги до фізико-механічних властивостей щебенево-піщаної суміші, укріпленої комбінованим в'язучим [12, 13, 14] та органо-мінеральної суміші із фрезерованої крихти, укріпленої комбінованим в'язучим [1, 2]. Аналіз показав, що вимоги до марок матеріалів близькі, а тому забезпечити їх, при обмеженому вмісті асфальтобетонної крихти (до 40 % за масою) імовірно.

Для підтвердження даного положення проведені пошукові дослідження. Визначали фізико-механічні показники ЩПС-40 марки МК20 на 28 добу згідно з [12] з додаванням фрезерованої асфальтобетонної крихти в кількості 20 % за масою.

**Таблиця 1**

**Підбір складу ЩПС-40 з додаванням фрезерованої крихти**

Фракція, мм	Повний залишок, у відсотках			Вимоги [12]
	80 % ЩПС-40	20 % фрезеровна крихта	100 % комбінована суміш	
1	2	3	4	5
40	3,7	–	3	0–10
20	19,6	6,5	26,1	10–40

*Кінець таблиці 1*

1	2	3	4	5
10	41,8	9,6	51,4	35–65
5	54,3	14,0	68,3	50–80
2,5	57,8	16,3	74,1	60–85
1,25	60,1	17,4	77,5	70–90
0,63	67,1	18,6	85,7	75–95
0,315	70,4	19,2	89,6	80–97
0,14	73,9	19,7	93,6	85–98
0,071	77,0	19,8	96,8	87–99

*Таблиця 2*

**Склад ЩПС-40 із додаванням фрезерованої крихти**

Компоненти суміші	Вміст, % за масою
ЩПС-40	80
Фрезерована крихта	20
Емульсія бітумна ЕКП-60	2,6
Цемент ПЦ - 400	3,5
Вода технічна	3
Усього	109,1

*Таблиця 3*

**Фізико-механічні властивості ЩПС-40 марки МК20**

Назва показника	Результати випробування	Вимоги [12]
Границя міцності під час стискання зразків, МПа, за температури:		
20 °С	2,93	не менше ніж 2,0
50 °С	1,32	не менше ніж 0,8
Водостійкість за тривалого водонасичення	0,68	не менше ніж 0,65
Водонасичення, % за об'ємом	6,80	не більше ніж 9,0
<b>Примітка.</b> Зразки випробували у віці 28 діб.		

Проведені лабораторні дослідження показали, що фізико-механічні властивості щебенево-піщаної суміші з обмеженим вмістом фрезерованої крихти з обробленням комбінованим в'язучим забезпечують вимозі [12].

За вище вказаним складом та подібними складами побудовано ряд дослідних ділянок, спостереження за якими показують їх високі експлуатаційні показники.

## Висновки

За результатом ймовірно-геометричного аналізу формування структур із композитних матеріалів розглянута задача про допустиму кількість фрезерованої крихти (гранул), при формуванні композиту із щебенево-піщаної суміші, обробленої комбінованим в'язучим. Встановлено, що при приготуванні суміші введені гранули рівномірно розподіляються по всьому об'єму, а при найбільшій їх кількості до 40 % за масою, із цих гранул формується безконтактний каркас. Проведені лабораторні та польові дослідження дозволили підтвердити теоретично отримане рішення — безконтактний каркас із фрезерованих гранул опосередковано впливає на фізико-механічні властивості композитної системи. А тому, така кількість гранул є припустимою для додавання у склад щебенево-піщаної суміші укріпленої комбінованим в'язучим.

## Список літератури

1. ВБН В.2.3-218-545:2009 Споруди транспорту укріплення та стабілізація шарів дорожнього одягу за методом холодного ресайклінгу. Київ, 2010. 29 с. (Інформація та документація).
2. СОУ 45.2-00018112-061:2011 Будівельні матеріали. Суміші органо-мінеральні дорожні з фрезерованих матеріалів дорожніх одягів, виготовлені за методом холодного ресайклінгу. Технічні умови. Київ, 2011. 25 с. (Інформація та документація).
3. Малеванский Г.В., Головка С.К. Підбір складу асфальтобетонної суміші з частковим використанням старих бітумомістких матеріалів. *Автомобільні дороги та дорожнє будівництво*. Київ, 1988. № 46. С. 46-49.
4. Головка С.К. Рациональні способи повторного використання асфальтобетону при реконструкції автомобільних доріг : дис. ...канд. техн. наук. Київ, 1999. 203 с. (Інформація та документація).
5. Р В.3.2-03450778-877:2017 Рекомендації з підбору складу та застосування бітумомінеральних сумішей з використанням асфальтобетонної крихти. Київ, 2017. 48 с. (Інформація та документація).
6. Радовский Б.С. Вероятностно-геометрический подход к структуре и оценке физико-механических свойств материалов дорожной конструкции. *Новое в проектировании конструкций одежд*. Москва, 1992, с. 37-50.
7. Ефрос А.Л. Физика и геометрия беспорядка. Москва, 1982. 268 с.
8. Шкловский Б.И., Ефрос А.Л. Электронные свойства легированных полупроводников. Москва, 1979. 416 с.
9. Bernal J.D. The structure of liquids. *Nature*. London, 1964. Vol. 280 (1382). P.299-322.
10. Solomon H., Weiner H. A review of the packing problem : technical report. California, 1986. 44 p. URL: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a175007.pdf> (дата звернення: 20.07.2020).
11. Palasti I. On some random space filling problems. *A Magyar Tudományos Akadémia Matematikai Kutató Intézetének közleményei*. Hungary, 1960. Vol. 5 (3). P.353-360.
12. ДСТУ-Н Б В.2.3-39:2016 Настанова з влаштування шарів дорожнього одягу з кам'яних матеріалів. Зміна № 1. Київ, 2017. 17 с. (Інформація та документація).
13. Р В.2.7-37641918-880:2017 Рекомендації з підбору складу та застосування щебенево-піщаних сумішей, оброблених комплексним бітумомінеральним в'язучим. Київ, 2017. 28 с. (Інформація та документація).
14. ТУ У В.2.7-14.2-00018112-266:2006 Суміші цементорганічні бетонні дорожні. Технічні умови. Київ, 2006. 12 с. (Інформація та документація).

**References**

1. VBN V.2.3-218-545:2009 Sporudy transportu ukriplennia ta stabilizatsiia shariv dorozhnoho odiahu za metodom kholodnoho resaiklinhu (Federal building regulations (VBN B.2.3-218-545: 2009) Transport facilities strengthening and stabilization of layers of pavement by the method of cold recycling). Kyiv, 2010. 29 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
2. SOU 45.2-00018112-061:2011 Budivelni materialy. Sumishi orhano-mineralni dorozhni z freezerovanykh materialiv dorozhnikh odiahiv, vyhotovleni za metodom kholodnoho resaiklinhu. Tekhnichni umovy (Standard of organization of Ukraine (SOU 45.2-00018112-061:2011) Building materials. Organo-mineral road mixes from the milled materials of road pavement made by a method of cold recycling. Specifications. Kyiv, 2011. 25 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
3. Malevansky G.V., Golovko S.K. Pidbir skladu asfaltobetonnoi sumishi z chastkovym vykorystanniam starykh bitumomistkykh materialiv (About Selection of asphalt concrete mixture with partial using of old bituminous materials). *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. Vol. 46. Kyiv, 1988. P. 46-49 [in Ukrainian].
4. Golovko S.K. Ratsionalni sposoby povtornoho vykorystannia asfaltobetonu pry rekonstruksii avtomobilnykh dorih (Rational methods of reuse of asphalt concrete in the reconstruction of roads) : dis. ... cand. tech. nauk. Kyiv, 1999. 203 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
5. P B.3.2-03450778 – XXX: 2016 Recommendations for selection of composition and application of bituminous mixtures using asphalt concrete crumb (Information and documentation) [in Ukrainian].
6. Radovsky B.S. Veroiatnostno-heometrycheskyi podkhod k strukture y otsenke fizyko-mekhanycheskykh svoistv materyalov dorozhnoi konstruksii (Probabilistic-geometric approach to the structure and evaluation of physical and mechanical properties of road construction materials). *Novoe v proektyrovannyi konstruksyi odezhd*. Moscow, 1988. P. 37-50. [in Russian].
7. Efros A.L. Fizika i geometriya besporyadka (Physics and geometry of disorder). Moscow, 1982. 268 p. [in Russian].
8. Shklovsky B.I., Efros A.L. Elektronnyye svoystva legirovannykh poluprovodnikov (Electronic properties of doped semiconductors). Moscow, 1979. 416 p. [in Russian].
9. Bernal J.D. The structure of liquids. *Nature*. London, 1964. Vol. 280 (1382). P.299-322 [in English].
10. Solomon H., Weiner H. A review of the packing problem : technical report. California, 1986. 44 p. URL: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a175007.pdf> (Last accessed: 20.07.2020) [in English].
11. Palasti I. On some random space filling problems. *A Magyar Tudományos Akadémia Matematikai Kutató Intézetének közleményei*. Hungary, 1960. Vol. 5 (3). P. 353-360 [in English].
12. DSTU-N B V.2.3-39:2016 Nastanova z vlashtuvannia shariv dorozhnoho odiahu z kamianykh materialiv. Zmina N 1 (State Standard of Ukraine (DSTU-N B V.2.3-39:2016) Guidelines for the arrangement of layers of pavement made of stone materials. Change N 1). Kyiv, 2017. 17 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
13. R V.2.7-37641918-880:2017 Rekomendatsii z pidboru skladu ta zastosuvannia shchebenevo-pishchanykh sumishei, obroblenykh kompleksnym bitumomineralnym viazhuchym (Recommendations (R V.2.7-37641918-880:2017) Recommendations for the selection of the composition and application of gravel-sand mixtures treated with a complex bituminous binder). Kyiv, 2017. 28 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
14. TU U V.2.7-14.2-00018112-266:2006 Sumishi tsemento-orhanichni betonni dorozhni. Tekhnichni umovy (Specifications (TU U V.2.7-14.2-00018112-266:2006) Organic cement-concrete road mixtures. Specifications). Kyiv, 2006. 12 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

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

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

**PROBABLY-GEOMETRIC ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF LIMITED CONTENT OF MILLED CRUSH IN THE COMPOSITION OF CRUSHED AND SAND MIXTURE**

**Abstract**

Introduction. The paper considers the possibility of reuse of asphalt concrete crumb in an amount up to 40 % for the production of crushed stone and sand mixture reinforced with a complex binder.

Problem Statement. At repair of highways, especially of local importance, there is a problem of insufficient amount of milled crumb for preparation of a milled mix treated with binder by cold recycling method according to [1, 2]. The question is how rationally use the limited amount (less than 40 %) of milled crumb which builders can get when repairing the road pavement.

Purpose. Searching for the possibility to use milled crumb for the production of crushed stone and sand mixture reinforced with a complex binder.

Methods of research. Analytical-experimental using the dependencies of probably-geometric approach to analyze the structures.

Results. In the study by the probably-geometric approach the analysis of structure formation is carried out, which probably will be formed at the limited content of milled crumb (up to 40 % by weight). It was determined that at this amount of crumb a non-contact frame, which only indirectly will impact on the physical and mechanical properties of the material will be formed.

Conclusions. The conducted researches allow establishing that it is admissible to introduce the limited content of the milled crumb into the composition of the crushed stone and sand mixture reinforced by the complex binder. The obtained decision allows reducing the cost of a mix and solving a problem of bituminous materials elimination that will positively impact on ecological safety of region.

**Keywords:** non-contact frame, probably-geometric approach, complex binder, crushed stone and sand mixture, physical and mechanical properties, milled crumb.

УДК 625.7/.8

Головко С. К., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-9517-7049>*Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНД»), м. Київ, Україна*

---

**НОВІ ПІДХОДИ У ПІДВИЩЕННІ КАПІТАЛЬНОСТІ  
ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ ПРИ ЇХ РЕМОНТІ****Анотація**

**Вступ.** У роботі розглядається питання підвищення міцності під час ремонту нежорстких дорожніх одягів на слабкій основі шляхом застосування сучасних методів повторного використання дорожньо-будівельних матеріалів.

**Проблематика.** На багатьох об'єктах дорожнього будівництва, особливо під час ремонту автомобільних доріг місцевого значення, інженери-проектувальники стикаються з проблемою низької міцності нижніх шарів основи, включаючи ґрунтову основу. Постає питання, як посилити ці шари і зробити це економічно ефективно, тобто з максимальним повторним використанням матеріалів існуючого дорожнього одягу та застосуванням місцевих матеріалів.

Пошукові дослідження показали, що необхідно передбачати застосування методів стабілізації із використанням жорсткої полімерної ґратки або обробленням малою кількістю в'язучого за методом холодного ресайклінгу. Верхні шари основи влаштовувати з попередньо відфрезерованої асфальтобетонної крихти на стаціонарних змішувачах за методом холодного ресайклінгу.

**Мета.** Пошук можливості посилення нежорстких дорожніх одягів із низькою міцністю нижніх шарів основи, шляхом одночасного застосування стабілізації та холодного ресайклінгу.

**Методи дослідження.** Аналітично-експериментальний із застосуванням комп'ютерного моделювання багатошарової конструкції, розглянута задача про відновлення міцності дорожнього одягу із слабкою основою, включаючи ґрунтову основу.

**Результати.** Встановлено, що нижні шари основи можна посилити за рахунок застосування методів стабілізації із використанням жорсткої полімерної ґратки або обробленням малою кількістю мінерального в'язучого за методом холодного ресайклінгу. Верхні шари основи можна посилити шляхом виготовлення органо-мінеральної суміші з попередньо фрезерованих асфальтобетонних шарів, із подальшим виготовленням суміші на стаціонарному змішувачі.

**Висновки.** Проведені польові дослідження дозволили підтвердити теоретично оптимальні висновки про ефективність запропонованого рішення для відновлення міцності дорожнього одягу із слабкою основою. Отримане рішення дозволить знизити вартість ремонту дорожнього одягу та вирішити питання утилізації бітумомістких матеріалів, що позитивно вплине на екологічну безпеку регіону.

**Ключові слова:** дорожній одяг нежорсткий, жорстка полімерна ґратка, модуль пружності, стабілізація, фрезерована крихта, холодний ресайклінг.

**Вступ**

Досвід ремонту дорожніх одягів із використанням методу холодного ресайклінгу відповідно до [1, 2] показав, що дане рішення є ефективним, оскільки дозволяє суттєво підвищити міцність дорожнього одягу, який ремонтується або реконструюється.

Разом із тим, на багатьох об'єктах, особливо при ремонті автомобільних доріг місцевого значення, інженери-проектувальники стикаються з проблемою низької міцності нижніх шарів основи, включаючи ґрунтову основу. Постає питання, як посилити ці шари і зробити це економічно ефективно, тобто з максимальним повторним використанням матеріалів існуючого дорожнього одягу та застосуванням місцевих матеріалів.

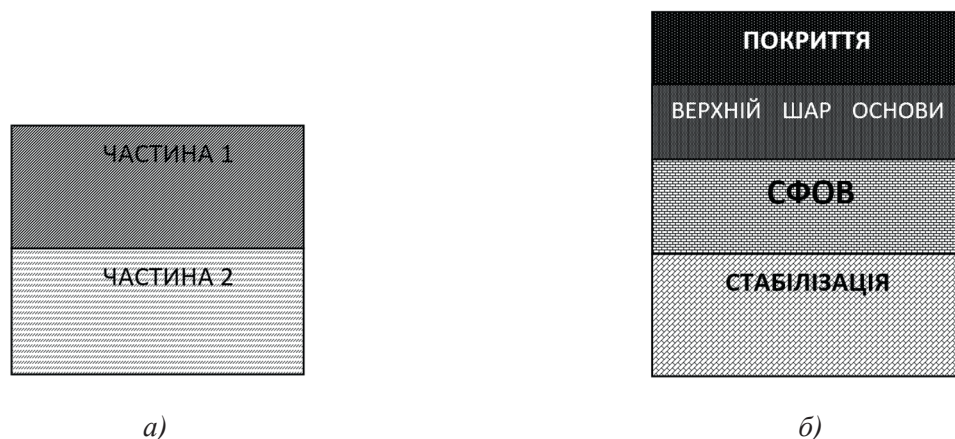
### Основна частина

Інструментальні обстеження дорожніх одягів, що виконували шляхом влаштування шурфів, динамічного зондування, пошарового вимірювання модулів пружності показують, що є багато випадків коли нижні шари основи мають значну неоднорідність, яка може бути як у повздовжньому, так і поперечному напрямках. Ймовірно це виникає за рахунок ремонтних робіт, які проводили з метою посилення або поширення дорожнього одягу. Також фіксуються багато ділянок на яких спостерігається перезволоження ґрунтів земляного полотна або значні зсувні деформації, через недостатню їх щільність.

Традиційно, у таких випадках передбачається розбирання існуючого дорожнього одягу, а нерідко і із заміною верхньої частини земляного полотна. Але постає питання вартості цих робіт, оскільки необхідно виконати розбирання, перевезення та спеціальне складування. Значна частина цих матеріалів містять органічне в'язуче і тому, необхідно передбачити заходи щодо унеможливлення потрапляння органічного в'язучого у ґрунтові води.

За результатом пошукових досліджень пропонується альтернативний підхід у ремонті дорожнього одягу із слабкою основою, який базується на пошаровому відновленні міцності із застосуванням сучасних методів і матеріалів стабілізації ґрунтів та незв'язних матеріалів.

Зцією метою застосовувався метод комп'ютерного моделювання багатошарової конструкції. Розглянемо конструкцію дорожнього одягу яку умовно розділимо на дві частини, де частина 1 складається з декількох бітумомістких шарів, а частина 2 з незв'язних або малозв'язних шарів (рис. 1, а).



**Рисунок 1** — Схеми конструкцій нежорсткого дорожнього одягу до ремонту (а) та після ремонту (б)

Припустимо, що за даними вимірювання на поверхні нижньої частини дорожнього одягу величина модуля пружності коливається від 90 МПа до 40 МПа. Можна зробити висновок, що ділянку автомобільної дороги де основа така неоднорідна, потрібно розбирати і влаштовувати нову

конструкцію. Але припустимо, що ми ліквідуємо наведену неоднорідність у частині 2 (рис. 1, а) і доведемо її міцність на всій протяжності до 90 МПа. Тоді вже не доцільно витратити великі кошти на розбирання, а більш раціонально посилювати цей дорожній одяг.

Раніше, коли дорожньо-будівельні підприємства тільки оснащувались сучасною будівельною технікою втілити на одному будівельному об'єкті застосування холодного ресайклінгу і стабілізацію було не можливо. Проте, за останні десять років, багато дорожньо-будівельних підприємств придбали спеціальні змішувачі типу ДС 50Б, КМА 220 (рис. 2) тощо.



**Рисунок 2** — Виготовлення органо-мінеральної суміші із фрезерованої крихти на стаціонарному змішувачі

Це дозволяє фрезерувати верхні шари дорожнього-одягу на визначену глибину частини 1 (рис 1, а) за один або декілька проходів і перевозити крихту для подальшого виготовлення органо-мінеральної суміші на стаціонарному змішувачі (далі — СФОВ). Нижні шари основи можна посилити за рахунок застосування методів стабілізації (рис 1, б) із використанням жорсткої полімерної ґратки або обробленням малою кількістю мінерального в'язучого за методом холодного ресайклінгу.

Необхідно відмітити, що в Україні питаннями стабілізації займалися ще з середини минулого століття. Цікаві дослідження зі стабілізації ґрунтів для влаштування доріг місцевого значення провів проф. А. К. Біруля (ХНАДУ), а у подальшому — його учень М. Ф. Сасько (ДП «ДерждорНД»). У ДП «ДерждорНД» також досліджували стабілізацію різних кам'яних матеріалів І. З. Духовний, С. З. Харченко, О. М. Руда та В. В. Рудий.

На теперішній час розроблені рішення по стабілізації незв'язних і зв'язних шарів за методом холодного ресайклінгу [1, 2], у тому числі рішення щодо стабілізації кам'яних матеріалів, місцевих матеріалів (металургійний шлак, золошлак, жорства, вапняки, гравій, крупно-уламкові ґрунти тощо) шляхом застосування жорстких полімерних ґраток. Обидва наведених методи є альтернативними, проте кожен доцільно застосовувати в обґрунтованих випадках.

Стабілізація незв'язних шарів жорсткою полімерною геоґраткою ефективна, коли визначено — ґрунтова основа перезволожена. У даному випадку жорстка полімерна ґратка формує безкінечну плиту заданої товщини і властивостей. Далі, за рахунок сформованої просторової споруди вдається сприймати та перерозподіляти напруження на значно більшу площу, і, таким чином, забезпечувати потрібну міцність для влаштування вище влаштованих шарів [3].

Стабілізація шарів за методом холодного ресайклінгу ефективна, коли ґрунти земляного полотна близькі до оптимального зволоження. У даному випадку за рахунок фрезерування і



оптимізації зернового складу (за потреби), обробки суміші в'язучим з добавкою спеціальних домішок (за потреби), перемішування та ущільнення, формується конструктивний шар заданої міцності та товщини, і за рахунок цього ми забезпечуємо потрібну міцність для влаштування вище влаштованих шарів [1, 4].

Для апробації рішення пошарового відновлення міцності дорожнього одягу із застосуванням стабілізації незв'язних шарів жорсткою полімерною геотраткою, за участю автора була запроєктована та побудована дослідна ділянка.

При влаштуванні шурфу на цій ділянці було зафіксовано значне перезволоження ґрунтів (рис. 3). Також були проведені пошарові вимірювання модуля пружності, результати розрахунку наведено на (рис. 4). За даними штампових випробувань розраховано модуль пружності ґрунту.



Рисунок 3 — Вода у ґрунтовій основі дорожнього одягу при влаштуванні шурфу

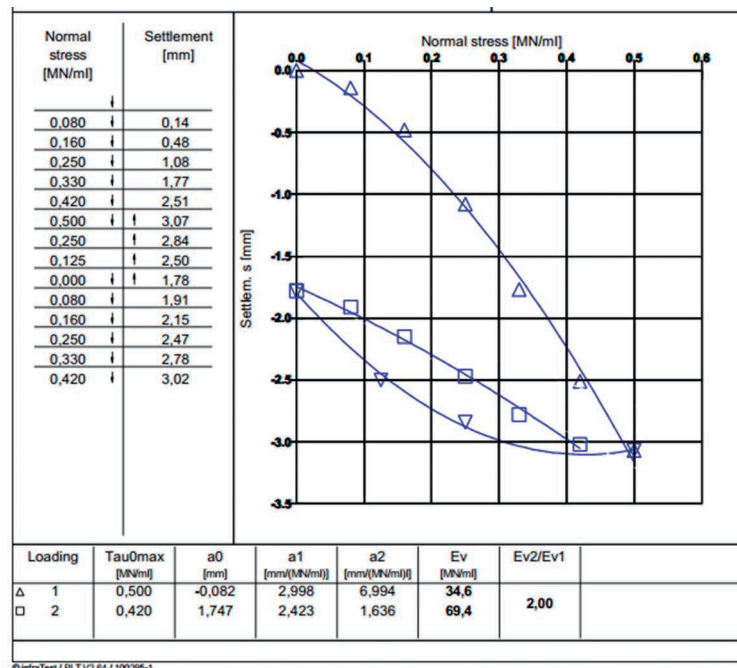


Рисунок 4 — Результати обробки даних штампових випробувань існуючої дорожньої основи

$$E_{\text{сер.осн}} = 60 \text{ МПа}$$

$$h/D = 20/30 = 0,67$$

$$E_{\text{мат}} = 200 \text{ МПа}$$

$$E_{\text{гр}}/E_{\text{мат}} = 0,125$$

$$h_{\text{сер.осн}} = 20 \text{ см}$$

$$E_{\text{гр}} = 0,125 \cdot 200 = 25 \text{ МПа}$$

Визначено, що модуль пружності ґрунту становить 25 МПа.

Згідно з вихідними даними добова розрахункова інтенсивність руху транспортних засобів становить 1 600 авт/добу. Сумарна кількість розрахункового навантаження  $A_2$  згідно з [5] строк служби становить:

$$\sum N_p = 0,7 \cdot N_p \frac{K_c}{q^{(t_{сл}-1)}} T_{рдр} \cdot K_n = 2\,704\,830 \text{ год.}$$

Розрахунковий потрібний модуль пружності на поверхні дорожнього одягу становить 320 МПа, що більше мінімального потрібного згідно з [6]. Тому для розрахунку приймаємо розрахунковий потрібний модуль пружності — 320 МПа.

На етапі конструювання розроблено таку конструкцію дорожнього одягу:

1. Щебенево-мастиковий асфальтобетон ЩМА-15 згідно з ДСТУ Б В.2.7-127:2015 на бітумі, комплексно модифікованому полімерною та адгезійною добавкою, марки БМКП 60/90-65 згідно з ДСТУ Б В.2.7-313:2016 — 4 см.

*Підґрунтовка* — ЕКШМ-60 згідно з ДСТУ Б В.2.7-129:2013 — 0,5 л/м<sup>2</sup>.

2. Асфальтобетон АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І.БНД 60/90 згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011 — 10 см;

*Підґрунтовка* — ЕКШ-60 згідно з ДСТУ Б В.2.7-129:2013 — 1,34 л/м<sup>2</sup>.

3. Суміш фрезерована органо-мінеральна з додаванням нового мінерального матеріалу (30 % за масою), укріплена комплексним в'язучим (3,0 % цементу, 2,0 % бітумної емульсії), марки М 20 згідно з СОУ 45.2-00018112-061:2011 — 16 см.

4. Щебенево-піщана суміш С5 згідно з ДСТУ Б В.2.7-30:2013 — 18 см.

5. Щебенево-піщана суміш С5 згідно з ДСТУ Б В.2.7-30:2013 з армуванням геограткою полімерною жорсткою ГР.Т-2 згідно з ГБН В.2.3-37641918-544:2014 — 20 см.

6. Геотекстиль із міцністю на розтяг не менше ніж 16 кН/м, видовженням при розтягу не більше ніж 60 % згідно з ГБН В.2.3-37641918-544:2014.

7. Ґрунт земляного полотна з надмірним зволоженням.

Далі, був виконаний розрахунок, який показав, що наведена конструкція дорожнього одягу задовольняє вимоги [6]. У табл. 1 наведено результати розрахунку за критерієм «допустимий пружний прогин».

**Таблиця 1**

**Результати розрахунку за критерієм «допустимий пружний прогин»**

$E_i/E_{i+1}$	$h/D$	$E_i$	$E_{\text{потр}}$
—	—	25	—
0,47	1,100	137	—
0,13	0,460	270	—
0,07	0,289	475	—
0,16	0,110	565	320

Визначено величину коефіцієнта міцності:  $K_{\text{міц}} = 565/320 = 1,76$ , який більше ніж нормативний ( $K_{\text{міц}} = 1,43$ ), отже конструкція відповідає вимогам до міцності згідно з вимогами [6].

Для апробації рішення з пошарового відновлення міцності дорожнього одягу із застосуванням стабілізації шарів за методом холодного ресайклінгу була вибрана дослідна ділянка, на якій дорожній одяг був зруйнований.

Для визначення причин руйнування дорожнього одягу проводили інструментальне обстеження шляхом відбирання кернів, зондування земляного полотна та влаштування шурфів.

Відбирання кернів показало, що загальна товщина асфальтобетонних шарів становить від 15 см до 20 см. Оцінку стану земляного полотна виконували методом зондування. За результатами випробувань встановлено, що земляне полотно влаштовано з глинистих ґрунтів з домішками органічних речовин, які суттєво втрачають міцність на зсув при підвищенні їх вологості.

З метою визначення матеріалів, що складають основу дорожнього одягу були влаштовані шурфи (рис. 5). Встановлено, що основа існуючого дорожнього одягу влаштована з використанням гравію та місцевих кам'яних матеріалів, просочених гудроном. Також основа неоднорідна в поперечному перерізі, оскільки наявне розширення дорожнього одягу.

При візуальному та інструментальному обстеженні визначено, що руйнування дорожнього одягу спричинені слабкою і неоднорідною основою та маломіцною ґрунтовою основою.



*Рисунок 5* — Дослідження у шурфу матеріалів існуючого дорожнього одягу

Аналіз інформації щодо складу транспортного потоку та інтенсивності руху показав, що в складі потоку автотранспорту близько 40 % становлять вантажні автомобілів.

За участю автора було запроєктовано конструкцію дорожнього одягу, яку, в подальшому, було побудовано:

1. Асфальтобетон АСГ.Др.Щ.А.НП.І згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011 на бітумі,

комплексно модифікованому полімерною та адгезійною добавкою, марки БМКА 60/90-55 згідно з ДСТУ Б В.2.7-313:2016 — 5 см.

*Підгрунтовка* — ЕКШМ-60 згідно з ДСТУ Б В.2.7-129:2013 — 0,4 л/м<sup>2</sup>;

2. Асфальтобетон АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І.БНД 60/90 згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011 — 10 см.

*Підгрунтовка* — ЕКШ-60 згідно з ДСТУ Б В.2.7-129:2013 — 0,83 л/м<sup>2</sup>.

3. Суміш фрезерована органо-мінеральна з додаванням нового мінерального матеріалу ЩПС С7 у кількості 50 % за масою, укріплена комплексним в'язучим (3,0 % цементу, 2,5 % бітумної емульсії), марки М 20 згідно з СОУ 45.2-00018112-061:2011 — 20 см.

4. Матеріал фрезерований стабілізований (гравійна суміш з додаванням нового мінерального матеріалу ЩПС С7 в кількості 30 % за масою), оброблений мінеральним в'язучим (2,5 % цементу) згідно з СОУ 45.2-00018112-061:2011 — 22 см.

5. Ґрунт земляного полотна з надмірною кількістю органічних домішок.



**Рисунок 6** — Розрахункові характеристики та результати розрахунку

Спостереження за вище наведеними та іншими дослідними ділянками показує їх високі експлуатаційні показники.

### Висновки

За результатом пошукових досліджень із застосуванням комп'ютерного моделювання багат шарової конструкції, розглянута задача про відновлення міцності дорожнього одягу зі слабкою основою, включаючи ґрунтову основу. Встановлено, що при виконанні ремонту необхідно передбачати пошарове фрезерування із роздільним застосуванням крихти.

Для виготовлення органо-мінеральної суміші за методом холодного ресайклінгу повинні використовувати крихту верхніх шарів, із транспортуванням її до стаціонарного змішувача. Нижні

шари основи можна посилити за рахунок застосування методів стабілізації із використанням жорсткої полімерної ґратки або обробленням малою кількістю мінерального в'язучого за методом холодного ресайклінгу. Слід відмітити, що впровадження методів стабілізації дозволяє широко повторно використовувати як матеріали існуючого дорожнього одягу, так і місцеві кам'яні матеріали (металургійний шлак, зола шлак, жорстку, гравій тощо). Проведені польові дослідження дозволили підтвердити теоретично отримані висновки про ефективність запропонованого рішення для відновлення міцності дорожнього одягу зі слабкою основою.

### Список літератури

1. ВБН В.2.3-218-545:2009 Споруди транспорту укріплення та стабілізація шарів дорожнього одягу за методом холодного ресайклінгу. Київ, 2010. 29 с. (Інформація та документація).
2. СОУ 45.2-00018112-061:2011 Будівельні матеріали. Суміші орґано-мінеральні дорожні з фрезерованих матеріалів дорожніх одягів, виготовлені за методом холодного ресайклінгу. Технічні умови. Київ, 2011. 25 с. (Інформація та документація).
3. Vyrozhemskiiy V.K., Golovko S.K. Cold recycling – effective tehnology of restoration of pavements. Kielce, 2004.
4. Головка С.К. Армування - ефективний шлях підвищення працездатності незв'язних шарів дорожнього одягу. *Дорожня галузь України*. Київ, 2012.
5. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина I. Проектування Частина II. Будівництво. Київ, 2015. 104 с. (Інформація та документація).
6. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. Київ, 2019. 69 с. (Інформація та документація).

### References

1. VBN V.2.3-218-545:2009 Sporudy transportu ukriplennia ta stabilizatsiia shariv dorozhnoho odiahu za metodom kholodnoho resaiklinhu (Federal building regulations (VBN V.2.3-218-545:2009) Transport facilities strengthening and stabilization of layers of pavement by the method of cold recycling). Kyiv, 2010. 29 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
2. SOU 45.2-00018112-061:2011 Budivelni materialy. Sumishi orhano-mineralni dorozhni z frezerovanykh materialiv dorozhnikh odiahiv, vyhotovleni za metodom kholodnoho resaiklinhu. Tekhnichni umovy (Standard of organization of Ukraine (SOU 45.2-00018112-061:2011) Building materials. Organo-mineral road mixes from the milled materials of road clothes made by a method of cold recycling. Specifications). Kyiv, 2011. 25 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
3. Vyrozhemskiiy V.K., Golovko S.K. Cold recycling – effective tehnology of restoration of pavements. Kielce, 2004. [in English].
4. Holovko S.K. Armuvannia - efektyvnyi shliakh pidvyshchennia pratsezdatnosti nezv'iaznykh shariv dorozhnoho odiahu (Reinforcement is an effective way to increase the efficiency of incoherent layers of pavement). *Dorozhnia haluz Ukrainy*. Kyiv, 2012. [in Ukrainian].
5. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo (State Building Norms (DBN V.2.3-4:2015) Highways. Part I. Design. Part II. Building). Kyiv, 2015. 104 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
6. HBN V.2.3-37641918-559:2019 Dorozhnii odiah nezhorstkyi. Proektuvannia (Departmental Building Norms (HBN V.2.3-37641918-559:2019) Non rigid pavement. Designing). Kyiv, 2019. 69 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

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

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

**NEW APPROACHES TO INCREASE THE CAPITALITY OF PAVEMENTS  
IN THEIR REPAIR**

**Abstract**

**Introduction.** The paper considers the issue of increasing the strength during the repair of non-rigid pavements on a weak foundation using the modern methods of recycling of road building materials.

**Problem Statement.** At many road facilities, especially during repair of highway of local importance, design engineers face the problem of low strength of the lower layers of the foundation, including soil base. The question is how to strengthen these layers and make it cost-effective, that is with maximum reuse of existing pavement materials and use of local materials.

Research has shown that it is needed to provide the application of stabilization methods using the rigid polymer geogrid or treatment with a small volume of binder by cold recycling method. The upper layers of the foundation should be arranged from pre-milled asphalt concrete crumbs in stationary mixers by cold recycling method.

**Purpose.** Searching for the possibility to strengthen non-rigid pavements with low strength of lower layers of the foundation by simultaneously applying the stabilization and cold recycling.

**Research methods.** Analytical and experimental with the use of computer modeling of a multilayer structure, the issue of the recovery of the strength of pavement with a weak foundation including soil base is considered.

**Results.** It is determined that the lower layers of the foundation can be strengthened by applying stabilization methods using the rigid polymer geogrid or treatment with a small volume of mineral binder by the method of cold recycling. The upper layers of the foundation can be strengthened by producing an organo-mineral mixture from pre-milled asphalt concrete layers, followed by producing the mixture in a stationary mixer.

**Conclusions.** The performed field studies allowed confirming the theoretically obtained decision on the effectiveness of the proposed solution to recover the strength of pavement with a weak foundation. The obtained solution allows reducing the cost of pavement repair and solving the problem of bituminous materials elimination which will positively impact on environmental safety of the region.

**Keywords:** road pavement, rigid polymer geogrid, modulus of elasticity, stabilization, milled crumb, cold recycling.

УДК 691.168

Головченко В. С., <https://orcid.org/0000-0001-5078-8682>Копинець І. В., <https://orcid.org/0000-0002-0908-4795>Малій Т. С., <https://orcid.org/0000-0002-2008-8164>

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

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВТОМИ ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ**

### **Анотація**

**Вступ.** Найважливішим критерієм оцінки якості асфальтобетону, а саме, його здатність чинити опір руйнівній дії транспортних засобів, є втомна міцність. У якості такого критерію використовують кількість циклів, яку витримує асфальтобетон під час згинання з постійними амплітудами навантаження або деформації до відмови.

**Проблематика.** У сучасних умовах збільшення інтенсивності транспортного руху для отримання достовірних результатів оцінювання втомної довговічності асфальтобетонних покриттів необхідно переходити на нові методи випробування асфальтобетону під час багаторазового впливу навантаження від транспортних засобів. До недавнього часу існуюча нормативна база дозволяла провести випробування асфальтобетонів лише на одноразову дію статичних навантажень, що не давало можливості здійснити оцінювання їхньої стійкості до діючих впродовж тривалого часу багаторазових циклічних навантажень. За відсутності обґрунтованих і задокументованих методів випробування неможливо було визначити закономірності втомного руйнування, яке часто встановлюють під час візуального обстеження автомобільних доріг України. З набранням чинності ДСТУ EN 12697-24:2018 (EN 12697-24:2012, IDT) «Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 24. Опір втомі» стало можливим виконати таке оцінювання й отримати достовірну інформацію про експлуатаційні режими навантаження асфальтобетону в дорожньому покритті, результатом яких є встановлення закономірності зміни втомної довговічності матеріалу залежно від характеристик навантажувального та температурного впливів. Таким чином, це дасть змогу виконувати підбір складу асфальтобетонної суміші з урахуванням прогнозованої кількості циклів навантаження, тим самим визначити шляхи підвищення втомної довговічності асфальтобетонних покриттів та забезпечення їхньої надійної роботи в дорожніх конструкціях впродовж розрахункового строку служби.

**Мета.** Експериментальне дослідження втомної довговічності асфальтобетонів, результатом якого є встановлення закономірності зміни втомної довговічності матеріалу залежно від характеристик навантажувального та температурного впливів і розроблення шляхів її підвищення на підставі отриманих результатів.

**Матеріали і методи.** Для експериментального дослідження виготовлено зразки-балочки з гарячих асфальтобетонних сумішей різних типів і випробувано на чотириточкове згинання.

**Результати.** Проведено аналіз інформаційних джерел щодо існуючого досвіду проведення випробування за багаторазового циклічного навантаження. Розроблено прилад для визначення опору втомі асфальтобетону на чотириточкове згинання. Випробувано зразки-балочки з різних типів асфальтобетону та встановлено закономірність зміни втомної довговічності.

**Висновки.** Експериментально підтверджено вплив частоти навантаження на процеси руйнування. Отримані результати надають можливість встановити прогнозований строк служби та оцінити залишковий ресурс дорожньої конструкції.

**Ключові слова:** асфальтобетон, асфальтобетонна суміш, втомна довговічність, дорожнє будівництво, опір втомі, циклічне навантаження, чотириточкове згинання.

### Вступ

Під втомою розуміють процес постійного накопичення залишкових деформацій у матеріалі під впливом змінних навантажень, яке призводить до зміни його властивостей, утворення та розвитку деформацій дорожнього одягу до його руйнування. Втомою довговічністю називають здатність матеріалу чинити опір механічним навантаженням, що багаторазово прикладаються.

Принцип випробування з визначення втоми полягає у процесах, що виникають під час дії навантаження від колес автомобільного транспорту, що в свою чергу призводить до вигину покриття. [1]. Навантаження від одного колеса незначне, але його багаторазове повторення прикладання призводить до появи тріщин, які розповсюджуються від низу до верху дорожнього покриття. Швидкість розповсюдження прямо пропорційна величині деформації в нижній частині [2].

Використовуючи традиційні методи для аналізу втоми, ґрунтуючись на взаємозв'язку між початковими значеннями деформації та числом циклів до руйнування, а також на зниженні початкової міцності суміші на 50 %, можна отримати дві різні оцінки ресурсу втоми відповідно до режимів навантаження, а саме: контрольованого напруження та контрольованої деформації [3, 4].

Режим контрольованого напруження використовують переважно для оцінювання опору втомі жорстких матеріалів і покриттів значної товщини, у той час як режим контрольованої деформації використовують для дослідження звичайних асфальтобетонних сумішей і нежорстких одягів [5]. Однак, тільки повноцінний аналіз може забезпечити отримання достовірних даних щодо втомної довговічності. Тому для визначення закономірностей втоми асфальтобетонів необхідно брати до уваги вплив одразу двох режимів [6, 7]. На теперішній час до таких методів випробування можна віднести: непряме, одновісне, одно-, дво-, три- та чотириточкове згинання [8].

Під час дослідження [9, 10] дійшли до висновків, що на втомну довговічність значною мірою впливає сам метод випробування. Найменше значення втомної довговічності було отримано під час методу на непряме розтягування, що, скоріш за все, було впливом накопичення постійної деформації. Результати циклічних випробувань можуть залежати: від виду впливу (синусоїдального, циклічного у вигляді прямокутника або трикутника); від рівня навантаження щодо нульового значення напруження в зразку; у разі синусоїдального завантаження — від його частоти. Високі частоти навантаження можуть супроводжуватися зростанням температури випробування, як наслідок — зниженням жорсткості асфальтобетону [11].

За методом на чотириточкове згинання підвищення точності та достовірності результатів випробувань асфальтобетонів досягається урахуванням впливу різних факторів (положення зразка-балочки, величини навантаження, часу дії та частоти прикладання навантаження, температури випробування), а руйнування зразка відбувається в області рівномірного згинального моменту [12].

### Основна частина

#### **Метод випробування зразків на чотириточкове згинання**

До асфальтобетонних зразків призматичної форми (зразків-балочок) застосовують чотириточкове згинання до досягнення втоми за допомогою випробувального приладу, в якому внутрішні та зовнішні затискачі розташовано симетрично. Згинання досягають діючим вертикально та під прямим кутом до поздовжньої осі зразка-балочки навантаженням обох внутрішніх точок (внутрішні затискачі). Вертикальне положення кінцевих опор (зовнішні затискачі) має фіксуватися.



На всіх опорах має бути забезпечено вільне обертання та поступальний рух зразків по горизонталі. Дане розміщення навантаження створює постійний момент і, отже, постійне напруження між обома внутрішніми затискачами (рис. 1) [8]. Відповідно до існуючих уявлень про деформацію асфальтобетону в покритті під час лабораторних випробувань обрано синусоїдальний тип навантаження зразка (рис. 2). Цикл включає в себе період навантаження з позитивним знаком, розвантаження, потім навантаження з негативним знаком і розвантаження. Цей метод дозволяє здійснювати контроль частоти та форму коливань, що сприяє спрощенню урахування похибок, обумовлених інерційними силами [13]. Під час випробування необхідно заміряти потрібне для згинання зразка навантаження, прогин і фазове уповільнення між цими двома сигналами як функцію часу. На підставі даних вимірювання визначають втомні властивості випробувального матеріалу.

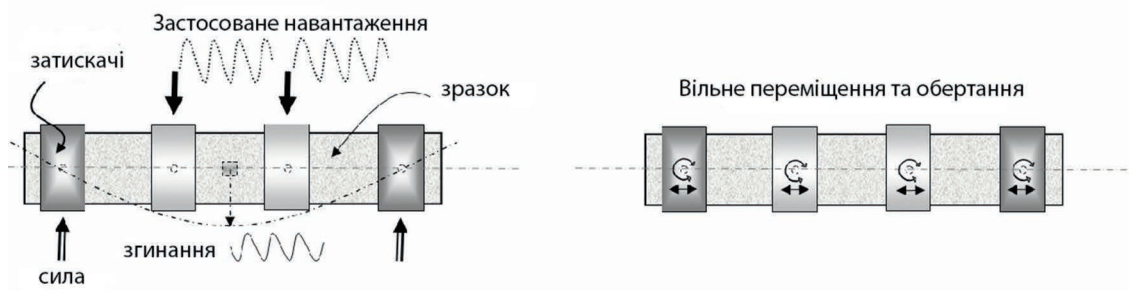


Рисунок 1 — Схема закріплення зразка

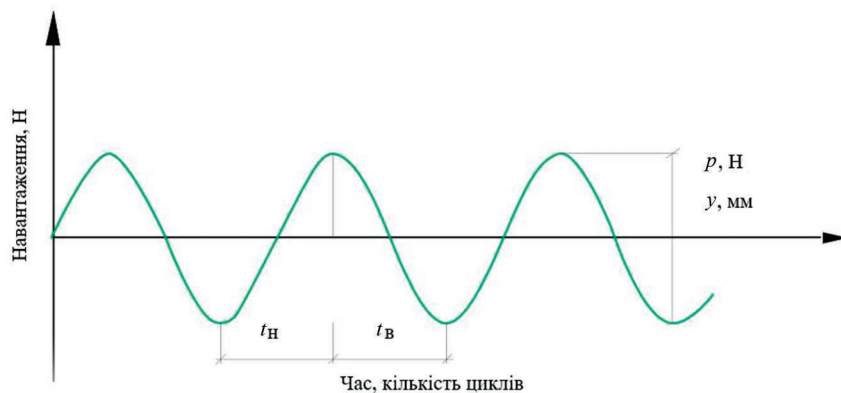


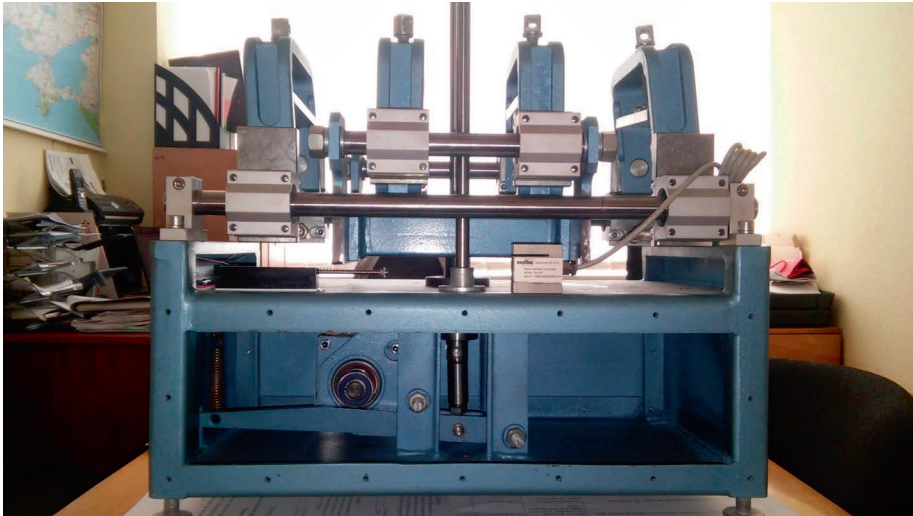
Рисунок 2 — Форма навантаження зразка

Зразки для повторних одиночних випробувань за однакових умов випробування відбирають з однакових груп. Випробування повторюються із застосуванням різних ступенів обраних умов навантаження (тобто, різні ступені прогину в разі постійного виду прогину або різних ступенів сили в разі постійного виду сили). Криву втоми будують для обраної випробувальної умови (частоти, температури і виду навантаження), а інші значення обчислюють таким чином:

- ступінь  $Q$  умови випробування для виду навантаження, відповідає  $10^6$  циклам, для стійкості до втоми згідно з обраним критерієм відмови  $k$ ;
- підйом  $p$  втомної кривої, отриманої в системі подвійного логарифма;
- оцінка стандартного відхилення залишкового розподілу природного логарифма стійкості до втоми  $S_{x/y}$ .

**Лабораторний прилад**

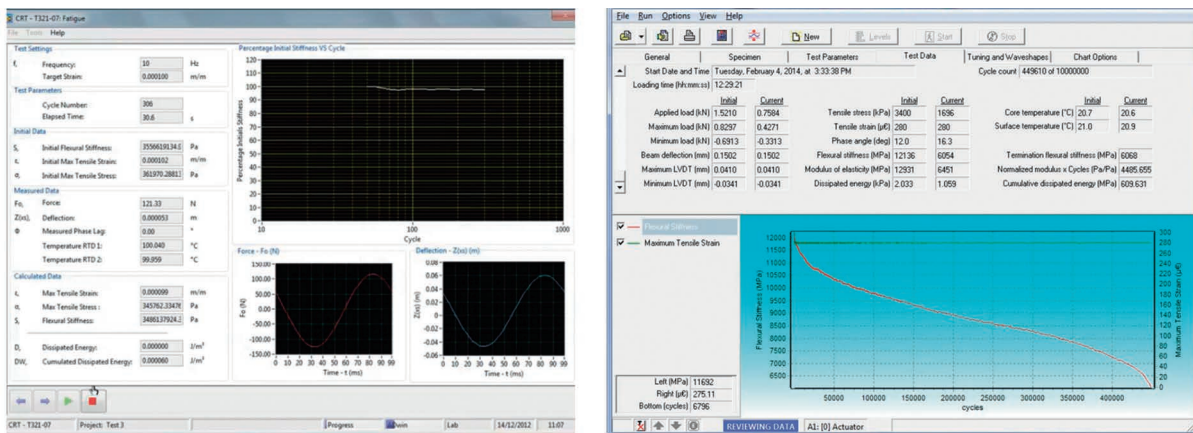
За результатами проведеної дослідно-конструкторської роботи ДП «ДерждорНДІ» було розроблено лабораторний прилад (рис. 3), який дозволяє випробувати зразки-балочки за кількістю циклів навантаження до руйнування в заданому температурно-частотному діапазоні на чотириточкове згинання.



**Рисунок 3** — Загальний вид приладу

Розроблення приладу для дослідження втоми асфальтобетонів передбачало вирішення таких задач:

1. Виготовлення вузла для управління режимами роботи крокового двигуна для отримання аналогового сигналу від датчика лінійних переміщень і датчика сили, його перетворення та передача в цифровому вигляді для оброблення за допомогою програмного комплексу.
2. Розроблення програмного забезпечення (рис. 4) для оброблення цифрових сигналів від датчиків з можливістю управління процесом випробування через регулювання режимом роботи крокового двигуна.



**Рисунок 4** — Інтерфейс програмного комплексу

Механічна частина лабораторного приладу складається з несної рами, яка призначена для розміщення на ній вузлів і деталей приладу, механізму для кріплення лабораторного зразка, механізму навантаження, датчиків (переміщення та навантаження) контролю за режимами випробування.

В якості передачі навантаження використовується механічний привід від електричного двигуна з можливістю регулювання режимів його роботи. Механізм для кріплення лабораторного зразка складається з опор, до яких кріпляться рамки для фіксації зразка, які забезпечують можливість вільного обертання кінців зразка. Механізм навантаження дозволяє створювати в зразку напруження заданої величини за рахунок зміни величини деформації зразка. Деформація здійснюється з частотою, забезпечуючи період дії навантаження рівний 0,1 с.

Діапазон деформації зразка можна змінювати в інтервалі від 1 мм до 10 мм із заданою частотою до 10 Гц. Навантаження змінюється за синусоїдальним законом.

Прилад має датчики контролю величини деформації та величини навантаження. Інноваційний датчик деформацій, що розміщують на зразку та кріплять до балочки, виключає похибки, що можуть виникати внаслідок рухливості рами та можливого зминання зразка асфальтобетону в місцях його кріплення.

Сигнали зворотного зв'язку від датчиків сили та переміщення надходять до комп'ютерної системи управління за допомогою відповідних контролерів оброблення аналогового сигналу. Система реєструє сигнали, які надходять від зразка, передає їх до програми оброблення сигналу і в реальному часі будує графіки, що відповідають виду випробування та режиму роботи.

### *Проведення випробування*

Із асфальтобетону було виготовлено ряд зразків-балочок розміром  $300 \times 50 \times 50$  мм. Зразки виконували з наступними номінальними співвідношеннями сторін і допусками:

- загальна довжина  $L_{tot}$  не повинна перевищувати ефективну довжину  $L$  більше ніж на 10 %;
- різниця між максимальними та мінімальними значеннями замірів ширини та висоти не повинна бути більше ніж 1,0 мм; різниця між максимальними та мінімальними значеннями довжини не повинна бути більше ніж 2,0 мм;
- кут між сусідніми сторонами не повинен відхилятися від прямого кута більше ніж на  $1^\circ$ .

Для лабораторного випробування асфальтобетонних зразків було обрано гарячий дрібнозернистий щільний асфальтобетон непереривчастої гранулометрії, марки І, типу А (АСГ.Др.Щ.А.НП.І) на бітумі БНД 60/90 та асфальтобетон щільний, крупнозернистий АСГ. Кр.Щ.А1.НП.І згідно з ДСТУ Б В.2.7-119 на бітумі марки БНД 60/90 та ЩМА-10 згідно з ДСТУ Б В.2.7-127 бітумі марки БНД 60/90. Результати випробувань із визначення зернового складу мінеральної частини та вмісту органічного в'язучого асфальтобетонної суміші, проводили згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-319 [14].

Кожний зразок-балочку піддавали дії навантаження синусоїдального типу, послідовно проходячи кожен з режимів навантаження з відповідною частотою та рівнем навантаження до відмови зразка. У процесі випробування реєстрували згинальні деформації, здійснювали контролювання температури, реєстрували кількість циклів до відмови зразка. Відмовою прийнято вважати такий стан зразка, за якого відбувається перевищення реєстрованих величин згинальних деформацій початкових їх значень у два рази. За результатами випробування побудовано криві втоми матеріалу (залежність «деформація – кількість циклів випробування»), визначено комплексні модулі пружності, енергію дисипації. Відповідність отриманих значень встановлювали відповідно до вимог таблиці 19 ДСТУ EN 13108-1:2018 (EN 13108-1:2006, IDT) [15].

Основні умови проведення випробування наведено у табл. 1.

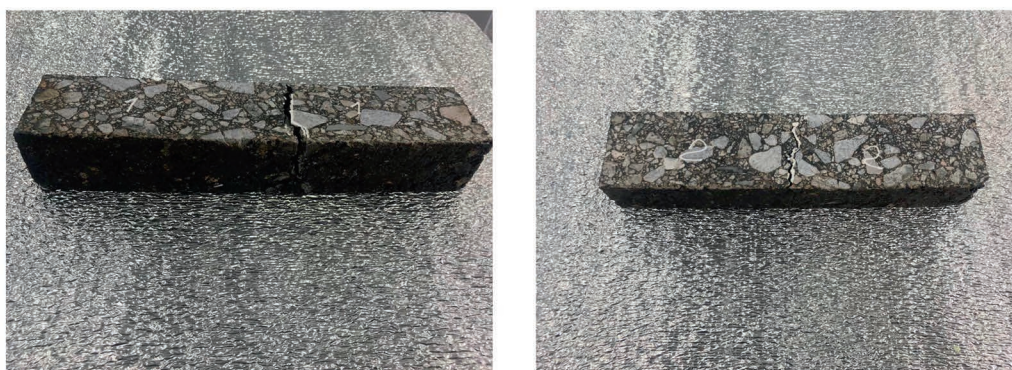
*Таблиця 1*

*Умови проведення випробування*

Ч.ч.	Параметр	Умова
1	Температура, °С	10; 20
2	Частота навантаження, Гц	10
3	Характер навантаження	Циклічне за постійної деформації
4	Амплітуда деформації, мкм/м	700
5	Критерій руйнування	Зменшення комплексного модуля на 50 % від початкового значення

Кожний зразок-балочку піддавали дії навантаження синусоїдального типу, послідовно проходячи кожен з режимів навантаження з відповідною частотою та рівнем навантаження до відмови зразка.

За частоти навантаження 10 Гц руйнування зразків-балочок відбувалося без явних ознак викришування заповнювача. Одиночна волосяна тріщина, що з'являлася після визначеної кількості циклів поступово розповсюджувалася по всім граням зразка. Характер руйнування зразків-балочок зображено на рис. 5.



*Рисунок 5* — Характер руйнування зразків-балочок під час випробування

Параметри втоми для асфальтобетону типу А наведено у табл. 2 та табл. 3 залежно від різних температур (10 °С та 20 °С). Випробування проводили згідно з ДСТУ EN 12697-24 з частотою 10 Гц, за обраного синусоїдального типу навантаження з контрольованою деформацією.

*Таблиця 2*

*Параметри втоми за температури випробування 10 °С*

Суміш	Параметри втоми			
	$k_1$	$k_2$	$R^2$	$\epsilon_6$ , мкм/м
АСГ.Др.Щ.А.НП.І	1,6E + 22	-7,37	0,984	158

Парметри втоми для асфальтобетону типу А1 наведено у табл. 4 та табл. 5 залежно від різних температур (10 °С та 20 °С). Випробування проводили згідно з ДСТУ EN 12697-24 з частотою

10 Гц, за обраного синусоїдального типу навантаження з контрольованою деформацією.

**Таблиця 3**

**Параметри втоми за температури випробування 20 °С**

Суміш	Параметри втоми			
	$k_1$	$k_2$	$R^2$	$\varepsilon_6$ , мкм/м
АСГ.Др.Щ.А.НП.І	1,0E + 15	-3,95	0,47	190

**Таблиця 4**

**Параметри втоми за температури випробування 10 °С**

Суміш	Параметри втоми			
	$k_1$	$k_2$	$R^2$	$\varepsilon_6$ , $\mu\text{m}/\text{m}$
АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І	1,6E + 14	-3,93	0,70	122

**Таблиця 5**

**Параметри втоми за температури випробування 20 °С**

Суміш	Параметри втоми			
	$k_1$	$k_2$	$R^2$	$\varepsilon_6$ , $\mu\text{m}/\text{m}$
АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І	3,4E + 22	-7,20	0,73	198

Параметри втоми для щебенево-мастикового асфальтобетону наведено у табл. 6 та табл. 7 залежно від різних температур (10 °С та 20 °С). Випробування проводили згідно з ДСТУ EN 12697-24 [8] з частотою 10 Гц, за обраного синусоїдального типу навантаження з контрольованою деформацією.

**Таблиця 6**

**Коефіцієнти втоми за температури випробування 10 °С**

Суміш	Параметри втоми			
	$k_1$	$k_2$	$R^2$	$\varepsilon_6$ , $\mu\text{m}/\text{m}$
ЩМА-10	5,9E + 22	-7,09	0,94	232

**Таблиця 7**

**Коефіцієнти втоми за температури випробування 20 °С**

Суміш	Параметри втоми			
	$k_1$	$k_2$	$R^2$	$\varepsilon_6$ , $\mu\text{m}/\text{m}$
ЩМА-10	3,3E + 18	-5,43	0,71	306

Отримані результати свідчать, що випробування дрібнозернистого асфальтобетону типу А вказують на те, що він має вищу втомну довговічність ніж крупнозернистий асфальтобетон типу А1. Тип А має вищу щільність, як наслідок менша кількість бітуму знаходиться у вільному стані, що у свою чергу зменшує пластичність суміші.

Порівнюючи результати оцінювання втомної довговічності асфальтобетону типу А та ЩМА можна відмітити більшу втомну довговічність ЩМА по відношенню до асфальтобетону типу А в середньому в два рази, що пояснюється його більшою релаксаційною здатністю завдяки наявності структурованого в'язучого. Зі збільшенням густини матеріалу та кількості в'язучого значення опору втомі зростають.

За результатами оцінювання впливу температури на втомну довговічність можна відмітити, що зі збільшенням температури випробування мало місце її зниження, оскільки зразок переходив у пластичний стан.

### Висновки

Прийнятий метод випробування дає змогу оцінити вплив різних факторів на втомну довговічність. Різниця в фізико-механічних властивостях різних типів асфальтобетонів дає змогу стверджувати про їхню різну поведінку під час випробування на втому.

За допомогою розробленого приладу продовжують проводитись експериментальні дослідження, що дають змогу оцінити надійність та довговічність асфальтобетонних покриттів під час дії багаторазового циклічного навантаження.

Задано напрямок подальших досліджень щодо визначення впливу різних факторів на асфальтобетон під час дії багаторазового циклічного навантаження від транспортного навантаження. Особливо цікавим є вивчення впливу модифікуючих добавок та регенованого асфальтобетону для асфальтобетонних сумішей на характеристики їхнього опору втомі.

З урахуванням результатів випробування щодо умов роботи асфальтобетонів в покритті під впливом багаторазового циклічного навантаження можливо проектувати склад асфальтобетонних сумішей, що попереджає втомне тріщиноутворення.

Дані випробування дадуть змогу оцінити прогнозований та залишковий терміни служби покриттів, що у свою чергу дасть можливість встановити раціональні терміни проведення ремонтних робіт.

Кінцевим результатом стануть розроблені пропозиції щодо підвищення втомної довговічності.

### Список літератури

1. Erkens S. M. J. G. And Kalf J. A. M. The four point bending test. Asphalt concrete response. Netherlands, 2000. P. 1-46. URL: [https://www.researchgate.net/publication/280565127\\_the\\_four\\_point\\_bending\\_test\\_asphalt\\_concrete\\_response](https://www.researchgate.net/publication/280565127_the_four_point_bending_test_asphalt_concrete_response) (дата звернення: 10.04.2020).
2. Carpenter S. Perpetual pavement: laboratory validation. *The 57th Annual Ohio Transportation Engineering Conference*. Dublin, 2003. URL: <http://www.otecohio.org/presentations/OTECpresentations/Se20/Carpenter-OHIOFatigue.pdf> (дата звернення: 10.04.2020).
3. Marco Pasetto, Nicola Baldo. Dissipated energy analysis of four-point bending test on asphalt concretes made with steel slag and RAP. *International journal of pavement research and technology*. Taiwan, 2017. Vol. 10 (5). P. 446-453. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.07.004>.
4. Ghuzlan K. A., Carpenter S. H. Traditional fatigue analysis of asphalt concrete mixtures. *Urbana*. Venezuela, 2002. Vol. 51. P. 34-46. URL: [https://www.researchgate.net/publication/264842133\\_Traditional\\_Fatigue\\_Analysis\\_of\\_Asphalt\\_Concrete\\_Mixtures](https://www.researchgate.net/publication/264842133_Traditional_Fatigue_Analysis_of_Asphalt_Concrete_Mixtures) (дата звернення: 10.04.2020).
5. Artamendi I., Khalid H. Characterization of fatigue damage for paving asphaltic materials. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. United Kingdom, 2005. Vol. 28 (12). P. 1113-

1118. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1460-2695.2005.00949.x> (дата звернення: 10.04.2020).

6. Shen S., Carpenter S. H. Application of the dissipated energy concept in fatigue endurance limit testing. *Transportation Research Record*. United States, 2005. Vol. 1929 (1). P. 165-173. URL: [https://www.researchgate.net/publication/245561489\\_Application\\_of\\_the\\_Dissipated\\_Energy\\_Concept\\_in\\_Fatigue\\_Endurance\\_Limit\\_Testing](https://www.researchgate.net/publication/245561489_Application_of_the_Dissipated_Energy_Concept_in_Fatigue_Endurance_Limit_Testing) (дата звернення: 10.04.2020).

7. Carpenter S. H., Shen S. Dissipated energy approach to study hot-mix asphalt healing in fatigue. *Transportation Research Record*. United States, 2006 (1970). Vol. 1970 (1). P. 178-185. URL: [https://www.researchgate.net/publication/245562315\\_Dissipated\\_Energy\\_Approach\\_to\\_Study\\_Hot-Mix\\_Asphalt\\_Healing\\_in\\_Fatigue](https://www.researchgate.net/publication/245562315_Dissipated_Energy_Approach_to_Study_Hot-Mix_Asphalt_Healing_in_Fatigue) (дата звернення: 10.04.2020).

8. ДСТУ EN 12697-24:2018 (EN 12697-24:2012, IDT) Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 24. Опір втомі. Київ, 2018. 43 с. (Інформація та документація).

9. Di Benedetto H., De la Roche C., Baaj H., Pronk A. Fatigue bituminous mixture: different approaches and RILEM group contribution. *Sixth International RILEM Symposium on Performance Testing and Evaluation of Bituminous Materials*. Switzerland, 2003. P. 15-38. DOI: [10.1617/2912143772.002](https://doi.org/10.1617/2912143772.002)

10. Di Benedetto H., De La Roche C., Baaj H., Pronk A., Lundström R. Fatigue of bituminous mixtures. *Materials and structures*. Netherlands, 2004. Vol. 37 (3). P. 202-216. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02481620> (дата звернення: 10.04.2020).

11. Золотарев В. А. Оценка долговечности асфальтобетонов по статической усталости. *Avtošlahovik Ukraini* Vol. 34 (246) Київ, 2015. P. 34-30. URL: [http://irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbu/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/au\\_2015\\_4\\_9.pdf](http://irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/au_2015_4_9.pdf) (дата звернення: 10.04.2020).

12. Coni M., Portas S., Oliviera J. R. M., Isola R. FE evaluation of 4-point bending test for fatigue cracking assessment. *Pavement Cracking: Mechanisms, Modeling, Detection, Testing and Case Historiest*. London, 2008. P. 271-281. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203882191> (дата звернення: 10.04.2020).

13. Дровалева О. В. Усталостная долговечность асфальтобетона при воздействии интенсивных транспортных нагрузок: дис. канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 2009. 200 с.

14. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. Київ, 2016. 64 с. (Інформація та документація).

15. ДСТУ EN 13108-1:2018 (EN 13108-1:2006, IDT) Бітумомінеральні суміші. Технічні умови. Частина 1. Асфальтобетон. Київ, 2020. 32 с. (Інформація та документація).

### References

1. Erkens S.M.J.G. and Kalf J.A.M. The four point bending test. Asphalt concrete response. Netherlands, 2000. P. 1-46. URL: [https://www.researchgate.net/publication/280565127\\_the\\_four\\_point\\_bending\\_test\\_asphalt\\_concrete\\_response](https://www.researchgate.net/publication/280565127_the_four_point_bending_test_asphalt_concrete_response) (Last accessed: 10.04.2020) [in English].

2. Carpenter S. Perpetual pavement: laboratory validation. *The 57th Annual Ohio Transportation Engineering Conference*. Dublin, 2003. URL: <http://www.otecohio.org/presentations/OTECpresentations/Se20/Carpenter-OHIOFatigue.pdf> (Last accessed: 10.04.2020) [in English].

3. MarcoPasetto, Nicola Baldo. Dissipated energy analysis of four-point bending test on asphalt concretes made with steel slag and RAP. *International journal of pavement research and technology*. Vol. 10 (5). Taiwan, 2017. P. 446-453. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.07.004> (Last accessed: 10.04.2020) [in English].

4. Ghuzlan K.A., Carpenter S.H. Traditional fatigue analysis of asphalt concrete mixtures.

- Urbana*. Vol. 51. P. 34-46. Venezuela, 2002. URL: [https://www.researchgate.net/publication/264842133\\_Traditional\\_Fatigue\\_Analysis\\_of\\_Asphalt\\_Concrete\\_Mixtures](https://www.researchgate.net/publication/264842133_Traditional_Fatigue_Analysis_of_Asphalt_Concrete_Mixtures) (Last accessed: 10.04.2020) [in English].
5. Artamendi I., Khalid H. Characterization of fatigue damage for paving asphaltic materials. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. Vol. 28 (12). United Kingdom, 2005. P. 1113-1118. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1460-2695.2005.00949.x> [in English].
6. Shen S., Carpenter S.H. Application of the dissipated energy concept in fatigue endurance limit testing. *Transportation Research Record*. Vol. 1929 (1). United States, 2005. P. 165-173. URL: [https://www.researchgate.net/publication/245561489\\_Application\\_of\\_the\\_Dissipated\\_Energy\\_Concept\\_in\\_Fatigue\\_Endurance\\_Limit\\_Testing](https://www.researchgate.net/publication/245561489_Application_of_the_Dissipated_Energy_Concept_in_Fatigue_Endurance_Limit_Testing) (Last accessed: 10.04.2020) [in English].
7. Carpenter S.H., Shen S. Dissipated energy approach to study hot-mix asphalt healing in fatigue. *Transportation Research Record*. Vol. 1970 (1). United States, 2006 (1970), P. 178-185. URL: [https://www.researchgate.net/publication/245562315\\_Dissipated\\_Energy\\_Approach\\_to\\_Study\\_Hot-Mix\\_Asphalt\\_Healing\\_in\\_Fatigue](https://www.researchgate.net/publication/245562315_Dissipated_Energy_Approach_to_Study_Hot-Mix_Asphalt_Healing_in_Fatigue) (Last accessed: 10.04.2020) [in English].
8. DSTU EN 12697-24:2018 (EN 12697-24:2012, IDT) Bitumomineralni sumishi. Metody vyprovuvannia hariachykh asfaltobetonnykh sumishei. Chastyna 24. Opir vtomi [State Standard of Ukraine (DSTU EN 12697-24:2018 (EN 12697-24:2012, IDT)) Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 24. Resistance to fatigue]. Kyiv, 2019. 43 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
9. Di Benedetto H., De la Roche C., Baaj H., Pronk A. Fatigue bituminous mixture: different approaches and RILEM group contribution. *Sixth International RILEM Symposium on Performance Testing and Evaluation of Bituminous Materials*. Switzerland, 2003. P. 15-38. DOI: [10.1617/2912143772.002](https://doi.org/10.1617/2912143772.002) (Last accessed: 10.04.2020) [in English].
10. Di Benedetto H., De La Roche C., Baaj H., Pronk A., Lundström R. Fatigue of bituminous mixtures. *Materials and structures*. Netherlands, 2004. Vol. 37 (3). P. 202-216. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02481620> (Last accessed: 10.04.2020) [in English].
11. Zolotarev V. A. Otsenka dolgovechnosti asfaltobetonov po staticheskoy ustalosti (Evaluating the durability of asphalt at static fatigue). *Avtošlahovik Ukraini*. Kyiv, 2015. Vol. 34 (246). P. 34-30. URL: [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/au\\_2015\\_4\\_9.pdf](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/au_2015_4_9.pdf) (Last accessed: 10.04.2020) [In Russian].
12. Coni M., Portas S., Oliviera J. R. M., Isola R. FE evaluation of 4-point bending test for fatigue cracking assessment. *Pavement Cracking: Mechanisms, Modeling, Detection, Testing and Case Historiest*. London, 2008. P. 271-281. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203882191> (Last accessed: 10.04.2020) [in English].
13. Drovaleva O. V. Ustalostnaya dolgovechnost asfaltobetona pri vozdeystvii intensivnykh transportnykh nagruzok (Fatigue life of asphalt concrete under the influence of intensive transport loads). PhD (Ing.). Rostov-on-Don, 2009. 200 p. [in Russian].
14. DSTU B V.2.7-319:2016 Sumishi asfaltobetonni i asfaltobeton dorozhnyi ta aerodromnyi. Metody vyprovuvan (State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-319:2016) Mixtures of asphalt and asphalt road and airfield. Test methods). Kyiv, 2016. 64 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
15. DSTU EN 13108-1:2018 (EN 13108-1:2006, IDT) Bitumomineralni sumishi. Tekhnichni umovy. Chastyna 1. Asphaltobeton (State Standard of Ukraine [DSTU EN 13108-1:2018 (EN 13108-1:2006, IDT) Bituminous mixtures. Material specifications. Part 1. Asphalt Concrete]. Kyiv, 2020. 32 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].



Vasiliy Golovchenko, <https://orcid.org/0000-0001-5078-8682>

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

Tetiana Malii, <https://orcid.org/0000-0002-2008-8164>

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

## **RESEARCH OF THE FATIGUE LIFE OF ASPHALT CONCRETE**

### ***Abstract***

Introduction. Fatigue strength is the most important criterion for the asphalt concrete quality evaluation, namely its ability to resist the destructive action of vehicles. The number of cycles that can withstand asphalt concrete during bending with constant amplitudes of load or deformation to failure is used as such a criterion.

The issue statement. Under current conditions of increasing traffic volume, in order to obtain reliable results of fatigue life evaluation of asphalt concrete pavements, it is necessary to switch to new methods of testing the asphalt concrete during repeated impact of vehicle loads. Until recently, the existing regulatory framework allowed testing asphalt pavements only under a single static load, which made it impossible to assess their resistance to long-term repeated cyclic loads. In the absence of well-founded and documented testing methods, it was impossible to determine the regularities of fatigue failure which is often established under visual inspection of roads in Ukraine. Upon entry into force of DSTU EN 12697-24: 2018 (EN 12697-24: 2012, IDT) "Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 24. Resistance to fatigue." It is become possible to carry out such assessment and obtaining the information about the operating modes of the load of asphalt concrete in the road pavement the result of which is to determine a pattern of material fatigue life changes depending on the characteristics of the load and temperature impacts. Thus, it will make possibility to carry out asphalt concrete mix design taking into account the predicted number of load cycles, thereby determining the ways to improve the fatigue life of asphalt concrete pavements and ensure their reliable operation in road structures during the design service life.

Purpose. Experimental study of the fatigue life of asphalt concrete the result of which is to determine a pattern of material fatigue life changes depending on the characteristics of the load and temperature impacts and development of the ways to improve it based on the results obtained.

Materials and methods. For the experimental study samples-beams from hot asphalt concrete mixtures of different types were produced and tested for four-point bending.

The results. The analysis of information sources on the existing experience of multiple cyclic loading test was carried out. The device for determination of fatigue resistance of asphalt concrete on four-point bending was developed. Samples-beams from different types of asphalt concrete were tested and regularities of fatigue life changes were established.

Conclusions. Impact of load frequency on fracture processes is experimentally confirmed. The results obtained make it possible to establish the predicted service life and estimate the residual life of the road structure.

**Keywords:** asphalt concrete, asphalt concrete mixtures, fatigue life, road construction, fatigue resistance, cyclic load, four-point bending.

УДК 625.7/.8

Єрмакова І. А., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-2658-1857>Нечипоренко М. В., <https://orcid.org/0000-0001-5462-6947>*Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна***РОЛЬ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО СУПРОВОДУ ПРИ БУДІВНИЦТВІ  
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ****Анотація**

**Вступ.** Наведено аналіз стану розвитку науки у будівельній галузі України в умовах обмеженого фінансування науково-дослідних робіт на рівні держави. Розглянуто стан питання щодо відповідності нормативної бази України вимогам чинного законодавства та необхідності постійного перегляду вимог щодо забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів у відповідних нормативних актах та нормативних документах. Визначено, що розвиток науки у будівельній галузі України суттєво залежить від створення умов для практичного та мобільного застосування інноваційних технічних рішень, що потребують наукового обґрунтування при оцінці забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Розглянуто питання щодо проведення науково-технічного супроводу будівельних об'єктів на різних етапах життєвого циклу. Підкреслено необхідність надання нового статусу існуючим процедурам з оцінки відповідності інноваційних технічних рішень для широкого їх впровадження, що сприятиме забезпеченню науково-технічного прогресу у будівельній галузі України в цілому.

**Проблематика.** Важливим фактором і передумовою розвитку освіти, культури, підвищення рівня кваліфікації завжди була наука. Без створення наукового потенціалу ефективна ринкова економіка просто не зможе розвиватися. Сучасна наука є не лише основною формою пізнання законів природи та їх використання на користь суспільства, а й найважливішим інструментом життєдіяльності кожної людини. Встановлено, що рівень розвитку науки і техніки є визначальним чинником прогресу суспільства, підвищення добробуту громадян, їх духовного та інтелектуального зростання. Відповідно, держава має здійснювати підтримку наукової і науково-технічної діяльності як джерела економічного зростання та стимулювати використання досягнень вітчизняної та світової науки і техніки для задоволення соціальних, економічних, культурних та інших потреб.

**Мета.** Визначення основних методичних принципів побудови в сучасних умовах здійснення наукової діяльності, що направлена на забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів.

**Матеріали та методи.** Важливість науково-технічної підтримки проявляється не тільки на стадії проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг, а і під час проведення моніторингу доріг і штучних споруд, відслідковування їх залишкового ресурсу, своєчасного запобігання аварійним та надзвичайним ситуаціям при експлуатації діючих автомобільних доріг. Нове будівництво, реконструкція, ремонт та експлуатація автомобільних доріг завжди ґрунтуються на науково-технічних досягненнях і спираються на оновлену нормативну базу. При цьому багато нагальних науково-технічних питань вирішуються в процесі експериментального будівництва.

**Результати.** Показано, що науково-технічний супровід на сучасному етапі є основним джерелом отримання нового досвіду, що у подальшому має бути впроваджено у відповідні нормативні акти та нормативні документи. Обґрунтовано необхідність проведення науково-технічного супроводу науковими організаціями, які одночасно є і розробниками відповідних нормативних актів та нормативних документів. Наведено досвід Державного підприємства «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ») із вирішення проблем розвитку наукової діяльності.

**Висновки.** Науково-технічні дослідження ресурсу будівельних об'єктів знайшли своє відображення в узагальненні проблеми ресурсу в різних галузях економіки. Виходячи з накопиченого досвіду в будівельній галузі проведена низка заходів щодо підсилення ролі науково-технічного супроводу в розвитку галузі.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, будівництво, експлуатація, науково-технічний супровід.

### Вступ

Автомобільні дороги є відповідальними спорудами, що підлягають обов'язковому науково-технічному супроводу. Процес супроводу при цьому полягає в своєчасному вирішенні проблем, які не обумовлені чинними нормативними документами та можуть виникнути на різних етапах їх життєвого циклу.

Наведено аналіз стану розвитку науки у будівельній галузі України в умовах обмеженого фінансування науково-дослідних робіт на рівні держави. Розглянуто стан питання щодо відповідності нормативної бази України вимогам чинного законодавства та необхідності постійного перегляду вимог щодо забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів у відповідних нормативних актах та нормативних документах. Визначено, що розвиток науки у будівельній галузі України суттєво залежить від створення умов для практичного та мобільного застосування інноваційних технічних рішень, що потребують наукового обґрунтування при оцінці забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Підкреслено необхідність надання нового статусу існуючим процедурам з оцінки відповідності інноваційних технічних рішень для широкого їх впровадження, що сприятиме забезпеченню науково-технічного прогресу у будівельній галузі України в цілому. Розглянуто питання щодо проведення науково-технічного супроводу будівельних об'єктів на різних етапах життєвого циклу. Показано, що науково-технічний супровід на сучасному етапі є основним джерелом отримання нового досвіду, що у подальшому має бути впроваджено у відповідні нормативні акти та нормативні документи. Обґрунтовано необхідність проведення науково-технічного супроводу науковими організаціями, які одночасно є і розробниками відповідних нормативних актів та нормативних документів. Наведено досвід Державного підприємства «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ») із вирішення проблем розвитку наукової діяльності.

### Основна частина

Особливістю будівництва та реконструкції автомобільних доріг в Україні на сучасному етапі є гостра потреба у виконанні низки науково-дослідних робіт та розробленні відповідних нормативних документів, зокрема тих, що стосуються нормування методик виявлення ресурсу і безпеки експлуатації автомобільних доріг. Серед основних чинників, що визначають таку потребу, є:

- зношеність існуючих споруд і необхідність їх реконструкції з подовженням ресурсу основних несених конструкцій;
- впровадження нових технологій і конструкційних матеріалів, зокрема нових видів бетонних сумішей, добавок до них, арматурного прокату тощо;
- необхідність відновлення ресурсу будівель і споруд, що отримали непередбачені впливи або достроково вичерпали термін експлуатації із-за дефектів і пошкоджень тощо.

Одним із ключових чинників вирішення проблеми відновлення ресурсу є нормативно-правове забезпечення. Раніше в нормативних документах і нормативно-правових актах питання ресурсу будівельних об'єктів розглядалися, як правило, опосередковано. В останній час напрацьовані нові нормативно-правові документи, що безпосередньо стосуються ресурсу конструкцій та будівельних об'єктів в цілому.

Роль науки в будівництві, реконструкції та експлуатації автомобільних доріг вкрай важлива. Вона забезпечує:

- безпеку та надійність будівельних об'єктів і конструкцій;
- економічність застосування ефективних технічних рішень і методів і технологій організації будівництва;
- розвиток нормативної бази.

Сучасні обсяги будівництва, реконструкції будівель і споруд зі зміною функціонального призначення, відновлення незавершеного будівництва як ніколи гостро ставлять питання безпеки життєдіяльності населення. При цьому особливої уваги потребує урахування старіння матеріалів, пошкоджень та дефектів конструкцій, які виникли під час будівництва, довгострокових перерв у будівництві та експлуатації, природних та техногенних проявів [1]. Звертає на себе увагу той факт, що значна частина незавершених об'єктів будівництва, будівель і споруд, які відібрано до реконструкції, запроектовано за нормами та правилами, які вже втратили чинність. Ці об'єкти характеризуються різними ступенями морального та фізичного зношування, їх конструктивні схеми вже не відповідають сучасним вимогам до сейсмостійкості тощо.

Можна навести приклади кількох штучних споруд, щодо яких проводився науковий супровід, та проілюструвати дефекти їх конструкцій (рис. 1–5).



**Рисунок 1** — Руйнування крайньої балки моста через р. Сула на км 172+598 автомобільної дороги Р-60 Кролевець – Конотоп – Ромни – Пирятин. Наразі відбувається капітальний ремонт моста у рамках програми «Велике будівництво»



**Рисунок 2** — Руйнування покриття, деформаційного шва і секцій перил на мосту через р. Сула на км 170+867 автомобільної дороги Н-08 (стан до ремонту). Наразі відбувається капітальний ремонт мосту



*Рисунок 3* — Дефекти балок моста через р. Псел на км 50+840 автомобільної дороги Т-17-05 Лохвиця – Гадяч – Охтирка КПП «Велика Писарівка» до капітального ремонту



*Рисунок 4* — Тріщина над деформаційним швом перед ремонтом моста на км 48+190 автомобільної дороги М-22 Полтава – Олександрія



*Рисунок 5* — Просідання дорожнього одягу перед мостом на км 56 + 717 автомобільної дороги М-22 Полтава – Олександрія, через р. Оленівка

Важливість науково-технічної підтримки проявляється не тільки на стадії проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг, а і під час проведення моніторингу доріг і штучних споруд, відслідковування їх залишкового ресурсу, своєчасного запобігання аварійним та надзвичайним ситуаціям при експлуатації діючих автомобільних доріг.

Нове будівництво, реконструкція, ремонт та експлуатація автомобільних доріг завжди ґрунтуються на науково-технічних досягненнях і спираються на оновлену нормативну базу.

При цьому багато нагальних науково-технічних питань вирішуються в процесі експериментального будівництва.

Останнім часом в нашій державі проведений ряд заходів щодо підсилення ролі науки в будівельній галузі.

Перш за все, на основі узагальнення досвіду будівництва в різних напрямках (будівництво в складних інженерно-геологічних умовах), науково-технічного супроводу будівництва та реконструкції автомобільних доріг державного значення, таких як М-03 Київ – Харків – Довжанський, Н-31 Дніпро – Царичанка – Кобеляки – Решетилівка, Полтавська область, а також значної кількості мостів, Державним підприємством «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ») розроблено СОУ «Інженерно-технічний супровід будівництва об'єктів дорожнього господарства (Автомобільні дороги)» [2].

Особливість цього документа полягає в тому, що в ньому визначенні вимоги виконання науково-технічних робіт як на стадії проектування (врахування існуючого досвіду, оптимізація конструктивних схем, варіантні проробки технічних рішень, уточнення ґрунтових та кліматичних умов, дублюючі розрахунки, апробація технічних рішень на дослідних зразках і моделях, врахування оточуючої забудови тощо) і будівництва об'єктів (відпрацювання оптимальних технологій будівництва, моніторингу і відпрацювання окремих конструкцій та контролю якості тощо), так і в процесі експлуатації об'єктів та їх ліквідації (моніторинг стану технічних рішень та запобігання непередбачуваним ситуаціям).

Роботи з науково-технічного супроводу повинні виконуватись згідно з програмою, яка передбачає мету та перелік робіт, а також склад звітної документації, що передається замовнику робіт.

Програма науково-технічного супроводу складається на основі вихідних даних, наданих замовником робіт, і затверджується замовником. Програма дає відповідь на такі питання:

- які саме роботи і дослідження виконуються;
- хто є основним виконавцем;
- порядок і строки виконання науково-дослідних робіт;
- на основі яких нормативних актів проводяться роботи;
- які наукові матеріали збираються під час досліджень і як вони повинні бути використані;
- кількість і зміст основних етапів виконання науково-дослідних робіт;
- склад і зміст науково-технічної документації, що надається замовнику за результатами досліджень у вигляді звіту.

Фактично, програма науково-технічного супроводу відіграє роль технічного завдання, у якому розглядаються всі важливі питання щодо мети науково-дослідних робіт в ході проведення науково-технічного супроводу, і технічних аспектів виконання робіт.

Необхідність проведення супроводу на етапі будівництва підтверджують у проекті на відповідну будівлю або споруду. Згідно з п. 5 додатку В [3] проведення науково-технічного супроводу є обов'язковим для мостів і штучних споруд (тунелів, шляхопроводів, естакад) на дорогах вищих категорій та швидкісних міських дорогах.

Додаток до [2] також має перелік об'єктів, що підлягають обов'язковому науково-технічному супроводу. В основному це об'єкти, що мають особливо важливе народногосподарське та соціальне значення. Але в кожному конкретному випадку передбачається необхідність визначатись щодо доцільності такого заходу.

Особливо важливе значення науково-технічний супровід має при організації досліджень стану існуючих об'єктів з метою визначення можливостей їх реконструкції. Це пов'язано з тим, що об'єкти, які існували десятки років, накопичили багато дефектів, у зв'язку з чим потрібно привести їх у відповідність не тільки сучасним експлуатаційним умовам, а і сучасній нормативній базі щодо їх безпеки. При цьому вимоги сучасної нормативної бази суттєво змінилися.

Звідси питання науково-технічного супроводу при реконструкції та ремонтах автомобільних доріг виходить на рівень обов'язкового його виконання, незалежно від їх складності.

При цьому одним із перших заходів — це необхідність проведення обстеження, оцінки технічного стану об'єкта та визначення його ресурсу — несуних якостей конструкцій. Однією із важливих проблем є визначення існуючої сейсмостійкості та ризиків, які впливають із сучасного сейсморайонування [4].

Таким чином, до вимог [2] із науково-технічного супроводу при реконструкції автомобільних доріг повинні бути додатково враховані відзначені особливості.

### Висновки

В останні роки завдяки впровадженню нової нормативно-технічної документації, зокрема [2], виконані великі обсяги робіт із науково-технічному супроводу на різних етапах існування різних будівельних об'єктів дорожнього господарства.

Науково-технічні дослідження ресурсу будівельних об'єктів знайшли своє відображення в узагальненні проблеми ресурсу в різних галузях економіки.

Виходячи з накопиченого досвіду в будівельній галузі проведена низка заходів щодо підсилення ролі науково-технічного супроводу в розвитку галузі.

Досвід проведення теоретичних і експериментальних досліджень дозволяє зробити наступні висновки:

1. Сучасні зміни у дорожньому розвитку та розбудова мережі автомобільних доріг потребують своєчасного вирішення проблем, які не обумовлені чинними нормативними документами та можуть виникнути на різних етапах життєвого циклу автомобільних доріг.

2. Одним з ключових аспектів вирішення проблеми є нормативно-правове забезпечення

процесів проектування, будівництва, реконструкції та експлуатації автомобільних доріг. Базовими матеріалами для цього є результати науково-технічного супроводу із залученням різноманітних експериментально-теоретичних методів дослідження стану конструкцій.

3. Накопичено значний досвід застосування нових технологій у галузі проектування, будівництва автомобільних доріг і штучних споруд, а також досвід застосування нових будівельних матеріалів і конструкцій в дорожньому будівництві. Цей досвід може бути узагальнений і відображений у відповідних нормативно-технічних документах.

4. Сучасні програмні комплекси, які широко залучаються до проектування та дослідження напружено-деформованого стану нових за технологією дорожніх покриттів, мають низку обмежень і припущень, покладених в основу розрахункових моделей, методик та методів розрахунку. Внаслідок цього отримані результати потребують перевірки та оцінки достовірності, а також обов'язкового експериментального підтвердження.

5. Моніторинг стану покриття під час експлуатації є важливою складовою наукового супроводу споруди, результати якого дозволять вирішити проблеми подовження її ресурсу та забезпечення безпеки життєдіяльності населення, накопичувати та узагальнювати дані для створення сучасної нормативної бази.

### Список літератури

1. Кривошеєв П. І. Науковий супровід будівельного об'єкта – запорука вирішення проблем подовження ресурсу та реконструкції будинків і споруд. *Реконструкція житла*. 2003. С. 35-39. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/recj\\_2003\\_2003\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/recj_2003_2003_10) (дата звернення: 26.07.2020).
2. СОУ 42.1-37641918-087:2019 Інженерно-технічний супровід будівництва об'єктів дорожнього господарства (Автомобільні дороги). Київ, 2019. 139 с. (Інформація та документація).
3. ДБН В.1.2-5:2007 Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. Київ, 2007. 10 с. (Інформація та документація).
4. ДБН В.1.1-12:2014 Будівництво у сейсмічних районах України. Київ, 2014. 110 с. (Інформація та документація).

### References

1. Krivosheev P. I. Scientific support of the construction site – a guarantee of solving problems of resource extension and reconstruction of buildings and structures. *Reconstruction of housing*. 2003. P. 35-39. Access mode: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/recj\\_2003\\_2003\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/recj_2003_2003_10) (Last accessed: 26.07.2020).
2. SOU 42.1-37641918-087:2019 Inzhenerno-tekhnichnyi suprovid budivnytstva obektiv dorozhnoho hospodarstva (Standard of organization of Ukraine (SOU 42.1-37641918-087:2019) Engineering and technical support for the construction of road facilities). Kyiv, 2019. 139 p. (Information and documentation) [in Ukraine].
3. DBN V.1.2-5:2007 Naukovo-tekhnichnyi suprovid budivelnykh obyektiv (State Building Norms (DBN V.1.2-5:2007) Scientific and technical support of construction sites). Kyiv, 2007. 10 p. (Information and documentation).
4. DBN V.1.1-12:2014 Budivnytstvo u seismichnykh raionakh Ukrainy (State Building Norms (DBN V.1.1-12:2014) Construction in seismic areas of Ukraine). Kyiv, 2014. 110 p. (Information and documentation).



Inna Yermakova, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-2658-1857>

Maksym Nechyporenko, <https://orcid.org/0000-0001-5462-6947>

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

## THE ROLE OF SCIENTIFIC SUPPORT IN ROAD CONSTRUCTION

### *Abstract*

Introduction. The analysis of the situation of development of science in the construction industry of Ukraine in the conditions of limited financing of research works at the state level is given. The situation of the issue of compliance of the regulatory base of Ukraine with the requirements of current legislation and the need for constant revision of the requirements for ensuring the reliability and safety of construction sites in the relevant regulations. It is determined that the development of science in the construction industry of Ukraine significantly depends on the creation of conditions for practical and mobile application of innovative technical solutions that require scientific substantiation in assessing the reliability and safety of construction sites. The issue of conducting scientific and technical support of construction sites at different stages of the life cycle is considered. The need to give a new status to the existing procedures for assessing the compliance of innovative technical solutions for their widespread implementation, which will help ensure scientific and technological progress in the construction industry of Ukraine as a whole.

Problem Statement. Science has always been an important factor and prerequisite for the development of education, culture, and advanced training. Without the creation of scientific potential, an effective market economy simply cannot develop. Modern science is not only the main form of knowledge of the laws of nature and their use for the benefit of society, but also the most important tool of every person. It is established that the level of development of science and technology is a determining factor in the progress of society, improving the welfare of citizens, their spiritual and intellectual growth. Accordingly, the state should support scientific and scientific-technical activities as a source of economic growth and stimulate the use of the achievements of domestic and world science and technology to meet social, economic, cultural and other needs.

Purpose. Defining the basic methodological principles of construction in modern conditions of scientific activity aimed at ensuring the reliability and safety of construction sites.

Materials and methods. The importance of scientific and technical support is manifested not only at the stage of design, construction and operation of roads, but also during the monitoring of roads and man-made structures, monitoring their residual life, timely prevention of accidents and emergencies in the operation of existing roads. New construction, reconstruction, repair and operation of roads are always based on scientific and technical achievements and are based on an updated regulatory framework. At the same time, many urgent scientific and technical issues are solved in the process of experimental construction.

Results. It is shown that scientific and technical support at the present stage is the main source of new experience, which should be further implemented in the relevant regulations. The necessity of carrying out scientific and technical support by scientific organizations, which are at the same time developers of relevant normative acts and normative documents, is substantiated. The experience of the «Shulgin State Road Research Institute State Enterprise» («DerzhdorNDI» SE) on solving problems of scientific activity development is given.

Conclusions. Scientific and technical research of the resource of construction objects is reflected in the generalization of the problem of the resource in various sectors of the economy. Based on the experience gained in the construction industry, a number of measures have been taken to strengthen the role of scientific and technical support in the development of the industry.

**Keywords:** road, road construction, maintenance, scientific and technical support.

УДК 691.168

Копинець І. В., <https://orcid.org/0000-0002-0908-4795>Малій Т. С., <https://orcid.org/0000-0002-2008-8164>

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

## **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВІТЧИЗНЯНИХ ТА ЄВРОПЕЙСЬКИХ ВИМОГ ДО ЛИТИХ ЕМУЛЬСІЙНО-МІНЕРАЛЬНИХ СУМІШЕЙ**

### **Анотація**

**Вступ.** Покриття з литих емульсійно-мінеральних сумішей улаштовують для покращення експлуатаційного стану покриття, а також його підтримання на належному рівні.

**Проблематика.** Постійне зростання транспортного навантаження на автомобільних дорогах призводить до передчасного зношення та скорочення строків проведення їх ремонтів. Відсутність фінансових можливостей для проведення вчасних ремонтних робіт ускладнює підтримання транспортно-експлуатаційних показників автомобільних доріг у належному стані. Тому пошук нових можливостей для запобігання такому положенню є актуальним питанням для дорожньої галузі. Світовий досвід застосування технології влаштування тонкошарових покриттів (в Україні — «захисні шари зносу») із литих емульсійно-мінеральних сумішей засвідчив свою ефективність та економічність, завдяки якій досягають необхідних показників зчеплення, шорсткості та рівності та подовження строків проведення капітального ремонту автомобільних доріг. На теперішній час в Україні вимоги щодо цих сумішей встановлено згідно з СОУ 42.1-37641918-119:2014 «Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови» та ДСТУ-Н Б В.2.3-38:2016 «Настанова з влаштування захисних шарів зносу покриття дорожнього одягу автомобільних доріг». Разом з тим, питання проектування таких сумішей та вимог до складників є досі недостатньо вивченим, зокрема це питання щодо використання кам'яних матеріалів, що не відповідають вимогам цієї технології, недотримання кількості в'язучого (його надлишок або нестача) тощо. Отже, першочерговим завданням є пошук рішень для розв'язання цих проблем.

**Мета.** Виконати аналіз європейського та вітчизняного досвіду використання литих емульсійно-мінеральних сумішей у дорожньому будівництві для подальшого використання отриманих даних для підвищення якості та довговічності дорожніх покриттів.

**Матеріали і методи.** Виконання порівняльного аналізу вітчизняних та європейських літературних джерел, нормативних документів щодо вимог до литих емульсійно-мінеральних сумішей та досвіду їх улаштування на автомобільних дорогах.

**Результати.** Проведено аналітичний огляд і порівняльний аналіз вимог до литих емульсійно-мінеральних сумішей для улаштування шарів зносу покриття дорожнього одягу автомобільних доріг.

**Висновки.** Під час порівняльного аналізу вимог до литих емульсійно-мінеральних сумішей (ЛЕМС) встановлено, що необхідне проведення детальних досліджень із лабораторними випробуваннями та розроблення пропозицій щодо перегляду вітчизняних вимог до ЛЕМС в частині гранулометричного складу, товщини захисних шарів зносу з них, вимог до приймання робіт і контролю якості. А також потрібно гармонізувати європейський стандарт щодо визначення шорсткості дорожнього покриття.

**Ключові слова:** micro-surfacing, slurryseal, автомобільна дорога, бітумна емульсія, дорожнє покриття, дорожньо-будівельні матеріали, захисний шар зносу, лита емульсійно-мінеральна суміш.

## Вступ

Литі емульсійно-мінеральні суміші (ЛЕМС) почали використовувати для влаштування захисних шарів зносу (ЗШЗ) ще у 1930 роках у Німеччині. З того часу почалися детальні дослідження цієї технології, але своєї актуальності вона набула з 1960 року. Застосування суміші стало можливим за рахунок розроблення нових емульгаторів і механізмів, які могли виконувати якісне перемішування всіх компонентів суміші [1].

ЛЕМС почали використовувати для швидкого відновлення транспортно-експлуатаційних показників покриття автомобільних доріг. І як показала світова практика, влаштування ЗШЗ з ЛЕМС є найбільш ефективним та економічним заходом щодо передчасного руйнування дорожнього покриття [1].

Така технологія захищає покриття від зношення, забезпечує його герметизацію (усунення тріщин та дрібних вибоїн глибиною до 15 мм, підвищує шорсткість та покращує зчіпні властивості покриття, знижує шум, а також поліпшує зовнішній вигляд дороги (рис. 1) [2, 3].



*Рисунок 1* — Приклад влаштування захисного шару зносу з ЛЕМС в Італії

Дослідженнями ЛЕМС в Україні почали займатися з 1980 років. Їх проводили такі вітчизняні вчені як Савенко В. Я., Каськів В. І., Петрович В. В., Катюкова В. М., Кіщинський С. В., Гончаренко В. В., Острроверхий О. В., Гончаренко Ф. Ю., Гнатюк Е. М. та інші [2, 4, 5].

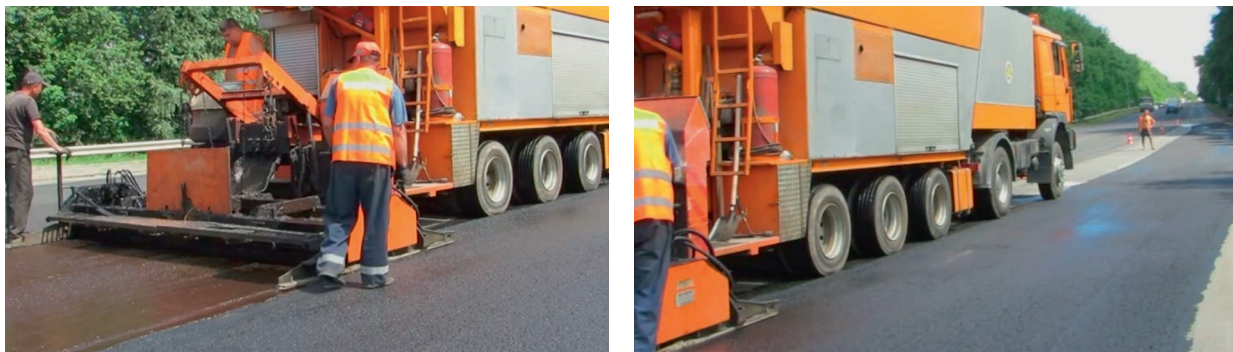
На теперішній час в Україні вимоги до цих сумішей встановлено згідно з СОУ 42.1-37641918-119:2014 «Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови» [6] та ДСТУ-Н Б В.2.3-38:2016 «Настанова з влаштування захисних шарів зносу покриття дорожнього одягу автомобільних доріг» [7]. Але питання проектування таких сумішей та вимог до складників є досі недостатньо вивченим, зокрема це питання щодо використання кам'яних матеріалів та бітумів, що не відповідають вимогам цієї технології, недотримання кількості в'язучого (його надлишок або недостача) тощо.

Вивчення світового досвіду щодо вимог до проектного складу ЛЕМС, а також влаштування покриттів із них дозволить вирішити питання щодо підвищення експлуатаційних властивостей таких покриттів та збільшити строк їх служби.

## Основна частина

Згідно з СОУ 42.1-37641918-119 [6] ЛЕМС — це суміші, які виготовляють змішуванням щебеню, піску із відсіву дроблення гірських порід, бітумної або бітумної модифікованої емульсії, води, мінерального наповнювача та регулятора швидкості формування за температури навколишнього середовища в спеціалізованих пересувних змішувачах-укладальниках.

На теперішній час на автомобільних дорогах України широко використовують технологію влаштування ЗШЗ з ЛЕМС. Тільки на початку 2020 року такі шари влаштовано на км 190 – км 192 автомобільної дороги Н-03 Житомир – Чернівці від межі м. Хмельницького до кільцевої розв’язки на об’їзній (рис. 2) та у Васильківському районі відремонтовано «Митницьку розв’язку» на км 44 та «Васильківську розв’язку» — на 27 км автомобільної дороги М-05 Київ – Одеса (рис. 3) [8, 9].



**Рисунок 2** — Улаштування захисного шару зносу з ЛЕМС на автомобільній дорозі Н-03 Житомир — Чернівці (км 190 — км 192)



а)

б)

а) «Васильківська розв’язка»

б) «Митницька розв’язка»

**Рисунок 3** — Улаштування захисного шару зносу з ЛЕМС на автомобільній дорозі М-05 Київ – Одеса

### **Класифікація ЛЕМС та ЗШЗ із них**

Литі емульсійно-мінеральні суміші поділяють на:

- види, залежно від в’язучого, яке застосовують;
- типи, залежно від найбільшого розміру мінерального матеріалу, який застосовують;
- класи, залежно від розвитку процесу формування та ущільнення суміші.

Також розрізняють два види суміші за наявністю модифікатора в бітумній емульсії: А та Б, де А — суміш з емульсією на основі бітуму, а Б — суміші з емульсією на основі модифікованого бітуму.

За найбільшим розміром зерен кам’яного матеріалу кожний вид суміші поділяють на типи (табл. 1).

*Таблиця 1*

*Види литих емульсійно-мінеральних сумішей за типами*

Ч. ч.	Найбільший розмір зерен	Вид А	Вид Б
1	5	Тип 1	–
2	10	Тип 2	Тип 2
3	15	–	Тип 3

За розвитком процесу формування суміші поділяють на класи (табл. 2).

*Таблиця 2*

*Класифікація литих емульсійно-мінеральних сумішей за класами*

Ч. ч.	Клас суміші	Характеристика суміші за класами		
		Назва процесу формування	Час, в хвилини, до досягнення границиміцності на зсув, МПа	
			0,26	0,43
1	1	Повільне схоплювання, повільне самоущільнення	більше 30	більше 60
2	2	Швидке схоплювання, повільне самоущільнення	не більше 30	більше 60
3	3	Швидке схоплювання, швидке самоущільнення	не більше 30	не більше 60
4	4	Надшвидкесхоплювання, надшвидкесамощільнення	не більше 20	не більше 45
5	5	Фіктивнесхоплювання, повільнесамощільнення	не більше 30	більше 60

Згідно з EN 12273 [10] покриття з ЛЕМС має назву «Slurrysurfacing» та його класифікують за двома типами: micro-surfacing та slurryseal. Суміші типу micro-surfacing із технологічної точки зору здебільшого схожі зі slurryseal. Основні складники для slurryseal і micro-surfacing одні й ті самі: бітумна емульсія, яка надає пластичність та забезпечує адгезію, інертний матеріал для забезпечення міцності та вода. Але суміш типу micro-surfacing передбачає обов'язковий вміст полімерних добавок. Цей тип покриття можуть улаштувати в декілька шарів, він усуває колійність за рахунок подання матеріалу з підвищеним вмістом щебню. Slurryseal швидко твердіє. Товщина шару типу slurryseal становить щонайбільше (1,0–1,5) см, тоді як micro-surfacing може бути завтовшки 2 см.

Згідно з вимогами ДСТУ-Н Б В.2.3-38 [7] ЗШЗ із ЛЕМС бувають двох типів: *тонкі* (на основі модифікованих бітумних емульсій) та *надтонкі* (на основі звичайних бітумних емульсій) (табл. 3).

*Таблиця 3*

*Тип захисних шарів зносу з литих емульсійно-мінеральних сумішей*

Ч. ч.	Тип ЗШЗ за товщиною	Товщина шару, мм	Вид ЛЕМС
1	Тонкі	10–40 (50)	на модифікованих бітумних емульсіях
2	Надтонкі	5–10 (15)	на звичайних бітумних емульсіях

Також згідно з EN 12273 [10] передбачено влаштування ЗШЗ з ЛЕМС на ділянках площею більше ніж 500 м<sup>2</sup>, тоді як згідно з ДСТУ-Н Б В.2.3-38 [7] вимоги до протяжності або площі відсутні, а влаштування цих шарів можливо навіть під час здійснення капітального ремонту (див. табл. 1 [7]).

### Вимоги до складників згідно з EN 12273

**В'язуче.** У якості в'язучого використовують бітумну емульсію або полімермодифіковану бітумну емульсію згідно з EN 13808 [11]. Когезія бітумного в'язучого має відповідати класам згідно з EN 13808[11]. Для окремих цілей можуть використовувати інші в'язучі, наприклад, стійкі до дії розлитого палива, які мають відповідне призначення та експлуатаційні характеристики згідно з EN 13808 [11].

**Заповнювач.** Рівні та класи заповнювачів мають відповідати властивостям та категоріям згідно з EN 13043 [12]. Для заповнювачів визначають значення характеристик, наведених у табл. 4.

*Таблиця 4*

*Вимоги до заповнювачів згідно з EN 12273*

Ч. ч.	Найменування характеристики	Вимоги
<b>Крупний заповнювач</b>		
1	Морозостійкість	ДСТУ EN 13043 [12]
2	Стійкість до подрібнення	
3	Водопоглинання	
4	Стійкість до стираності	
5	Максимальний розмір фракцій заповнювача	
<b>Дрібний заповнювач</b>		
1	Морозостійкість	ДСТУ EN 13043 [12]
2	Якість дрібних фракцій	
3	Водопоглинання	

Максимальний номінальний розмір заповнювача (у міліметрах) визначають згідно з такими вимогами:

- базовий набір + набір сит 1: 2; 4; 5,6 (5); 8; 11,2 (11) або
- базовий набір + набір сит 2: 2 (або 2,8); 4; 6,3 (6); 8; 10; 12,5 (12).

У табл. 5 наведено гранулометричний склад суміші, а в табл. 6 — вміст в'язучого для покриття типу micro-surfacing, який застосовують на території Німеччини [13].

*Таблиця 5*

*Гранулометричний склад суміші туну micro-surfacing (Німеччина)*

Ч. ч.	Розмір сит, мм	Вимірник	II	III
1	11,2	%	–	100
2	8,0	%	100	90-100
3	5,6	%	90–100	45–90
4	2,8	%	–	–
5	2,0	%	35–65	30–55
6	0,063	%	4–12	4–10

*Таблиця 6*

*Вміст в'язучого в суміші туну micro-surfacing (Німеччина)*

Ч. ч.	Мінімальна кількість в'язучого, % за сухою масою суміші	II	III
1	Нижній шар	6,2	5,2
2	Верхній шар	6,5	5,5

**Наповнювач.** Для регулювання часу розпаду бітумної емульсії, а також пластичності суміші використовують цемент згідно з EN 197-1 [14] або будівельне вапно згідно з EN 459-1 [15].

**Вимоги до складників згідно з СОУ 42.1-37641918-119**

**Заповнювач.** Кам'яний матеріал повинен проходити двостадійне дроблення. Форма зерен має максимально наближатися до кубовидної, а лещадність — не перевищувати 10 %.

*Таблиця 7*

*Гранулометричний склад литих емульсійно-мінеральних сумішей*

Діаметр отворів сит, мм	Повний прохід через сито, % за масою, для сумішей		
	Тип I	Тип II	Тип III
1	2	3	4
15	100	100	100
10	100	100	80–94
5	100	91–100	71–90
2,5	90–100	65–90	45–70
1,25	67–91	46–71	29–51
0,63	41–66	31–51	20–35
0,315	24–41	17–29	12–24
0,14	14–28	9–20	7–18
0,071	10–20	5–15	5–15

**В'язуче.** Використовують не модифіковані та модифіковані катіонні бітумні емульсії, середньо- та повільнорозпадні марок ЕКП-60, ЕКПМ-60, ЕКП-65, ЕКПМ-65, ЕКС-65 та ЕКСМ-65 згідно з ДСТУ Б В.2.7-129 [16]. Для приготування емульсій використовують бітуми нафтові дорожні в'язкі згідно з ДСТУ 4044 [17] або СОУ 45.2-00018112-069 [18], бітуми модифіковані — згідно з [19-21].

**Наповнювач.** Для поліпшення фракційного складу кам'яного матеріалу, регулювання часу розпаду і пластичності суміші використовують мінеральні наповнювачі, а саме цемент або молотий вапняк, доломіт, базальт, золу [6].

**Вода.** Для приготування сумішей необхідно використовувати питну воду або технічну воду згідно з чинними нормативними документами без механічних домішок із середньою жорсткістю не вище ніж 6 мг-екв/л [6].

**Регулятор часу розпаду.** Як регулятор часу розпаду суміші застосовують поверхнево-активні речовини (ПАР).

Фізико-механічні показники ЛЕМС встановлено в ДСТУ-Н Б В.2.3-38 [7] і вони мають відповідати значенням, наведеним у табл. 8.

*Таблиця 8*

*Фізико-механічні показники литих емульсійно-мінеральних сумішей*

Ч. ч.	Назва показника	Вимірник	Значення для сумішей	
			Вид А	Вид Б
1	Границя міцності на зсув, через: - 30 хв, не менше ніж - 60 хв, не менше ніж	МПа	0,25 0,42	0,25 0,42
2	Поглинання піску, не більше ніж	г/м <sup>2</sup>	500	500
3	Зчеплюваність в'язучого з мінеральною частиною, не менше ніж	%	90	90
4	Втрата матеріалу при вологому абразивному зносі через:  1 год замочування, не більше ніж 6 днів замочування, не більше ніж	г/м <sup>2</sup>	800  –	530  800
5	Середня густина після 1000 циклів навантаження, не менше ніж	г/см <sup>3</sup>	2,10	2,10
6	Розлив конуса	см	2–3	–
7	Час кінця розпаду, не менше ніж	с	180	120

**Контроль якості влаштованих ЗШЗ згідно з вітчизняними вимогами**

Види робіт та параметри, що контролюють, встановлено згідно з ДБН В.2.3-4 [22] та наведено в табл. 9.

*Таблиця 9*

*Контроль якості влаштованого захисного шару зносу*

Параметр, що контролюють	Кількість і місце вимірів та випробувань під час контролю	Допустимий відхил
Якість готового шару	Зовнішній огляд і контрольні вимірювання. До дефектів відносять прогалини шару зносу (за винятком смуги завширшки до 10 см біля крайок проїзної частини при неукріплених узбіччях і до 5 см – при укріплених), та місця прояву в'язучого на поверхні покриття, нашарування щебеню (на стиках захваток та поздовжніх стиках)	Визначені місця заміряють і визначають площу кожного з них. Загальна площа дефектів не повинна перевищувати 0,3 % від усієї площі влаштованого шару зносу, а кількість дефектів – 5 штук на 9000 м <sup>2</sup> покриття

**Контроль якості влаштованих ЗШЗ згідно з європейськими вимогами**

Для кожної технічної вимоги визначають категорій експлуатаційних характеристик (табл. 10). Усього встановлено шість категорій (0—5). Вибір категорії для всіх технічних вимог виконують таким чином, щоб запобігти технічно несумісним комбінаціям, наприклад, категорії 4 з крупнозернистою макроструктурою та категорії 1 із дефектами з утворенням надлишків в'язучого.

Так, згідно з європейським стандартом [10] встановлено вимоги до візуального оцінювання, значення утворення шуму, опору ковзанню, показників зносостійкості, зчеплення та шорсткості.



Категорії експлуатаційних характеристик

Характеристики покриття типу Slurry			Категорії					
Технічна вимога	Посилання	Вимірник	0	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Візуальне оцінювання дефектів								
$P_1$ — випотівання, утворення надлишкової кількості та смуг матеріалу	EN 12274-8 [23]	%	ПНВ	≤ 8	≤ 2	≤ 0,5	≤ 0,2	
$P_2$ — викришування, втрата заповнювача, вибоїни між смугами руху, колієутворення та погіршення зчеплення коліс з поверхнею покриття	EN 12274-8 [23]	%	ПНВ	≤ 8	≤ 2	≤ 0,5	≤ 0,2	
$P_3$ — гребінки, хвилі та напливи	EN 12274-8 [23]	%	ПНВ	≤ 8	≤ 2	≤ 0,5	≤ 0,2	
$P_{4(n)}$ — дрібні повторювані дефекти	EN 12274-8 [23]	%	ПНВ	≤ 20 (20)	≤ 5 (6)	≤ 1 (2)	≤ 0,2 (1)	
$L$ — поздовжні канавки (борозди)	EN 12274-8 [23]	м	ПНВ	< 20	< 10	< 5	< 1	
Характеристики поверхні								
Шорсткість	EN 13306-1 [24]	мм	ПНВ	≥ 0,2	≥ 0,4	≥ 0,6	≥ 0,8	≥ 1,0
Утворення шуму Шорсткість	EN 13306-1 [24]	мм	Заявлене максимальне значення					
Складники								
Когезія в'язучого — бітумної емульсії	EN 13808 [11]		Декларують відповідно до класів згідно з EN 13808 [11]					
Заповнювач — показник зносостійкості	EN 13043 [12]		Декларують відповідно до категорій згідно з EN 13043 [12]					
$L$ — поздовжні канавки (борозди)	EN 12274-8 [23]	м	ПНВ	< 20	< 10	< 5	< 1	
Характеристики поверхні								
Шорсткість	EN 13306-1 [24]	мм	ПНВ	≥ 0,2	≥ 0,4	≥ 0,6	≥ 0,8	≥ 1,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Складники								
Утворення шуму Шорсткість	EN 13306-1 [24]	мм	Задеклароване максимальне значення					
Когезія в'язучого — бітумної емульсії	EN 13808 [11]		Декларують відповідно до класів згідно з EN 13808 [11]					
Заповнювач — показник зносостійкості	EN 13043 [12]		Декларують відповідно до категорій згідно з EN 13043 [12]					
Заповнювач — визначення зносостійкості за допомогою «мікро- Деваль»	EN 13043 [12]		Декларують відповідно до категорій згідно з EN 13043 [12]					
Заповнювач — визначення зносостійкості під дією шипованих шин	EN 13043 [12]		Декларують відповідно до категорій згідно з EN 13043 [12]					
Тип покриття типу Slurry			Задекларований тип, який має включати максимальний розмір заповнювача ( $D$ , який визначають згідно з EN 13043[12]) та тип в'язучого (для кожного шару)					
Інші характеристики складників								
В'язучі — можна обирати інші характеристики в'язучих згідно з EN 13808 [11]								
Заповнювачі — можна обирати інші характеристики заповнювачів згідно з EN 13043 [12]								

Візуальне оцінювання дефектів згідно з EN 12274-8[23] виконують для основних характеристик: зчеплення в'язучого із заповнювачем, стійкості до текучості/деформації, здатності до затвердіння або часу схоплення, зносостійкості та зчеплення з нижнім шаром та їх довговічності, а також має містити вимірювання шорсткості поверхні покриття.

Візуальне оцінювання дефектів виконують на 11—13 місяць після влаштування. До того ж встановлено, що зазвичай більшість дефектів виникає протягом перших дванадцяти місяців після влаштування ЗШЗ. Результати візуального оцінювання після дванадцяти місяців від моменту влаштування свідчать про довговічність та їх використовують під час сертифікації влаштованого типу покриття (СВТП). Однак зазначено, що точне визначення строку експлуатації не можливо через вплив зміни рівня інтенсивності дорожнього руху, клімату, стану нижнього шару тощо.

Якщо утворення шуму характеризують за шорсткістю, то його визначають згідно з EN 13036-1 [24].

Довговічність показника опору ковзанню може бути визначено вимірюванням показника зносостійкості (ПЗЗ) згідно з EN 13043 [24] разом із вимірюванням шорсткості згідно з EN 13036-1 [24]. Шорсткість визначають згідно з EN 13036-1 або за допомогою лазерних аналізаторів текстури згідно з EN ISO 13473-1 [25].

Як бачимо, існуюча класифікація здебільшого схожа на європейську. Існують відмінності

у гранулометричному складі, оскільки за європейськими вимогами найбільший розмір зерен має бути не більше ніж 10 мм. Окрім того різняться розміри сит для його визначення.

Також можна відзначити, що встановлена товщина шару згідно з вітчизняними вимогами занадто велика для таких покриттів. З європейського досвіду товщина шару не має перевищувати 1,5 діаметра найбільшого розміру зерна.

Згідно з європейськими вимогами існує більш детальна процедура контролю якості, а також встановлено цілу систему сертифікації влаштованого покриття.

### Висновки

За результатами проведеного аналізу європейських і вітчизняних вимог можна зробити такі висновки:

1. Застосування ЛЕМС — це, по-перше, якісні превентивні заходи, які дозволяють економити час та гроші на часті ремонтні роботи, а також використання великої кількості техніки. По-друге, це покращення експлуатаційного стану автомобільної дороги, а також її зовнішнього вигляду вцілому.
2. Потрібно провести детальне вивчення вимог із проведенням лабораторних випробувань та надати пропозиції щодо перегляду діючих вимог до ЛЕМС в частині гранулометричного складу, товщини захисних шарів зносу з них, а також вимог до приймання робіт та контролю якості.
3. Необхідно розроблення національного стандарту, ідентичного EN 13036-1 щодо визначення шорсткості [24].

### Список літератури

1. Солодкий С.Й., Сідун Ю.В., Волліс О.С. Підбір оптимального складу литої емульсійно-мінеральної суміші за критерієм розпаду. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва*. Львів, 2013. № 755. С. 406-410. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPTPB\\_2013\\_755\\_74](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPTPB_2013_755_74) (дата звернення: 21.07.2020).
2. Кіщинський С.В., Гончаренко Ю.Ф., Гнатюк Е.М. Досвід та проблеми влаштування на дорогах України тонкошарових покриттів типу «Сларрі Сіл». *Дороги і мости*. Київ, 2008. Вип. 10. 2013. С. 305-312.
3. Andrea Grilli, Andrea Graziani, Alan Carter, Cesare Sangiorgi, Luciano Pivoto Specht, Sergio Copetti Callai. Slurry surfacing: a review of definitions, descriptions and current practices. *RILEM technical letters*. Paris, 2019. P. 103-109. DOI: <http://dx.doi.org/10.21809/rilemtechlett.2019.91> (дата звернення: 21.07.2020).
4. Савенко В.Я., Островерхий О.Г., Каськів В.І., Петрович В.В., Каськів С.В. Новий стандарт організацій на суміші литі емульсійно-мінеральні. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2015. Вип. 93. С. 48-53. URL: [http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi\\_i\\_stroitelstvo/93/048-053.pdf](http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/93/048-053.pdf) (дата звернення: 21.07.2020).
5. Литі емульсійно-мінеральні суміші з використанням сульфату алюмінію для влаштування тонкошарових покриттів. URL: [https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P\\_vcheniy\\_sec\\_retar/%D0%90%D0%92%D0%A2%D0%9E%D0%9C\\_%D0%A2%D0%A0%D0%90%D0%9D%D0%A1%D0%9F/%D0%9F%D0%9F%D0%90%D0%A2/Efektivnij\\_SHar.pdf](https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_vcheniy_sec_retar/%D0%90%D0%92%D0%A2%D0%9E%D0%9C_%D0%A2%D0%A0%D0%90%D0%9D%D0%A1%D0%9F/%D0%9F%D0%9F%D0%90%D0%A2/Efektivnij_SHar.pdf) (дата звернення: 18.06.2020).
6. СОУ 42.1-37641918-119:2014 Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови. Київ, 2014. 27 с. (Інформація та документація).
7. ДСТУ-Н Б В.2.3-38:2016 Настанова з влаштування захисних шарів зносу покриття дорожнього одягу автомобільних доріг. Київ, 2017. 21 с. (Інформація та документація).

8. URL: <https://www.facebook.com/watch/?v=2892076487585666> (дата звернення: 21.07.2020).
9. На Васильківщині ремонтують розв'язки за технологією ЛЕМС. URL: <https://www.poglyad.tv/na-vasylkivshhyni-remontuyut-rozv-yazky-za-tehnologiyeyu-lems/> (дата звернення: 21.07.2020).
10. EN 12273:2008 Slurry surfacing. Requirements. Brussels, 2008. 30 p. (Інформація та документація).
11. EN 13808:2013 Bitumen and bituminous binders. Framework for specifying cationic bituminous emulsions. Brussels, 2013. 50 p. (Інформація та документація).
12. EN 13043:2013 Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments for roads, airfields and other trafficked areas. Brussels, 2013. 48 p. (Інформація та документація).
13. Белов Д.Я., Добрынин А.О., Минзуренко А.А. Анализ эффективных способов устройства тонкослойных покрытий и поверхностной обработки дорожных одежд. *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. Вып. 1. Пермь, 2018. DOI: 10.15593/24111678/2018.01.03 (дата звернення: 20.07.2020).
14. EN 197-1:2011 Cement Composition, specifications and conformity criteria for common cements. Brussels, 2011. 56 p. (Інформація та документація).
15. EN 459-1:2015 Building lime Definitions, specifications and conformity criteria. Brussels, 2015. 56 p. (Інформація та документація).
16. ДСТУ Б В.2.7-129:2013 Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови. Київ, 2014. 25 с. (Інформація та документація).
17. ДСТУ 4044:2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. Київ, 2020. 15 с. (Інформація та документація).
18. СОУ 45.2-00018112-069:2011 Бітуми нафтові дорожні в'язкі дистиляційні. Технічні умови. Київ, 2011. 20 с. (Інформація та документація).
19. СОУ 45.2-00018112-067:2011 Бітуми дорожні в'язкі, модифіковані добавками адгезійними. Технічні умови. Київ, 2011. 21 с. (Інформація та документація).
20. СОУ 45.2-00018112-068:2011 Бітуми дорожні в'язкі, модифіковані добавками на основі синтетичних восків. Технічні умови. Київ, 2011. 23 с. (Інформація та документація).
21. ДСТУ Б В.2.7-135:2014 Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови. Київ, 2015. 30 с. (Інформація та документація).
22. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015. 104 с. (Інформація та документація).
23. EN 12274-8:2005 Slurry surfacing. Test methods. Visual assessment of defects. Brussels, 2005. 26 p. (Інформація та документація).
24. EN 13036-1:2010 Road and airfield surface characteristics. Test methods. Measurement of pavement surface macrotexture depth using a volumetric patch technique Brussels, 2010. 14 p. (Інформація та документація).
25. EN ISO 13473-1:2019 Characterization of pavement texture by use of surface profiles. Part 1: Determination of mean profile depth. Switzerland, 2019. 50 p. (Інформація та документація).

### References

1. Solodkyi S.Y., Sidun Yu.V., Vollis O.Ye. Pidbir optymalnoho skladu lytoi emulsiino-mineralnoi sumishi za kryteriiem rozpadu (Selecting the optimal composition of Slurry Seal for criterion of the mixture breakup). *Vіsник L'vivskogo ordena Lenina politehničnogo institutu*. Lviv, 2013. N 755.

- P. 406-410. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPTPB\\_2013\\_755\\_74](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPTPB_2013_755_74) (Last accessed: 18.06.2020) [in Ukrainian].
2. Kishchynskyi S.V., Honcharenko Yu. F., Hnatiuk E.M. Dosvid ta probemy vlshtuvannia na dorohakh Ukrainy tonkosharovykh pokryttiv typu «Slarri Sil» (Experience and problems of installation of thin-layer pavements such as «Slarry Seal» on the roads of Ukraine). *Dorogi i mosti*. Kyiv, 2008. Iss. 10. P. 305-312. [in Ukrainian].
  3. Andrea Grilli, Andrea Graziani, Alan Carter, Cesare Sangiorgi, Luciano Pivoto Specht, Sergio Copetti Callai. Slurry surfacing: a review of definitions, descriptions and current practices. *RILEM technical letters*. Paris, 2019. P. 103-109. DOI: <http://dx.doi.org/10.21809/rilemtechlett.2019.91> (Last accessed: 21.07.2020) [in English].
  4. Savenko V. Ya., Ostroverkhyy O. H., Kaskiv V.I., Petrovych V.V., Kaskiv S.V. Novyi standart orhanizatsii na sumishi lyti emulsiino-mineralni (A new standard for organizations based on cast emulsion-mineral mixtures). *Avtomobil'ni dorogi i dorozhne budivnictvo*. Kyiv, 2015. Iss. 93. P. 48-53. URL: [http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi\\_i\\_stroitelstvo/93/048-053.pdf](http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/93/048-053.pdf) (Last accessed: 21.07.2020) [in Ukrainian].
  5. Lyti emulsiino-mineralni sumishi z vykorystanniam sulfatu aliuminiuu dlia vlashtuvannia tonkosharovykh pokryttiv (Slurry surfacing using aluminum sulfate for the device of thin-layer pavements) URL: [https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P\\_vcheniy\\_secretar/%D0%90%D0%92%D0%A2%D0%9E%D0%9C\\_%D0%A2%D0%A0%D0%90%D0%9D%D0%A1%D0%9F/%D0%9F%D0%9F%D0%90%D0%A2/Efektivnij\\_SHar.pdf](https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_vcheniy_secretar/%D0%90%D0%92%D0%A2%D0%9E%D0%9C_%D0%A2%D0%A0%D0%90%D0%9D%D0%A1%D0%9F/%D0%9F%D0%9F%D0%90%D0%A2/Efektivnij_SHar.pdf) (Last accessed: 18.06.2020) [in Ukrainian].
  6. SOU 42.1-37641918-119:2014 Sumishi lyti emulsiino-mineralni. Tekhnichni umovy (Management organization standard (SOU 42.1-37641918-119:2014) Slurry surfacing. Technical requirements). Kyiv, 2014. 27 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
  7. DSTU-N B.V.2.3-38:2016 Настанова з влаштування захисних шарів зносу покриття дорожнього одягу автомобільних доріг (State Standard of Ukraine (DSTU-N B.V.2.3-38:2016) Guide for coating protective wear layers of pavements of roads). Kyiv, 2017. 21 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
  8. URL: <https://www.facebook.com/watch/?v=2892076487585666> (Last accessed: 21.07.2020) [in Ukrainian].
  9. Na Vasylykivshchyni remontuiut rozv'язky za tekhnolohiieiu LEMS (LEMS technology junctions are being repaired in Vasylykivshchyna). URL: <https://www.poglyad.tv/na-vasylkivshhyni-remontuyut-rozv-yazky-za-tehnologiyeyu-lems/> (Last accessed: 21.07.2020) [in Ukrainian].
  10. EN 12273:2008 Slurry surfacing – Requirements. Brussels, 2008. 30 p. (Information and documentation) [in English].
  11. EN 13808:2013 Bitumen and bituminous binders. Framework for specifying cationic bituminous emulsions. Brussels, 2013. 50 p. (Information and documentation) [in English].
  12. EN 13043:2013 Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments for roads, airfields and other trafficked areas. Brussels, 2013. 48 p. (Information and documentation) [in English].
  13. Belov D.Y., Dobrynin A.O., Minzurenko A.A. Analysis of effective ways of the device of thin layer coverings and surface treatment of road clothes. *Transport, transportnye sooruzheniâ, Èkologiâ*. Perm, 2018. Iss. 1. P. 21–31. DOI: 10.15593/24111678/2018.01.03 (Last accessed: 20.07.2020) [in Russian].
  14. EN 197-1:2011 Cement Composition, specifications and conformity criteria for common cements. Brussels, 2011. 56 p. (Information and documentation) [in English].
  15. EN 459-1:2015 Building lime Definitions, specifications and conformity criteria. Brussels, 2015. 56 p. (Information and documentation) [in English].
  16. DSTU B V.2.7-129:2013 Emulsii bitumni dorozhni. Tekhnichni umovy (State Standard

of Ukraine (DSTU B V.2.7-129:2013) Bituminous road emulsions. Specification). Kyiv, 2008. 25 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

17. DSTU 4044:2019 Bitumy naftovi dorozhni viazki. Tekhnichni umovy (State Standard of Ukraine (DSTU 4044:2019) Viscous petroleum road bitumens. Specification). Kyiv, 2020. 15 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

18. SOU 45.2-00018112-069:2011 Bitumy naftovi dorozhni viazki dystyliatsiini. Tekhnichni umovy (Management organization standard (SOU 45.2-00018112-069:2011) Bitumens petroleum road viscous for distillation. Specifications). Kyiv, 2011. 20 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

19. SOU 45.2-00018112-067:2011 Bitumy dorozhni viazki, modyfikovani dobavkamy adheziinymy. Tekhnichni umovy (Management organization standard (SOU 45.2-00018112-067:2011) Road bitumen, modified with adhesive additives. Specifications). Kyiv, 2011. 21 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

20. SOU 45.2-00018112-068:2011 Bitumy dorozhni viazki, modyfikovani dobavkamy na osnovi syntetychnykh voskiv. Tekhnichni umovy (Management organization standard (SOU 45.2-00018112-068:2011) Road viscous bitumens modified with additives based on synthetic waxes. Specifications). Kyiv, 2011. 23 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

21. DSTU B V.2.7-135:2014 Bitumy dorozhni, modyfikovani polimeramy. Tekhnichni umovy (State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-135:2014) Polymer-modified road bitumens. Specifications). Kyiv, 2015. 30 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

22. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannya Chastyna II. Budivnytstvo (State Building Norms (DBN V.2.3-4:2015) Highways. Part I. Design. Part II. Building). Kyiv, 2015. 104 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

23. EN 12274-8:2005 Slurry surfacing. Test methods. Visual assessment of defects. Brussels, 2005. 26 p. (Information and documentation) [in English].

24. EN 13036-1:2010 Road and airfield surface characteristics. Test methods. Measurement of pavement surface macrotexture depth using a volumetric patch technique Brussels, 2010. 14 p. (Information and documentation) [in English].

25. EN ISO 13473-1:2019 Characterization of pavement texture by use of surface profiles. Part 1: Determination of mean profile depth. (Information and documentation). Switzerland, 2019. 50 p. [in English].

---

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

Tetiana Malii, <https://orcid.org/0000-0002-2008-8164>

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

### ***COMPARATIVE ANALYSIS OF DOMESTIC AND EUROPEAN REQUIREMENTS FOR CAST EMULSION-MINERAL MIXTURES***

#### ***Abstract***

**Introduction.** Pavement of cast emulsion-mineral mixtures is arranged for improving the riding qualities of the road, as well as maintaining them at an appropriate level.

**Problem Statement.** Constant increase of transport load on the motor roads leads to premature wear and reduce the time of their repair. The lack of financial resources to carry out timely repair makes it difficult to maintain riding quality of roads in proper condition. Therefore, finding new opportunities to prevent this situation is an urgent issue for the road industry. The world experience of application of

technology of thin-layer pavement arrangement (in Ukraine — «protective wear layers») with cast emulsion-mineral mixtures has shown its effectiveness and efficiency due to which they achieve the necessary indicators of adhesion, roughness and evenness and extension of terms of highway overhauls. Currently, in Ukraine, the requirements for these mixtures are established according to SOU 42.1-37641918-119:2014 «Cast emulsion-mineral mixtures. Specifications» and DSTU-N B.V.2.3-38:2016 «Guidelines for the arrangement of protective wear layers of highways pavement». At the same time, the issue of design of such mixtures and requirements to the components is still insufficiently studied, in particular, the issue of using the stone materials that do not meet the requirements of this technology, non-compliance with the amount of binder (its surplus or shortage) and others. So, the primary task is to find solutions to these issues.

The purpose. To carry out the analysis of European and domestic experience of using the cast emulsion-mineral mixtures in road construction for further using the obtained data to improve the quality and durability of road pavements.

Materials and methods. Performance of comparative analysis of domestic and European literature sources, regulations on requirements to cast emulsion-mineral mixtures and experience of their arrangement on roads.

Results. Analytical review and comparative analysis of requirements for cast emulsion-mineral mixtures for the arrangement of wear layers of road pavement were carried out.

Conclusions. During the comparative analysis of requirements for cast emulsion-mineral mixtures it was established that it is necessary to conduct detailed studies with laboratory tests and to develop proposals for revision of domestic requirements for cast emulsion-mineral mixtures (CEMM (JIEMC-ukr)) in terms of mix design, thickness of protective wear layers from them, requirements for acceptance of works and quality control. It is also necessary to harmonize the European standard for determining the roughness of the road pavement.

**Keywords:** micro-surfacing, slurryseal, highway, bituminous emulsion, road pavement, road-building materials, protective wear layer, cast emulsion-mineral mixture.

УДК 666.972.162

Стьожка В. В., канд. техн. наук., доц., <https://orcid.org/0000-0002-5039-9852>

Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

**ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ ДОРІГ  
ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ ГІДРОФОБНИХ ХІМІЧНИХ ДОБАВОК****Анотація**

**Вступ.** Вітчизняний і закордонний досвід будівництва доріг із одягом жорсткого типу підтверджує перспективність широкого впровадження цементних бетонів для забезпечення надійної та безвідмовної їх експлуатації протягом тривалого періоду при незначних витратах на утримання. Закордоном розрахунковий період експлуатації покриттів жорсткого типу становить 35–50 років, в Україні — 25–40. Жорсткі дорожні одяги мають ряд переваг, проте і недоліки такі, як висока ймовірність утворення тріщин у бетонних плитах та їх відображення з шарів основи на шари покриття, високі капітальні витрати на будівництво, неможливість відкриття руху відразу після будівництва — необхідність витримування 14 діб до набору від 70 % до 75 % міцності та 28 діб до отримання марочної міцності, високий рівень шуму і вібрації при проїзді транспортного засобу, необхідність влаштування температурних і робочих швів, нетехнологічність при ремонті стримують впровадження цементних бетонів у практику дорожнього будівництва. Більшість перерахованих недоліків можна усунути використовуючи сучасні матеріали та технології.

**Проблематика.** Цементобетонне покриття автомобільних доріг працює в умовах складного напруженого стану під впливом повторних навантажень від автомобілів і змінних температурно-вологісних параметрів. Крім того, для конгломератних матеріалів типу цементобетона характерні внутрішні напруження, які обумовлені неоднорідністю їх структури, а також постійними процесами структуроутворення та деструкції. Одним із напрямків підвищення довговічності цементобетону для покриття доріг є застосування хімічних добавок, які здатні кольматувати пори, надавати поверхні бетону гідрофобізуючі властивості. Базуючись на сучасних уявленнях фізико-хімічних поверхневих процесів, можна зробити висновок, що введення в бетонну суміш малої кількості кремнійорганічних речовин разом з водою зачинення, дасть можливість значно покращити довговічність і стійкість проти одночасно діючих на бетон агресивних факторів і зовнішнього навантаження. На морозостійкість, корозійну стійкість і довговічність цементобетону дорожнього покриття великий вплив має характер загальної пористості бетону, розмір окремих пор, форма і взаємний зв'язок між ними. Ці фактори змінюються в процесі твердіння цементобетону та його експлуатації. Впливати на ці характеристики можна хімічними та фізичними методами.

**Мета.** Мета роботи полягає у покращенні довговічності цементобетону для покриття автомобільних доріг за рахунок використання гідрофобних добавок.

**Матеріали та методи.** Аналіз наукових видань, технічної та нормативної літератури щодо підвищення довговічності цементобетонів покриття автомобільних доріг.

**Результати.** Визначено перспективи напрямку підвищення довговічності цементобетону автомобільних доріг за рахунок використання гідрофобних хімічних добавок. Результатом проведених досліджень є встановлення високої ефективності гідрофобних добавок у технології виготовлення дорожнього цементобетону.

**Висновки.** Таким чином, у результаті проведення досліджень встановлено, що гідрофобізуюча добавка позитивно сприяє проходженню фізико-хімічних процесів гідратації



цементу порівняно з еталомом, встановлено оптимальну кількість добавки, яка знаходиться в межах від 0,10 % до 0,15 % від ваги цементу; застосування гідрофобізуючої добавки дозволяє за рахунок газоутворення зменшити В/Ц при заданій легкоукладальності; підвищити фізико-механічні властивості, тріщиностійкість та довговічність цементобетону покриття автомобільних доріг.

**Ключові слова:** водонепроникність, гідрофобна добавка, довговічність, міцність, морозостійкість, цементобетонне покриття.

### Вступ

Вітчизняний і закордонний досвід будівництва доріг із одягом жорсткого типу підтверджує перспективність широкого впровадження цементних бетонів, як матеріалу покриття, для забезпечення надійної та безвідмовної їх експлуатації протягом тривалого періоду при незначних витратах на утримання. Закордоном розрахунковий період експлуатації покриттів жорсткого типу становить 35–50 років, в Україні — 25–40.

До переваг жорстких дорожніх одягів можна віднести:

- високу міцність цементобетону (у 5–7 разів) і загальну жорсткість покриття порівняно з асфальтобетоном;
- значну довговічність цементобетону;
- зростання міцності цементобетону у часі за рахунок поглиблення гідратації цементу;
- високу корозійну стійкість, морозостійкість і водонепроникність при застосуванні сучасних хімічних добавок;
- доступне обладнання для швидкісного будівництва бетонного покриття з високими показниками рівності;
- досить стабільний показник коефіцієнта зчеплення цементобетонного покриття з колесами автомобіля і слабкою залежністю його від ступеня зволоження;
- більш низькі витрати на експлуатацію (покриття майже не потребує утримання, крім догляду за швами);
- здатність бетонної плити розподіляти навантаження від транспортних засобів на велику площу дозволяє використовувати її при будівництві на слабких ґрунтах, на дорогах, матеріал основи яких має незначний модуль деформації, на високих насипах;
- підвищена безпека руху за рахунок кращих кольорових показників видимості поверхні під час поганих умов проїзду (число ДТП на 32 % менше порівняно з асфальтобетоном).

Проте, такі недоліки, як висока ймовірність утворення тріщин у бетонних плитах та їх відображення з шарів основи на шари покриття, високі капітальні витрати на будівництво, неможливість відкриття руху відразу після будівництва — необхідність витримування 14 діб до набору від 70 % до 75 % міцності та 28 діб до отримання марочної міцності, високий рівень шуму і вібрації при проїзді транспортного засобу, необхідність влаштування температурних і робочих швів, нетехнологічність при ремонті стримують впровадження цементних бетонів у практику дорожнього будівництва. Більшість перерахованих недоліків можна усунути використовуючи сучасні матеріали та технології.

**Постановка проблеми.** Цементобетонне покриття автомобільних доріг працює в умовах складного напруженого стану під впливом повторних навантажень від автомобілів і змінних температурно-вологісних параметрів. Крім того, для конгломератних матеріалів типу цементобетонна характерні внутрішні напруження, які обумовлені неоднорідністю їх структури, а також постійними процесами структуроутворення та деструкції. Одним із напрямків підвищення

довговічності цементобетону для покриття дорі є застосування хімічних добавок, які здатні кольматувати пори, надавати поверхні бетону гідрофобізуючі властивості. Базуючись на сучасних уявленнях фізико-хімічних поверхневих процесів, можна зробити висновок, що введення у бетонну суміш малої кількості кремнійорганічних речовин разом із водою зачинення, дасть можливість значно покращити довговічність і стійкість проти одночасно діючих на бетон агресивних факторів і зовнішнього навантаження. На морозостійкість, корозійну стійкість і довговічність цементобетону дорожнього покриття великий вплив має характер загальної пористості бетону, розмір окремих пор, їх форма та взаємний зв'язок між ними. Ці фактори змінюються в процесі твердіння цементобетону та його експлуатації. Впливати на ці характеристики можна хімічним і фізичним методами.

Добавки, що модифікують цементний бетон покриття доріг, повинні задовольняти певним вимогам:

- хімічні добавки, що підвищують водостійкість, морозостійкість і корозійну стійкість, повинні бути досить ефективними для того, щоб при малих дозах вони знижували капілярне підсмоктування, водопоглинання і підвищували водонепроникність бетонів дорожніх покриттів;
- дія добавок повинна бути довготривалою;
- добавки, в оптимальній кількості і концентрації, не повинні негативно впливати на інші властивості цементобетонного покриття доріг;
- добавки повинні бути нетоксичними, доступними та економічно доцільними, а їх використання в дорожньому будівництві має бути простим, технологічним і обґрунтованим [1, 2].

Добавки, що підвищують водостійкість, морозостійкість і корозійну стійкість цементобетонних покриттів можна розділити таким чином: тонкомолоті, з гідравлічними властивостями або властивостями колоїдних речовин; добавки, що підвищують гідрофобність бетонів дорожніх покриттів; полімерні і добавки, що полімеризуються в бетоні; солі неорганічних кислот, що прискорюють процеси гідратації і структуроутворення цементного каменю дорожніх бетонів [3, 4]. Для підвищення стійкості і витривалості цементобетону покриття доріг за кордоном і в Україні широко використовують модифіковані поверхнево-активні домішки (СНВ, ССБ, СДБ, КБМ та інші). Деякі з них є досить ефективними при втягуванні в бетонну суміш додаткової кількості повітря (3–5 %). Однак кожен відсоток втягнутого в бетон повітря знижує міцність бетону при стиску на (4–6) %, на розтягання при вигині — на (2–4) %, що призводить до зниження несної здатності покриття доріг.

Виникла потреба в таких добавках для бетонного покриття доріг, що не знижують його фізико-механічних властивостей, підвищують стійкість проти агресивного впливу розчинів хлористих солей, а також морозу, висихання і зволоження. Дослідження, виконані в останні роки показують, що добавки кремнійорганічних сполук (КОС) дуже ефективні, дозволяють істотно підвищити водостійкість і водонепроникність, морозо- і корозійну стійкість бетону при багаторазовому заморожуванні і відтаванні в агресивних розчинах без зниження фізико-механічних властивостей. Найширше застосування в дорожньому будівництві знайшли добавки КОС поліетилгідроксилосанового типу (ГКЖ-94); метилсилікат натрію (ГКЖ-10); етилсилікат натрію (ГКЖ-11). На практиці застосовувана кількість КОС у вигляді добавок коливається в дуже широких межах: від (0,01–1) % до (1–5) %, що вимагає уточнення їх оптимальної витрати. До загальних недоліків КОС відносять їх порівняно високу вартість, дефіцитність для будівельної індустрії України. У той же час, аналіз стану виробництва КОС показав, що при їх одержанні утворюються побічні продукти, що не знаходять практичного застосування в дорожньому будівництві. Являє науковий і практичний інтерес проведення дослідницьких робіт, спрямованих на виявлення та використання суміші кремнійорганічних речовин. Орієнтовні розрахунки показують, що їх вартість може бути дешевше, ніж чистих кремнійорганічних сполук. Їх застосування в

дорожньому будівництві дозволить розширити асортимент КОС; сприяти одержанню ефективних, довговічних цементобетонних покриттів доріг; вирішувати актуальні проблеми поліпшення екологічного стану в регіонах промислового виробництва КОС в Україні (Дніпропетровська та Запорізька області).

**Мета роботи.** Мета роботи полягає у покращенні довговічності цементобетону для покриття автомобільних доріг за рахунок використання гідрофобних добавок.

**Об'єктом дослідження** є цементний бетон для покриття автомобільних доріг (класу за міцністю при стиску В35 (М 450); при згині —  $V_{\text{ч}}$  4,4; морозостійкість бетону F 200.

### Основна частина

Із метою покращення фізико-механічних показників цементобетонного покриття доріг (підвищення міцності, морозостійкості, зниження водонепроникності) в даній роботі досліджувалася вплив гідрофобізуючих добавок на властивості бетону. У дослідженнях використовували три види КОС: поліетилгідросилоксан ГКЖ-94 (газоутворююча) /ДСТ 10834/; етилсилікат натрію ГКЖ-10 (повітрявтягуюча) /МРТУ 6-02-271/; поліметилгідридсилоксан 136-157М (газоутворюючий та повітрявтягуючий полімер) /ТУ 6-02-6/. Перші дві КОС широко відомі, як добавки в бетон, тоді як третя — 136-157М лише недавно була використана для модифікації в'язучих. До цього ця кремнійорганічна сполука застосовувалася лише для поверхневої обробки керамічних, ситалових, шлакоситалових і цементобетонних матеріалів. Вона відзначається тим, що її проникність в щільні матеріали вище (до 5 мм у бетон), гідрофобність зберігається довше, ефект від її застосування більший за рахунок газоутворення і повітрявтягування в бетонну суміш при перемішуванні.

В якості в'язучого для проведення досліджень використовували цемент ПЦ-1-500 Н Здолбунівського цементного заводу. В якості крупного заповнювача використовували гранітний щебінь Малинського КДЗ, крупністю від 10 мм до 20 мм. В якості дрібного заповнювача використовували пісок річковий, дніпровський. Ефективність дії добавки визначали на зразках (4 см × 4 см × 16 см) дрібнозернистого бетону складу 1:3. Результати досліджень ефективності дії добавок наведені у табл. 1.

*Таблиця 1*

*Результати досліджень ефективності дії гідрофобних добавок*

Вид добавки	Кількість добавки, % від ваги цементу	Міцність при стиску $R_{\text{ст}}$ , МПа				Водонепроникність,		
		через діб			$KE_{\phi}$	МПа через діб		
		1	3	28		28	90	$KE_{\phi}$
					$\Delta R^*$			$\Delta W^*$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Без добавки	—	5,0	11,0	20,3	—	0,4	0,8	—
ГКЖ-10	0,10	4,7	11,1	20,8	2,46	1,0	1,4	150
	0,15	4,8	11,2	20,9	2,96	1,0	1,4	150
	0,20	4,8	11,1	20,9	2,96	1,0	1,4	150

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ГКЖ-94	0,10	4,6	11,3	21,0	3,45	1,0	1,4	150
	0,15	4,9	11,3	21,0	3,45	1,0	1,4	150
	0,20	4,9	11,3	21,1	3,94	1,0	1,4	150
136-157М	0,10	5,1	12,1	23,6	16,27	1,1	1,5	175
	0,15	5,2	12,3	23,6	16,27	1,1	1,5	175
	0,20	5,2	12,2	23,7	16,76	1,1	1,5	175

Із даних, наведених у табл. 1, видно, що кількість гідрофобізатора в межах (0,1–0,2) % майже не змінює міцність при стиску і водопроникність. Тому рекомендується при майже однаковому результаті вибирати мінімальну кількість добавки. У подальших дослідях прийнята кількість добавки — 0,1 % від ваги цементу з врахуванням 100 % гідрофобної добавки.

Дослідження проводились на цементобетоні складу: цемент — 500 кг/м<sup>3</sup>; пісок — 650 кг/м<sup>3</sup>; щебінь — 1 100 кг/м<sup>3</sup>; водоцементне співвідношення (В/Ц) — 0,43. Визначали можливість зменшення В/Ц при заданій легкоукладальності; міцність при стиску ( $R_{ct}$ ); міцність на розтяг при згині ( $R_{zt}$ ); міцність на осьовий розтяг ( $R_{op}$ ); морозостійкість (200 циклів); водонепроникність, МПа; стираність, г/см<sup>2</sup>; міцність при ударі, Дж/см<sup>3</sup>. Дані про вплив гідрофобізуючих добавок на зменшення В/Ц при заданій легкоукладальності наведені у табл. 2.

**Таблиця 2**

**Вплив гідрофобної добавки на легкоукладальність бетонної суміші**

Наявність добавки	Склад бетону, кг/м <sup>3</sup>				Осідання конуса, см
	Ц	П	Щ	В/Ц	
–	500	650	1 100	0,43	5–7
136-157М (0,1)	500	650	1 100	0,41	5–7
–	550	600	900	0,47	15–18
136-157М (0,1)	550	600	900	0,43	15–18

Із табл. 2 видно, що застосування гідрофобізуючої добавки 136-157М дозволяє зменшити В/Ц на 5 % при заданій легкоукладальності для малорухливих сумішей. Під час використання більш пластичних сумішей (ОК = 15–18) процент зменшення В/Ц досягає 9 %. Це дає можливість прогнозувати підвищену морозостійкість та водонепроникливість. Результати досліджень впливу добавки 136-157М на міцність при стиску та розтяг при згині наведені на рис. 1, а). Міцність при стиску ( $R_{ct}$ ) та осьовому розтягу ( $R_{op}$ ) (рис.1, б) підвищується після 28 діб на (11–15) %.

Дані дослідження морозостійкості, водонепроникливості, стираності та міцності на удар наведені у табл. 3. Морозостійкість досліджувалась при заморожуванні при  $t = (-20 \pm 5) ^\circ\text{C}$  і відтаюванні у 5%-му розчині NaCl. Водонепроникність визначали за стандартною методикою до появи “мокрої плями” на зразках. Стираність визначали в г/см<sup>2</sup> після 840 та 1120 обертів на кругу ЛКІ-3, міцність на удар — на копрі Пейджа. За даними, наведеними у табл. 4, видно, що добавки

КОС підвищують морозостійкість на (30–45) %, водонепроникність у 2,5–3,0 рази, міцність на удар на (26–30) % та зменшують стираність на (50–58) %, що зумовлюється впливом домішок на процеси структуроутворення бетону.

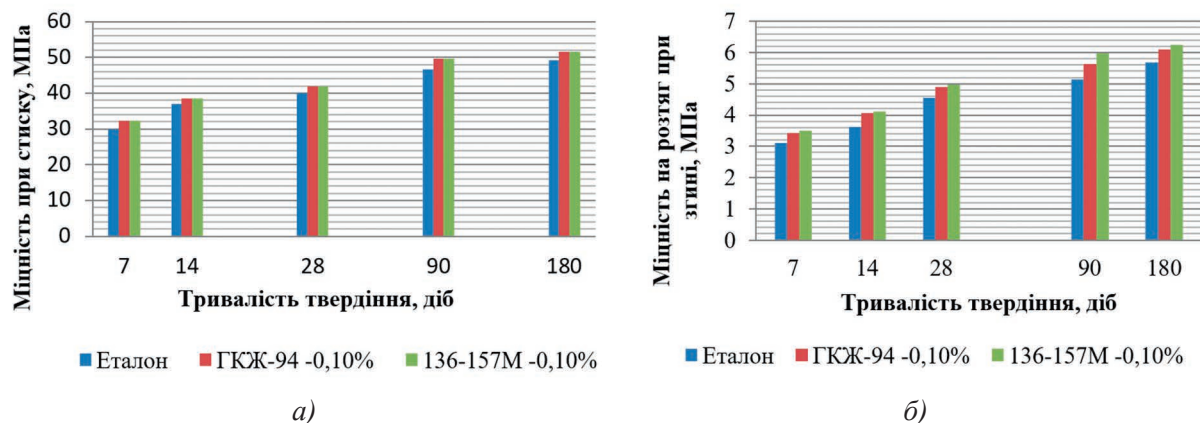


Рисунок 1 — Вплив гідрофобних добавок на міцність при стиску (а) та міцність на розтяг при згині (б) цементобетону

Таблиця 3

Вплив хімічних добавок на фізичні властивості цементобетону покриття доріг

Наявність домішок КОС	Морозостійкість (200 циклів)		Водонепроникність, МПа після діб		Міцність при ударі, Дж/см <sup>3</sup>	Стираність, г/см <sup>2</sup> , після обертів	
	$R_{ct}$ , МПа	Середовище відтаювання					
		H <sub>2</sub> O	5 % NaCl	28	90	840 / 1 120	
Без добавок	57,5	$R_{ct}/K_m$ , МПа	$R_{ct}/K_m$ , МПа	0,4	0,8	2,50	0,26 / 0,32
ГКЖ-94	61,2	50,5/0,89	42,0/0,33	1,0	1,4	2,95	0,16 / 0,19
136-157М	61,8	64,3/1,00	55,1/0,90	1,2	1,4	3,15	0,11 / 0,17

Таким чином, встановлено, що добавки КОС дозволяють одержати цементобетонні покриття доріг з підвищеними фізико-механічними властивостями та значною довговічністю. Наведені дані дозволяють прогнозувати підвищену тріщиностійкість цементобетонного покриття.

Тріщиностійкість безпосередньо визначали за допомогою відомого методу «кільце Лерміта». Суть методу полягає в тому, що цементний камінь у середині кільця обтискує сталевий стержень, який не деформується, а тому в зразку виникають тріщини. Цей метод дозволяє оцінити вплив добавок на такі властивості: усадка, повзучість, розтяжність, модуль пружності та міцність цементного каменю. Поряд із цим методом тріщиностійкість оцінювали на зразках-призмах 4 см × 4 см × 16 см, виготовлених із цементного розчину з металевим стержнем.

Досліджувався вплив гідрофобізуючих добавок на цементний камінь нормальної густини та розчин (1:3 з В/Ц = 0,4). Час, коли з'явилися перші тріщини, визначався візуально. На зразках цементного каменю без добавок вже через 2,5 год з'явилася перша прямолінійна тріщина з розкриттям (0,5–0,8) мм. У зразках із гідрофобізуючими добавками тріщини з'явилися після 13–16 год, при цьому вони розгалужувалися, перетворюючись на систему дрібних тріщин із розкриттям

(0,1–0,3) мм. У цементному розчині без добавок поява тріщини зафіксована після 28 год і через 120 год у зразках із гідрофобізуючими добавками. Зменшення тріщиноутворення досягається за рахунок зниження деформації усадки; зменшення концентрації внутрішніх напружень, що гальмує зростання тріщин, їх кількість і ступінь розкриття.

Гідрофобізуючі добавки дозволяють частково перерозподілити концентрацію напружень не лише в процесі структуроутворення бетону, але і під час його навантаження, що добре підтверджується даними міцності цементного бетону на стиск і осьовий розтяг та при згині, що дозволяє прогнозувати підвищене зчеплення розчину із заповнювачем, арматурою та старим бетоном.

У зв'язку з тим, що цементобетонне покриття доріг твердіє в природних умовах, були проведені дослідження механічних властивостей цементного розчину, який тверднув в умовах відносної вологості 65...70 % та  $t = 20$  °С. Фіксувалася усадка призми, час утворення тріщин кільцевим методом, випробувалися зразки-вісімки на осьовий розтяг. З результатів досліджень видно, що без добавок тріщиноутворення почалося через 5 год, з добавкою 0,1 % ГКЖ-94 – через 30 год, з добавкою 0,1 % 136-157М — через 82 год.

Дані випробування деформативності бетону під час осьового розтягу показують, що зниження дефектності кристалоутворень і контактів їх зрощування за рахунок застосування гідрофобних добавок веде до значного підвищення деформативності при осьовому розтягу на 20 % при незначному підвищенні міцності на стиск. Завдяки зміні характеру структури і розподілу пор вдалося підвищити щільність і однорідність, розтяжність та міцність на осьовий розтяг, зменшити усадку, що зумовлює підвищення тріщиностійкості та довговічності цементобетону покриття доріг модифікованих кремнійорганічними добавками.

Межі внутрішнього мікротріщиноутворення в бетоні без добавок і з гідрофобізуючими добавками в процесі навантаження зразків визначали за методикою О. Я. Берга (показники меж мікроруйнувань і меж мікротріщиноутворень). Одним із шляхів визначення цих показників є метод ультразвукових вимірів. Розвиток мікроруйнувань у структурі бетону призводить до зниження швидкості ультразвукових коливань, які розвиваються поперек лінії дії стискаючого напруження. Таким чином, навантаження  $R_0$  відповідає початку зменшення швидкості ультразвуку та візуально фіксуються появою мікротріщин на поверхні зразка. Областю умовної пружної роботи бетону є час від початку навантаження до напружень, при яких утворюються перші мікротріщини по поверхні зчеплення цементного каменю із заповнювачем. При цьому межа пружної роботи відповідає найбільшому скороченню часу проходження ультразвуку. При подальшому підвищенні навантаження мікротріщини утворюються в цементному камені з появою пластичних деформацій. Верхня межа області розвитку пластичних деформацій відповідає підвищенню коефіцієнта поперечної деформації, тобто максимального значення теоретично можливого для суцільного тіла. Крива приросту швидкості проходження ультразвукового імпульсу проходить через екстремум і наближується до початкового значення, характерного для ненавантаженого бетону і прийнятого за умовний нуль. Підвищення верхньої межі тріщиноутворення ( $R_{v_t}$ ) дозволяє прогнозувати більш високу витривалість і довговічність цементного бетону дорожнього покриття під дією багаторазового прикладання навантажень [5]. Таким чином, проведеними дослідженнями встановлена висока ефективність застосування КОС у технології дорожнього цементобетону, зростання фізико-механічних властивостей, довговічності і тріщиностійкості цементобетонного покриття доріг. У зв'язку з тим, що бетонна суміш для влаштування цементобетонного покриття транспортується деякий час, необхідно перевіряти, як впливає витримка бетонної суміші на кінетику набору міцності при стиску. Для цього з тільки що приготовленої бетонної суміші з гідрофобною добавкою і без неї виготовляли зразки, які досліджували через 3, 5, 8, 12 год та 1, 3, 7 і 28 діб. Частину бетонної суміші

витримували 20 і 40 хвилин, після чого з неї також формували зразки. Результати цих досліджень наведені у табл. 4.

Згідно даних наведених у табл. 5 видно, що цементобетон з добавкою КОС має міцність вищу порівняно з еталоном під час досліджень кінетики набору міцності, тобто таку суміш можна транспортувати до місця укладання без зменшення міцності.

**Таблиця 4**

**Вплив часу витримування бетонної суміші з гідрофобними добавками та міцність при стиску**

Час витримування суміші, хв	Наявність добавки	Міцність при стиску, МПа							
		год				діб			
		3	5	8	12	1	3	7	28
–	еталон	0,2	0,5	1,7	3,9	9,7	19,3	29,1	34,1
	136-157М	0,2	0,4	1,6	3,8	9,8	20,4	30,3	36,0
20	еталон	0,3	0,6	1,7	4,2	9,9	22,4	31,0	34,8
	136-157М	0,3	0,6	1,9	4,8	10,5	23,8	33,7	38,9
40	еталон	0,4	0,7	1,9	4,8	11,2	24,4	34,9	35,0
	136-157М	0,4	0,8	2,2	5,4	12,6	26,9	37,8	41,1

### Висновки

У результаті проведення досліджень встановлено:

- гідрофобізуюча добавка 136-157М позитивно впливає на фізико-хімічні процеси гідратації цементу у порівнянні з еталоном і добавкою ГКЖ-94;
- оптимальна кількість добавки знаходиться в межах (0,10–0,15) % від ваги цементу;
- застосування гідрофобізуючої добавки 136 – 157М дозволяє за рахунок газоутворення зменшити В/Ц при заданій легкоукладальності;
- гідрофобізуюча добавка 136-157М дозволяє підвищити механічні властивості бетону (через 28 діб міцність при стиску на 5 %; міцність на розтяг при згині — на 9 %; міцність на осьовий розтяг — на 11,7 %);
- водонепроникність бетону з гідрофобізуючою добавкою через 28 діб підвищилася майже у 2 рази, а морозостійкість — на 40 %;
- водопоглинання зменшилось на 70 %; тріщиноутворення зменшилось у 5 разів.

### Список літератури

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Москва, 1990. 400 с.
2. Дорошенко Ю.М., Дорошенко О.Ю. Кремнийорганические добавки – эффективные модификаторы цементного бетона покрытия дорог. *Бетон и железобетон*. Москва, 2013. Вып. 1 (18). С. 56-60.
3. Чистяков В.В., Шургая А.Г., Дорошенко Ю.М., Чижено Н.П., Сербін В.П., Дулевич Я.О. Вплив комплексної добавки на особливості твердіння і властивості цементобетону для покриття доріг. *Будівельні матеріали, виробу та санітарна техніка*. Київ, 2011. №39. С.115-122.

4. Дорошенко Ю.М., Дорошенко О. Ю., Борковський П.П., Чиженко Н.П., Куцоконь О., Наконешна Я. Технологічні методи регулювання властивостей бетону. *Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка*. Київ, 2014. №51. С.50-54.

5. Хигерович М.И., Байер В.В. Гидрофобно-пластифицирующие добавки для цементов, растворов и бетонов. Москва, 1979. 126 с.

### References

1. Batrakov V.G. Modifitsirovannyye betony (Modified concretes). Moscow, 1990. 400 p. [in Russian].

2. Doroshenko Yu.M., Doroshenko O.Yu. Kremniyorganicheskiye dobavki – effektivnyye modifikatory tsementnogo betona pokrytiya dorog (Organosilicon additives are effective modifiers of cement concrete of a road covering). *Beton i zhelezobeton*. Moscow, 2013. Vol. 1 (18). P. 56-60 [in Russian].

3. Chistyakov V.V, Shurgaya A.G, Doroshenko Yu.M, Chizhenko N.P., Serbin V.P., Dulevich Ya.O. Vplyv kompleksnoi dobavky na osoblyvosti tverdinnya i vlastyosti tsementobetonu dlia pokryttia dorih (Influence of complex additive on features of hardening and properties of cement concrete for a covering of roads). *Budivsel'ni materialy, virobi ta sanitarna tehnik*. Kyiv, 2011. Vol. 39. P. 115 - 122 [in Ukrainian].

4. Doroshenko Yu.M., Doroshenko O.Yu., Borkovsky P.P., Chizhenko N.P., Kutsokon O., Nakoneshna Ya. Tekhnolohichni metody rehuliuвання vlastyvoetei betonu (Technological methods of regulating the properties of concrete). *Budivsel'ni materialy, virobi ta sanitarna tehnik*. Kyiv, 2014. 51. P. 50 - 54 [in Ukrainian].

5. Higerovich M.I., Bayer V.V. Gidrofobno-plastifitsiruyushchiye dobavki dlya tsementov, rastvorov i betonov (Hydrophobe-plasticizing additives for cements, solutions and concrete). Moscow, 1979. 126 p. [in Russian].

---

**Vitalii Stozhka**, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-5039-9852>

National Transport University, Kyiv, Ukraine

### **INCREASING THE DURABILITY OF CEMENT CONCRETE PAVEMENT DUE TO THE APPLICATION OF HYDROPHOBIC CHEMICAL ADDITIVES**

#### **Abstract**

**Introduction.** Domestic and foreign experience in the construction of roads with rigid type clothing confirms the prospects for the widespread introduction of cement concrete to ensure their reliable and trouble-free operation for a long period with low maintenance costs. Abroad, the estimated period of operation of hard coatings is 35-50 years, in Ukraine — 25–40. installation of temperature and working seams, non-technological repair prevent the introduction of cement concrete in the practice of road construction. Most of these shortcomings can be eliminated using modern materials and technologies. Rigid pavements have a number of advantages, but also disadvantages such as high probability of cracking in concrete slabs and their reflection from the base layers to the coating layers, high capital construction costs, inability to open traffic immediately after construction — the need to withstand 14 days before set 70–75 % of strength and 28 days to obtain vintage strength, high noise and vibration when driving a vehicle, the need for temperature and working seams, non-technological repair hinders the introduction of



cement concrete in the practice of road construction. Most of these shortcomings can be eliminated using modern materials and technologies.

**Problem Statement.** The cement-concrete covering of highways works in the conditions of a difficult stressful condition under the influence of repeated loadings from cars and variable temperature-humid parameters. In addition, conglomerate materials such as cement concrete are characterized by internal stresses due to the heterogeneity of their structure, as well as the ongoing processes of structure formation and destruction. One of the ways to increase the durability of cement concrete to cover the floor is the use of chemical additives that can clog pores, give the concrete surface hydrophobic properties. Based on modern ideas of physics and chemistry of surface processes, we can conclude that the introduction of a small amount of organosilicon substances together with the sealing water into the concrete mix will make it possible to significantly improve the durability and resistance to aggressive loading and aggressive factors acting on concrete. Frost resistance, corrosion resistance and durability of cement concrete pavement are greatly influenced by the nature of the total porosity of concrete, the size of individual pores, their shape and the relationship between them. These factors change during the hardening of cement concrete and its operation. These characteristics can be influenced by chemical and physical methods.

**Purpose.** The purpose of the work is to improve the durability of cement concrete for paving roads by using hydrophobic additives.

**Materials and methods.** Analysis of scientific publications, technical and regulatory literature to increase the durability of cement concrete pavements.

**Conclusions.** Thus, as a result of research it was found that the water-repellent additive positively promotes the passage of physico-chemical processes of hydration of cement in comparison with the standard, the optimal amount of additive is in the range of 0.10–1.15 % by weight of cement; the use of a water-repellent additive allows to reduce the  $W / C$  at a given ease of laying due to gas formation; to increase the physical and mechanical properties, crack resistance and durability of cement concrete pavement.

**Key words:** water resistance, hydrophobic additives, durability, strength, frost resistance, cement concrete pavement.

УДК 625.8

Онищенко А. М., *д-р техн. наук., доц.*, <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>Чиженко Н. П., <https://orcid.org/0000-0002-9152-2474>*Національний транспортний університет, м. Київ, Україна***ОЦІНКА ДОВГОВІЧНОСТІ ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ  
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ****Анотація**

**Вступ.** За останні роки в усьому світі на автомобільних дорогах спостерігається тенденція збільшення інтенсивності руху транспортних засобів і зростання частки великовантажних автомобілів та багатовісних автопоїздів із підвищеним тиском у пневматиках. Це викликає передчасні руйнування і недопустимі деформації на дорогах, швидке їх руйнування, суттєве підвищення собівартості перевезень. Частковим вирішенням цієї проблеми може стати використання цементобетону для покриття автомобільних доріг. У багатьох країнах із цементобетонним покриттям дороги займають суттєву частку. Китай, світовий лідер із виробництва цементобетону, щороку споруджує 20 тис. км швидкісних доріг із цементобетонним покриттям. У США частка доріг становить 60 %, Німеччині — 42 %, Чехії — 22 %, проте в Україні — лише 1 %.

**Проблематика.** На сьогоднішній день існуючі методи та критерії оцінки довговічності цементобетонного покриття носять розрізнений характер та як при оцінці тріщиностійкості покриття враховується окремо або лише дія транспортних засобів або дія зміни температури. Врахування спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів, а також усадки цементобетону при оцінці тріщиностійкості покриття дозволить більш об'єктивно проводити оцінку довговічності. Утворення тріщин у цементобетонному покритті порушують цілісність та монолітність дорожньої конструкції, розділяючи її на окремі блоки, не пов'язані між собою, кількість і протяжність тріщин, що утворилися на покритті, майже не впливають на рух автомобілів до тих пір, поки не утворилися вибоїни та викришування, що призводить до погіршення рівності покриття, зниження рівня безпеки руху та створення аварійно-небезпечних ситуацій. Як наслідок, збільшуються витрати на утримання та ремонт цементобетонного покриття автомобільних доріг, які зазнають передчасних руйнувань.

**Мета.** Метою даної роботи є розроблення методу оцінки довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг, з урахуванням спільного впливу усадки, зміни температури та дії транспортних засобів.

**Матеріали та методи.** Аналіз наукових видань, технічної та нормативної літератури щодо оцінки довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг.

**Результати і висновки.** Отримано залежності, які дозволяють розраховувати строк служби запроектованого цементобетонного покриття на автомобільних дорогах за тріщиностійкістю з урахуванням спільного впливу усадки, зміни температури та дії транспортних засобів.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, довговічність, напруження, усадка, температура, транспортний засіб, тріщиностійкість, цементобетонне покриття.

## Вступ

За останні роки в усьому світі на автомобільних дорогах спостерігається тенденція збільшення інтенсивності руху транспортних засобів і зростання частки великовантажних автомобілів та багатовісних автопоїздів з підвищеним тиском в пневматиках. Це викликає передчасне руйнування і недопустимі деформації на дорогах, швидке руйнування, суттєве підвищення собівартості перевезень. Частковим вирішенням цієї проблеми може стати використання цементобетону для покриття автомобільних доріг. У багатьох країнах із цементобетонним покриттям дороги займають суттєву частку. Китай, світовий лідер із виробництва цементобетону, щороку споруджує 20 тис. км швидкісних доріг із цементобетонним покриттям. У США частка доріг становить 60 %, Німеччині — 42 %, Чехії — 22 %, проте в Україні — лише 1 %. Область раціонального використання цементобетонних покриттів згідно з п. 4.3.4. ДБН В.2.3-4:2015 у випадку, коли очікувана інтенсивність великовантажних транспортних засобів більше 15 % від загального потоку, то проектується лише жорсткий дорожній одяг, також раціональним використанням є під'їзди до морських портів, митниці, стоянки великовагових транспортних засобів, логістичні центри, об'їзні дороги крупних населених пунктів, дороги промислових підприємств, маршрути руху контейнерів та зерновозів.

**Постановка проблеми.** За кордоном розрахунковий період експлуатації покриттів жорсткого типу становить 35–50 років, в Україні — 18–23 років згідно з [1]. Проте багаторічні спостереження за експлуатацією цементобетонних покриттів, а також аналіз зарубіжного досвіду дозволяє об'єктивно оцінити недоліки покриттів даного типу, головними з яких є тріщиноутворення в результаті дії: усадки, коливання температури добової та річної, перемінного заморожування – відтавання води в порах і ушкоджених місцях, динамічного навантаження від коліс транспортних засобів.

Утворення тріщин у цементобетонному покритті порушують цілісність та монолітність дорожньої конструкції, розділяючи її на окремі блоки, не пов'язані між собою, кількість і протяжність утворених тріщин, що утворилися на покритті, майже не впливають на рух автомобілів до тих пір, поки не утворилися вибоїни та викришування, що призводить до погіршення рівності покриття, зниження рівня безпеки руху та створення аварійно-небезпечних ситуацій. На рис. 1 наведено пошкодження поверхні цементобетонного покриття автомобільних доріг.



а)

а) після 5 років експлуатації;

б) після 25 років експлуатації

**Рисунок 1, аркуш 1** — Пошкодження поверхні покриття автомобільної дороги



б)

*Рисунок 1, аркуш 2*

Як наслідок, збільшуються витрати на утримання та ремонт цементобетонного покриття автомобільних доріг, які зазнають передчасних руйнувань.

На сьогоднішній день існуючі методи та критерії оцінки довговічності цементобетонного покриття носять розрізнений характер, так як при оцінці тріщиностійкості покриття враховується окремо або лише дія транспортних засобів, або дія зміни температури. Врахування спільного впливу зміни температури та дії транспортних засобів, а також усадки цементобетону при оцінці тріщиностійкості покриття дозволить більш об'єктивно проводити оцінку довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг.

Метою даної роботи є розроблення методу оцінки довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг з урахуванням спільного впливу усадки, зміни температури та дії транспортних засобів.

### **Основна частина**

Оцінка тріщиностійкості цементобетонного покриття автомобільних доріг базується на отриманні аналітичних залежностей, що дозволяють прогнозувати напруження від: спільного впливу річних і добових температур; усадки цементобетону при твердінні; дії пневматичних коліс транспортних засобів. Тому для прогнозування утворення тріщин в цементобетонні від зазначених факторів пропонується оцінювати довговічність покриття, яка повинна базуватися на умові граничного стану.

Ідея даного методу полягає в обґрунтуванні вибору умови міцності та критерію граничного стану для оцінки довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг. Для визначення тріщиностійкості цементобетонного покриття необхідна його кількісна оцінка на основі напружено-деформованого стану. Тобто потрібно знати при якому рівні напруження відбувається руйнування.

У вітчизняній дорожній практиці розрахунками цементобетонних покриттів автомобільних доріг займалися і займаються такі вчені як Ю. М. Баженов, І. П. Гамеляк, І. М. Грушко, М. І. Горбунова-Посадова, В. С. Дорофеев, В. М. Вировий, М. М. Иванов, П. Л. Пастернак, Л. І. Горецький, М. І. Горбунов-Посадов, Д. С. Толмачов, С. М. Толмачов, В. В. Мозговий, В. А. Чернигов, В. К. Жданюк, М. С. Коганзон, С. М. Леонович, Б. С. Раєв-Богословский, В. М. Ряпухін, Б. С. Радовський, С. Й. Солодкий, В. К. Апестин, В. В. Ушаков, Г. М. Вестергард і багато інших.

Довгий час розрахунок дорожнього одягу із цементобетонним покриттям виконували за методом граничних станів. Завдання розрахунку полягало в тому, щоб забезпечити запас міцності для запобігання настання в період експлуатації під впливом транспортних навантажень і природно-кліматичних факторів граничного стану. Перша теорія ґрунтується на такій гіпотезі — у момент настання граничного стану конструкція не здатна чинити опір зовнішнім впливам, що призводить до втрати несної здатності. Несна здатність покриття забезпечувалася умовою:

$$M_p \leq M_{np} , \quad (1)$$

де  $M_p$  — розрахунковий момент в перерізі плити при найбільш невідгнотому положенні коліс;  
 $M_{np}$  — гранично допустимий, для даного перетину, згинальний момент.

Відповідно до ГБН В.2.3-37641918-557 та ВБН В.2.3–218 [1, 2] цементобетонні покриття розраховують на тріщиностійкість від дії транспорту згідно першої теорії міцності, яка базується на зіставленні розрахункової міцності бетону на розтяг при згині та напружень, що виникають внаслідок прикладання навантаження і температури. Напруження розтягу в разі згину визначають для розрахунку товщини покриття за умови гарантованого повного контакту плити з основою за рахунок стійкості земляного полотна і відсутності нерівномірних осідань або випирань [2, 3]. Згідно з даним нормативним методом вимагається, щоб напруження, що виникають у покритті дорожнього одягу при прогині від дії повторних короткочасних навантажень, не викликали порушення структури цементобетону, не утворювались тріщини, тобто повинна забезпечуватись умова:

$$K_{np} \leq \frac{R_{роз}}{\sigma_{рт}} , \quad (2)$$

де  $K_{np}$  — коефіцієнт міцності;  
 $R_{роз}$  — розрахункова міцність бетону на розтяг при згині;  
 $\sigma_{рт}$  — напруження розтягнення при вигині, що виникають в бетонному покритті від дії навантаження, з урахуванням перепаду температури по товщині плити.

У разі, коли напруження перевищить міцність при згині — настане руйнування покриття. Виникнення напружень у цементобетонному покритті пов'язано із такими факторами, як: тимчасове навантаження; коливання температури; зміна вологості цементобетону; зміна властивостей ґрунтів земляного полотна під впливом намочування та висушування; спучування ґрунту земляного полотна під впливом промерзання. Під час дії навантажень на підшві цементобетонного покриття виникають максимальні напруження у центрі поздовжнього зовнішнього краю за довжиною плити. Але постійна дія навантаження саме в цьому місці набагато менша та становить декілька відсотків від розрахункового числа проїздів для центральної частини плити (у методі РАС прийнято 6 %) [3].

Критеріями стійкості основи є стійкість незв'язних матеріалів у шарах основи та ґрунту земляного полотна зсуву; стійкість до недопустимих деформацій під торцями плит і недопустимих уступів між плитами. Для доріг I–III категорій величину гранично допустимих деформацій або висоту уступів між плитами у поперечних швах встановлюють не більше ніж 0,3 см.

Друга теорія міцності ґрунтується на такій гіпотезі — під час розрахунку за критерієм недопустимих уступів між плитами (висотою не більше ніж 0,3 см) стійкість вважають забезпеченою при умові [1, 2]:

$$q_{\text{доп}} \leq q_{\text{роз}}, \quad (3)$$

де  $q_{\text{роз}}$  — розрахунковий тиск на основі під час навантаження обох кутів плит біля поперечного шва, МПа;

$q_{\text{доп}}$  — допустимий тиск на основу, МПа, визначають за формулою [14].

Третя теорія міцності ґрунтується на такій гіпотезі — під час розрахунку конструкції у пружній стадії за заданого рівня надійності стійкість основи вважається забезпеченою за умови [1, 2]:

$$K_{\text{пр}} \leq T_{\text{доп}} / T_{\text{акт}}, \quad (4)$$

де  $T_{\text{доп}}$  і  $T_{\text{акт}}$  — активні та допустимі напруження зсуву, визначають згідно з [2] з урахуванням, що у зоні швів покриття розрахунковий модуль пружності  $E_{\text{роз}}$  цементобетонного покриття набуде значень, які наведені у табл. 2.3 [2].

Однак, вище зазначені теорії міцності можна застосовувати тільки при крихкому руйнуванні та не можуть враховувати одночасно міру пошкодження монолітної структури цементобетонного покриття автомобільних доріг від дії усадки цементобетону при твердінні, зміни спільного впливу річних і добових температур та дії транспортних засобів.

Під дією пневматичних коліс транспортних засобів у цементобетонному покритті виникають деформації згину при відповідному часі дії навантаження, а при зміні температури покриття — деформація стиску, розтягу та згину. Тривалість деформації залежить від часу дії навантаження або температури [4]. З урахуванням фактору часу в покритті можуть розвиватись наступні види деформацій [4, 5]: пружні, в'язко-пластичні (повзучість), пружного наслідку та пружного відновлення

Виходячи із існуючих теоретичних положень про властивості матеріалів на основі неорганічних в'язучих (цементобетону), зрозуміло, що для забезпечення їх суцільності необхідно мати дещо іншу умову тривалої міцності, що враховує характер руйнування при змінному в часі напруженні і змінній в часі температурі. Тому що, для збереження суцільності матеріалів на неорганічному в'язучому, що виявляють пружні, в'язко-пластичні властивості, недостатньо, як було сказано вище, традиційних для пружних матеріалів вимог (напруження в будь-який момент менші межі міцності матеріалу), а варто ще врахувати закономірності попередньої зміни напруження.

Для вирішення поставлених задач, необхідно мати умову міцності, що враховує часовий характер руйнування цементобетонного покриття при змінних в часі напружень і температури.

Вихідною інформацією про міцнісні властивості цементобетонного покриття автомобільних доріг при вивченні тривалої міцності  $\epsilon$ , як відомо, результат випробування на довговічність при постійному навантаженні (наприклад, в умовах осьового розтягу) та за постійної температури  $T$ . При цьому визначають, як правило, залежність часу до руйнування  $t^*$  від напруження та температури, що витримує зразок, від часу дії постійного навантаження і від температури:

$$t^* = t^* \cdot (\sigma, T). \quad (5)$$

Найчастіше використовують степеневий або експонентний вираз для цих залежностей [6–8]:

$$t^*(\sigma, T) = B_t \sigma^{-b}, \quad (6)$$

де  $B_t, b$  — постійні, що залежать від температури.

Формула (6) — відома залежність Г. М. Бартенєва, яку застосовують для цементобетонів [10].

У цьому випадку для оцінки довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг з урахуванням характеру дії навантаження транспортних засобів зміни температури та усадки бетону, пропонується визначати граничний стан, яким можна описувати умову довготривалої міцності Іллюшина чи Бейлі відповідно:

$$\int_0^{t_p} \frac{d\sigma(t)}{\sigma^*(\sigma(t_p - t), T(t))} \leq 1, \quad (7)$$

$$\int_0^{t_p} \frac{dt}{t^*(\sigma(t), T(t))} \leq 1, \quad (8)$$

де  $t_p$  — час до руйнування (розтріскування) покриття;  
 $t^*$  — функція довговічності цементобетону;  
 $\sigma^*$  — граничне напруження цементобетону;  
 $\sigma(t)$  — напруження в цементобетоні;  
 $T(t)$  — температура цементобетону.

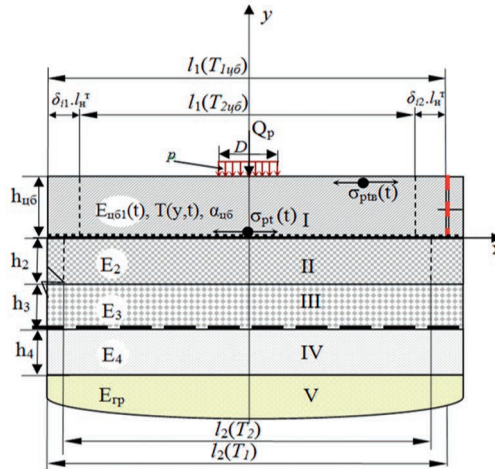
Як відомо з результатів наукових досліджень [6–8], що правило лінійного підсумовування, як критерій Бейлі, більш простий і зручний у застужанні, особливо в інженерних розрахунках, порівняно з критерієм Іллюшина, враховуючи, що критерій Бейлі можна використовувати для оцінки довговічності цементобетонного покриття [6, 7].

Для оцінки довговічності пропонується розрахункова схема цементобетонного покриття автомобільної дороги з урахуванням спільного впливу зміни температури та усадки бетону при твердінні та дії транспортних засобів. Конструкція жорсткого дорожнього одягу складається з таких шарів (рис. 2): цементобетонне покриття (I) (товщиною від 17 см до 32 см); плівка ПВХ товщиною 20 мкм (або геотекстиль), яка влаштована на щебінь гранітний фр. 20–40 мм за способом заклинки та (або) пісний бетон (II); щебінь гранітний фр. 40–70 мм, за способом заклинки (III); геосинтетичний розділяючий матеріал та шар із піску дрібнозернистого (IV); ґрунт земляного полотна. Між шаром цементобетонного покриття й укріпленою основою для можливості вільного переміщення плити при температурних деформаціях використовується геотекстильний прошарок або плівка ПВХ (рис. 1).

Оскільки характеристики міцності цементобетону залежать як від температури, так і від часу дії навантаження, проявляючи кінетичний характер руйнувань, то граничне прикладання навантаження на цементобетонне покриття на автомобільних дорогах визначали з використанням феноменологічного підходу у вигляді сумарної міри пошкодженості структури цементобетону  $M_{II}$  за час  $t$  зміни напруження, що відповідають певному рівню напружень для розрахункової схеми (рис. 2).

Від дії температури на цементобетонне покриття автомобільної дороги впливають:  $T_{цб}$  та  $T$  — середні температури цементобетонного покриття та шару основи конструкції жорсткого дорожнього одягу,  $h_{цб}$  — товщина шару цементобетонного покриття,  $E_{цб1}(t)$  — модуль пружності цементобетонного покриття, який залежить від часу ( $t$ ) дії навантаження,  $E_2, E_3, E_4$  — модуль пружності шарів основи,  $\alpha_{цб}$  — коефіцієнт лінійного температурного розширення цементобетонного покриття,  $\alpha_{а6}$  — коефіцієнт лінійного температурного шару основи,  $l_1(T_{цб1}), l_2(T_1)$  — довжина

відповідно цементобетонного покриття та шару основи до початку температурного скорочення,  $(l_1(T_{цб1})=l_2(T_1))$ ,  $l_1(T_{цб2})$ ,  $l_2(T_2)$  — довжина відповідно цементобетонного покриття та шару основи після температурного скорочення  $(l_1(T_{цб2})=l_2(T_2))$ , — довжина цементобетонного покриття, яка була б при вільному температурному скороченні,  $\delta_{i1} \cdot l_n T$ ,  $\delta_{i2} \cdot l_n T$  — довжина, на яку скорочується цементобетонне покриття, де  $\delta_{i1} + \delta_{i2} = 1$ .



**Рисунок 2** — Розрахункова схема цементобетонного покриття автомобільної дороги з урахуванням спільного впливу зміни температури та усадки цементобетону при твердінні та дії пневматичних коліс транспортних засобів

Для вирішення поставлених задач, необхідно мати умову міцності, що враховує часовий характер руйнування цементобетонного покриття при змінних у часі напружень і температури. Вихідною інформацією про міцнісні властивості цементобетонного покриття при вивченні тривалої міцності  $\epsilon$ , як відомо, результат випробування на довговічність при постійному навантаженні (наприклад, в умовах осьового розтягу) та за постійної температури. При цьому визначають, як правило, залежність часу до руйнування  $t^*$  від напруження та температури, що витримує зразок, від часу дії постійного навантаження та від температури. Відома залежність Г. М. Бартенева, застосування якої до бетонів показано в багатьох наукових роботах.

Тому в нашому випадку для оцінки довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг з урахуванням характеру дії навантаження транспортних засобів, зміни температури та усадки цементобетону, пропонується визначити граничний стан, яким можна описати умову довготривалої міцності Бейлі.

З урахуванням вище наведеного пропонується оцінювати граничний стан цементобетонного покриття автомобільних доріг за залежністю [9]:

$$M_{II}(t, T(y, t), W) \leq [M_{цб}], \tag{9}$$

де  $M_{II}(t, T(y, t), W)$  — сумарна міра пошкодження цементобетонного покриття, це відносна безрозмірна величина, яка визначається за залежністю:

$$M_{II}(t, T(y, t), W) = M_{Tp}(t) + M_{Тем}(t, T(y, t)) + M_{усад}(t, y, W), \tag{10}$$

де  $M_{Tp}(t)$  — міра пошкодженості від дії пневматичних коліс транспортного засобу і залежить від часу  $(t)$  визначається за аналітичною залежністю (3).



$$M_{Tp}(t) = \frac{N_{pt}}{N(t)}, \quad (11)$$

де  $N_{pt}$  — сумарна інтенсивність руху, що визначається за методикою ГБН В.2.3-37641918-557;  
 $N(t)$  — гранично допустима кількість розрахункового навантаження, що може витримати цементобетонне покриття при дії горизонтального розтягуючого напруження  $\sigma_p$  при згині.

$M_{Тем}(t, T(y, t))$  — міра пошкодженості цементобетонного покриття від зміни температури відповідного сезону ( $n_i$ ) за залежністю:

$$M_{Тем}(t, T(y, t)) = n_i \int_0^{t_p} \frac{\sigma_{утем}(t, T(y, t))^{b_\tau}}{B_\tau} dt, \quad (12)$$

де  $\sigma_{утем}(t, T(y, t))$  — сумарні річні та добові температурні напруження при гармонічній зміні температури, які складаються із літніх ( $\sigma_{л}$ ), осінньо-весняних ( $\sigma_{о/в}$ ) і зимових ( $\sigma_3$ ), МПа;

$n_i$  — період сезону;

$b_\tau, B_\tau$  — параметри функції довговічності цементобетону;

$t_p$  — час до руйнування, с.

$M_{усад}(t, y, W)$  — міра пошкодженості цементобетонного покриття від дії усадки бетону при тужавінні за залежністю [10]:

$$M_{усад}(t, y, W) = \int_0^{t_p} \frac{\sigma_{усад}(t, y, W)^{b_{усад}}}{B_{усад}} dt, \quad (13)$$

де  $b_{усад}, B_{усад}$  — параметри функції довговічності цементобетону після усадки бетону;

$\sigma_{усад}(t, y, W)$  — напруження в цементобетонні від усадки бетону при тужавінні, залежно від вологості ( $W$ ), часу ( $t$ ) спостереження та початкової товщини шару ( $y$ ) МПа.

Обчислення проводять на строк служби не менший ніж строк експлуатації цементобетонного покриття на автомобільних дорогах між капітальними ремонтами згідно з ДБН В.2.3-4.

З урахуванням залежності (14) пропонується визначити розрахунковий (очікуваний) строк служби  $T_{PO3}$  (у роках) цементобетонного покриття на автомобільних дорогах, за аналітичною залежністю:

$$T_{PO3} \geq [T_H], \quad (14)$$

$$T_{PO3} = T_M + T_{пр}, \quad (15)$$

$$T_M = 23 - (18 \cdot \frac{[M_{цб}]}{M_{цб}(t, T(t))}), \quad (16)$$

де  $T_M$  — строк експлуатації жорсткого дорожнього одягу автомобільної дороги, після відповідної пошкодженості  $M_{цб}(t, T(t))$  цементобетонного покриття залежно від категорії, роки;

$T_{пр}$  — проектний строк експлуатації цементобетонного покриття в автомобільної дороги приймають 18 років;

$T_H$  — нормативне значення, строк експлуатації цементобетонного покриття залежно від категорії автомобільної дороги, приймають за ДБН В.2.3-4.

Таким чином, отримані залежності (14–16), які дозволяють розраховувати строк служби запроєктованого цементобетонного покриття на автомобільних дорогах за тріщиностійкістю з урахуванням спільного впливу усадки, зміни температури та дії транспортних засобів.

### Висновки

1. Запропоновано розрахункову схему роботи цементобетонного покриття автомобільних доріг з урахуванням спільного впливу зміни температури, усадки цементобетону при твердінні і дії транспортних засобів:

2. Отримано:

– аналітичні залежності для визначення температурних напружень у цементобетонному покритті від спільного впливу річних і добових температур;

– аналітичні залежності напружень, які виникають від усадки в цементобетонному покритті при тужавінні на різній глибині і в будь-який момент часу догляду за цим шаром, що дозволить враховувати комплексні параметри: масообмін (водяний пар, рідка фаза води), який формується під впливом втрат вологи на межах шару і викликає нерівномірний розподіл вологості по товщині шару; коефіцієнт вологопровідності, модуль пружності, коефіцієнт усадки, які відображають структуру і характеристики матеріалу; а також час догляду і міру жолоблення.

– аналітичні залежності для обчислення горизонтальних (нормальних) розтягуючих напружень у цементобетонному покритті від дії транспортних засобів.

3. Вперше запропоновано та обґрунтовано метод оцінки довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг з урахуванням спільного впливу усадки, зміни температури та дії транспортних засобів. Запропоновано критерій граничного стану цементобетонного покриття з позиції тріщиностійкості на основі критерію Бейлі у вигляді міри пошкодженості з урахуванням спільного впливу усадки, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

### Список літератури

1. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015. 104 с. (Інформація та документація).
2. ГБН В.2.3-37641918-557:2016 Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування. Київ, 2016. 71 с. (Інформація та документація).
3. Солодкий С.Й., Толмачов С.М. Бетонні дорожні та аеродромні покриття : навч. посіб. Львів, 2016. 132 с.
4. Левицкий Е.Ф., Чернигов В.А. Бетонные покрытия автомобильных дорог. Москва, 1980. 288 с.
5. Колтунов М.А. Ползучесть и релаксация. Москва.: Высшая школа, 1976. 277 с.
6. Мозговой В.В., Мозговой А.В. Основы проектирования бетонных слоев дорожной одежды с заданной температурной трещиностойкостью. Проектирование бетонов с заданными свойствами. *У науково-практичний семінар «Структура, властивості та склад бетону»*. м. Рівне, 2006. С.136-144.
7. Бесараб О.М. Підвищення тріщиностійкості асфальтобетонних шарів з урахуванням часу дії навантаження : дис... канд. техн. наук. Київ, 2003. 142 с.
8. Онищенко А.М. Підвищення довговічності асфальтобетонних шарів за рахунок використання полімерних латексів : дис. канд. техн. наук. Київ, 2008. 157 с.
9. Онищенко А.М., Лапченко А.С., Чиженко Н.П. Методологія розрахунку цементобетонного покриття автомобільних доріг на довговічність. № 97238. Київ, 2020.

## References

1. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo (State Building Norms (DBN V.2.3-4-2015) Highways. Part I. Design. Part II. Building). Kyiv, 2015. 104 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
2. HBN V.2.3-37641918-557:2016 Avtomobilni dorohy. Dorozhnii odiah zhorstkyi. Proektuvannia (Departmental Building Norms (HBN V.2.3-37641918-557:2016) Roads. Road Rigid Pavement. Design). Kyiv, 2016. 71 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
3. Solodky S.Y., Tolmachov S.M. Betonni dorozhni ta aerodromni pokryttia (Concrete Pavement Road and Airfield pavements) : manual. Lviv, 2016. 132 p. [in Ukrainian].
4. Levitsky E.F., Chernigov V.A. Betonnye pokrytyia avtomobylnykh doroh (Concrete road surfaces). Moscow, 1980. 288 p. [in Russian].
5. Koltunov M.A. Polzuchest i relaksatsiya (Crawling and relaxation). Moscow, 1976. 277 p. [in Russian].
6. Mozgovoy V.V., Mozogoy A.V. Osnovy proyektirovaniya betonnykh sloyev dorozhnoy odezhdy s zadannoy temperaturnoy treshchinostoykostyu. Proyektirovaniye betonov s zadannymi svoystvami (Fundamentals of designing concrete layers of pavement with a given temperature crack resistance. Concrete design with given properties). *The V Scientific-practical seminar «Structure, properties and composition of concrete»*. Rivne, 2006. P. 136-144 [in Russian].
7. Besarab O.M. Pidvyshchennia trishchynostiikosti asfaltobetonnykh shariv z vrakhuvanniam chasu dii navantazhennia (Increasing of crack resistance of asphalt layers taking into account load time) : dys. ... kand. tekhn. nauk. Kyiv, 2003. 142 p. [in Ukrainian].
8. Onyshchenko A.M. Pidvyshchennia dovhovichnosti asfaltobetonnykh shariv za rakhunok vykorystannia polimernykh lateksiv (Increasing the durability of asphalt layers due to the use of polymer latex) : dys. ... kand. tekhn. nauk. Kyiv, 2008 [in Ukrainian].
9. Onyshchenko A.M., Lapchenko A.S., Chyzhenko N.P. Metodolohiia rozrakhunku tsementobetonnoho pokryttia avtomobilnykh doroh na dovhovichnist (Methodology for calculating cement concrete covering highways for durability). No. 97238. Kyiv, 2020 [in Ukrainian].

---

**Artur Onishchenko**, D.Sc., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

**Natalia Chyzhenko**, <https://orcid.org/0000-0002-9152-2474>

*National Transport University, Kyiv, Ukraine*

## **ESTIMATION OF DURABILITY OF CEMENT CONCRETE PAVEMENT OF ROADS**

### **Abstract**

**Introduction.** In recent years, around the world on highways, there is a tendency to increase vehicle intensity and increase the share of heavy cars and multistage of trains with increased pressure in pneumatization. This causes premature destruction and invalid deformation on the roads, rapid withdrawal of their failure, a significant increase in the cost of transportation. The partial solution to this problem may be the use of cement concrete to cover the highways. In many countries, cement-concrete roads occupy a significant share. China, the world leader in the production of cement concrete, annually erected 20 thousand km<sup>2</sup>. KM high-speed cement-concrete roads. In the United States the share of cement concrete roads is 60 %, Germany — 42%, Czech Republic — 22 %, but in Ukraine — only 1 %.

Problem Statement. To date, existing methods and criteria for assessing the durability of the cement-concrete covering are disparate and as in assessing crack resistance coverage is taken into account separately or only the action of vehicles or the effect of temperature changes. Consideration of the common impact of temperature changes and the action of pneumatic wheels of vehicles, as well as shrinkage of cement in the estimation of crack resistance coverage will allow more objectively assess durability. The formation of cracks in the cement concrete coating violate the integrity and monolithic road construction, sharing it to separate blocks, unrelated to each other, the number and length of the formed cracks, formed on the coating, almost do not affect the movement of cars until the resulting pothole and chipping, which leads to deteriorating coverage, lowering the level of traffic safety and creating emergency-hazardous situations. As a consequence, the cost of maintenance and repair of cement concrete covering of highways, which are subjected to premature destruction, increases.

Purpose. The purpose of this work is to develop a method estimation durability of cement concrete covering roads, taking into account the common influence of shrinkage, temperature changes and the actions of pneumatic wheels of vehicles.

Materials and methods. Analysis of scientific publications, technical and normative literature on estimation of durability of cement concrete covering of roads.

Results and conclusions. Received dependencies that allow to calculate the service life of the projected cement-concrete pavement on highways crack resistance taking into account the common effects of shrinkage, temperature changes and the actions of pneumatic wheels of vehicles.

**Keywords:** motor road, cement concrete pavement, durability, tension, shrinkage, temperature, transport, crack resistance.

УДК 625.7

**Башкевич І. В.**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0001-7640-4317>**Корецький А. С.**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0003-0307-0306>**Онищенко А. М.**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>**Острроверх Б. М.**<sup>2</sup>, канд. техн. наук, ст. наук. співр., <https://orcid.org/0000-0002-3373-5535>**Потапенко Л. С.**<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-1303-7801><sup>1</sup> Національний транспортний університет, м. Київ, Україна<sup>2</sup> Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ, Україна

---

**МОДЕЛЮВАННЯ ДІЇ НАВАНТАЖЕННЯ ВІД ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ  
НА СТАН ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ТА ПРИЛЕГЛИХ СХИЛІВ  
ЗА ДАНИМИ ГЕОАКУСТИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ**

**Анотація**

**Вступ.** При будівництві автомобільних доріг у пересіченій місцевості часто виникають ситуації підрізання зсувонебезпечних ґрунтових схилів, що враховується при проектуванні стійких профілів укосів, захисних споруд та проведенні планувальних робіт. Але в процесі експлуатації доріг протягом достатньо тривалого часу дії транспортних засобів (ТЗ), у результаті продовження розвитку деформацій та зсувних процесів, у схилах відбуваються накопичення деформацій та напружень, збільшення пористості та тріщиноутворення, вони стають знову зсувонебезпечними. Продовження експлуатації доріг у цьому випадку завдає додаткові навантаження на схилі масиви та може стати тригерним ефектом до зсувів. Для уникнення цього вважається обґрунтованою необхідність врахування динамічної дії ТЗ та проведення моніторингу схилів, що може виконуватися методами геоакустичного чи георадарного спостереження, подібно до геологічних методів сейсмозвідки, що використовуються при пошуках корисних копалин.

**Проблематика.** Аналіз інформаційних джерел щодо прогнозування руйнування ґрунтових схилів та укосів показав, що відбирання та транспортування зразків ґрунту для лабораторних досліджень пов'язані з руйнуванням їх природного стану та до наближеного визначення характеристик, які необхідні для математичного моделювання. Цього можна позбутися при проведенні випробування в натурних умовах при використанні неруйнівних методів дослідження. Одним із таких методів є використання георадарів, а саме: приладів сейсмічного, акустичного та електромагнітного випромінювання з подальшим використанням методів спектральної діагностики. Використання цих приладів дозволяє ставити задачі геодіагностики зсувонебезпечних ділянок природних схилів та основ доріг в режимі постійного чи перервистого моніторингу з метою визначення гідродинамічних і механічних характеристик ґрунтів та прогностичних задач попередження катастрофічних подій.

**Мета.** Обґрунтувати використання сучасних методів обробки експериментальної інформації в задачах геоакустики, які дозволяють проводити прецизійні вимірювання параметрів природних матеріалів. При цьому можливі дослідження структури таких матеріалів, визначення співвідношень між мікро- і макроскопічними параметрами.

**Методи дослідження.** Математичне моделювання хвильових полів шляхом розв'язання рівнянь руху методом скінченних об'ємів із урахуванням геоакустичних методів спостереження.

**Результати.** Шляхом спектрального аналізу результатів числового експерименту отримані дані, які свідчать, що задане імпульсне навантаження, яке має зосереджений характер поблизу прикладання діючого навантаження трансформується залежно від фізичних і геометричних

умов поширення хвиль, що дає можливість ідентифікувати розташування зон порушення стійкості та визначати характеристики ґрунтових матеріалів схилів, а в часовому плані — на зміну цих параметрів.

**Висновки.** У результаті проведених числових експериментів показано, що зміна відстані джерела збудження коливань при наявності підстильного шару суттєво впливає на зменшення затухання динамічного навантаження. При розгляді конкретного об'єкта шляхом проведення числових експериментів можна отримати дані та надати рекомендації щодо влаштування, при можливості, дороги на безпечній відстані від схилу чи проектування захисних споруд (підпірні стінки, дренажні галереї тощо).

**Ключові слова:** геоакустичне дослідження, ґрунт, моніторинг, стійкість, схил, числовий метод скінченних об'ємів.

### Вступ

У сучасному будівництві автомобільних доріг у пересіченій місцевості нерідкі випадки підрізки зсувонебезпечних ґрунтових схилів. Для запобігання цьому, звертаються до наступних превентивних заходів: проектування стійких профілів укосів і захисних споруд, а також проведення планувальних робіт. У той же час, з часом, у схилах все одно відбуваються накопичення деформацій та напружень, збільшення пористості та тріщиноутворення внаслідок дії транспортних засобів (ТЗ) на дорожнє покриття та на основу. У результаті цього схили стають знову зсувонебезпечними [1, 2], а дорожнє покриття схильне до руйнування. У цьому випадку схилі масиви зазнають додаткових навантажень, що може спровокувати зсуви. Для запобігання цьому необхідно врахувати динамічну дію ТЗ та провести моніторинг схилів і дорожнього покриття. Під час моніторингу стану зсувонебезпечних ділянок виникають можливості виконання профілювання та топографічного дослідження ґрунтових характеристик на достатню глибину масивів за допомогою методів диференціальної спектроскопії параметрів акустичного резонансу (геоакустичні дослідження) та георадарного просвічування, і, таким чином, у процесі моніторингу отримати прогностичні висновки без відбирання зразків та їх випробовування для подальшого дослідження [3, 4].

Перші акустичні дослідження ґрунтувалися на звукових випромінюваннях, що поширюються в матеріалах у вигляді хвиль та сприймалися природнім датчиком — людським вухом, яке має дуже обмежений спектр сприйняття частот. Прилади щодо візуалізації звуків та реєстрації резонансних частот також базувалися на зорових та слухових відчуттях людини (наприклад, камертон) [5–7]. Зараз акустичні дослідження розглядаються в широкому розумінні використання механічних, магнітних та електричних приладів (датчиків), які реєструють коливання в діапазоні від 10 Гц до 11 000 Гц. Такі системи передбачення зсувів базуються також на безпосередній фіксації акустичних шумів, які супроводжують початкові процеси зсуву [8].

### Основна частина

Високі темпи дорожнього будівництва та зростаючі тенденції освоєння передгірського простору з нерівностями рельєфу, що спостерігаються останнім часом, сприяють розвитку і застосування новітніх будівельних технологій, що дозволяють створювати надійні конструкції. Завдання з моніторингу дорожніх конструкцій під час проектування та будівництва виникають при наступних обставинах [3]:

– при необхідності проведення контролю якості в період будівництва (контроль «прихованих» робіт);

- при експлуатації споруд з метою запобігання аварійних станів;
- при ремонті та реконструкції споруд.

Обстеження виконаних робіт складається, як правило, з таких етапів:

- обстеження дорожніх конструкцій;
- визначення інженерно-геологічних умов;
- визначення умов взаємодії споруди з навколишнім середовищем.

Для вирішення цих завдань використовують методи безпосереднього випробування матеріалів і конструкцій та інструментальні методи, в т. ч. використання неруйнівальних приладів. Як зазначається дослідниками [3, 7, 9, 10] способи безпосереднього випробування матеріалів і конструкцій, як правило, трудомісткі й дорого коштують, що не дозволяє виконувати великий обсяг випробувань. Інструментальні методи, які є в основному непрямими і тому не забезпечують отримання високоточних результатів, навпаки, недорогі і продуктивні. Зараховують до числа інструментальних також хвильові методи, які ґрунтуються на контролі за поширенням пружних хвиль і дозволяють досить оперативно отримувати необхідний обсяг інформації при вирішенні перерахованих вище завдань.

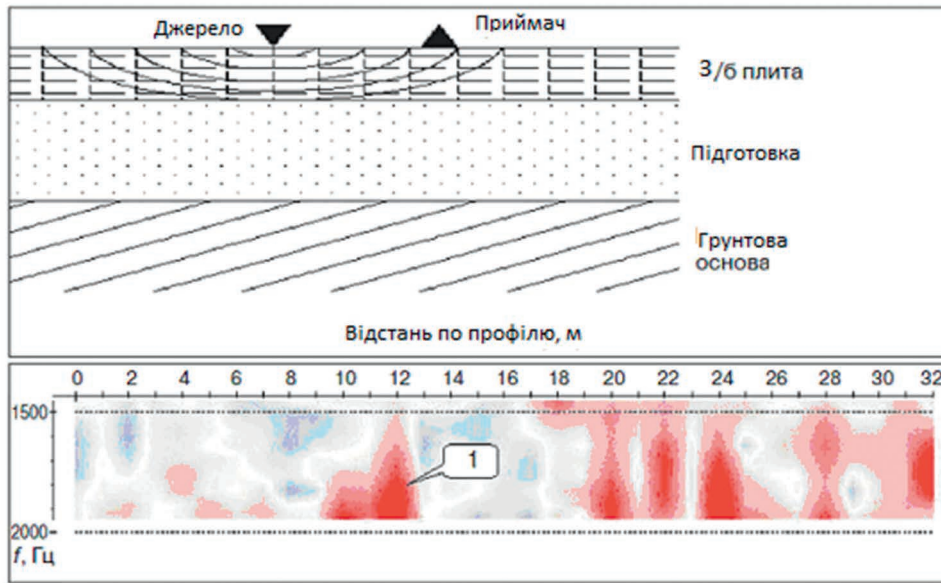
Хвильові (сейсмічні й акустичні) методи за способом застосування поділяють на три групи:

- поверхневі (джерело і приймач знаходяться на поверхні середовища);
- занурені (спостереження у внутрішніх точках середовища);
- змішані.

Спектр об'єктів, для вивчення яких можуть застосовуватися акустичні методи, досить широкий, тому розглянемо лише основні з них, де застосовуються способи найбільш відпрацьовані. На цей час є досвід застосування сейсмічних і акустичних методів при дослідженні існуючих і споруджуваних фундаментів [3], зокрема, суцільних (фундаментні плити), пальових та стрічкових фундаментів (рис. 1). Під час обстеження дорожніх плит акустичними методами можуть вирішуватися такі завдання: визначення характеристик міцності та деформаційних характеристик бетону, виявлення тріщин і дефектів, контроль товщини бетону, визначення стану контакту дорожньої плити з ґрунтовою основою. Для їх вирішення використовують імпульсні навантаження та коливання з частотою від одиниць до десятків кілогерц. Визначення міцності та деформаційних характеристик бетону здійснюють вимірюванням швидкостей поздовжніх, поперечних або поверхневих хвиль на постійній основі або за відомої товщини плити та їх використання для розрахунків на підставі кореляційних залежностей, отриманих для бетону.

Користуючись цією обставиною, можна проводити спостереження на дорожніх плитах про розповсюдження хвиль від джерела коливання до приймальних датчиків, визначаючи зростання спектральної амплітуди в смузі, близької до значення товщини резонансу (рис. 1), яке буде відповідати ділянкам порушення контактних умов. Так само зростання спектральних щільностей та амплітуд на ділянках схилів можуть свідчити про збільшення пористості та порушення їх стійкості внаслідок утворення зон тріщини.

Акустичні спостереження, які проводяться на плитах фундаментів і дорожнього покриття, дозволяють простежувати зміни товщини плит, характер армування, виникнення тріщин та інших дефектів контактних умов між плитами та основою. Спектральний характер явищ руйнування в зоні контакту споруд та основ, а також у зонах деформації та підготовки зсувних процесів на схилах визначають шляхом постановки числового моделювання. Проведенню успішної інтерпретації отриманих результатів сприяє використання математичного моделювання хвильових полів шляхом розв'язання рівнянь руху методом скінченних об'ємів на основі використання засобів Foam-extend 4.2 [11, 12].



1 — зростання спектральної амплітуди свідчить про порушення контакту між плитою та основою

**Рисунок 1** — Приклад визначення просторового положення ділянок порушення контакта плити дорожнього покриття з ґрунтовою основою

Сучасні геоакустичні дослідження дуже добре поєднуються з методами георадарних польових засобів, що дозволяють ефективно досліджувати стан ґрунтів на більші глибини та просторові ділянки.

*Теоретична постановка, рівняння і граничні умови.* Функціонал рівноваги отримано шляхом інтегрування по обсягу середовища рівняння рівноваги всіх діючих на тіло навантажень із урахуванням об'ємних сил.

$$\frac{\partial^2(\rho \mathbf{u})}{\partial t^2} - \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} = 0.$$

Розглядаючи баланс імпульсу сил на елемент твердого тіла, отримаємо такі векторні рівняння:

$$\boldsymbol{\epsilon} = \frac{1}{2}(\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T),$$

$$\boldsymbol{\sigma} = \mu \nabla \mathbf{u} + \mu \nabla \mathbf{u}^T + \lambda \text{tr}(\boldsymbol{\epsilon}) \mathbf{I}.$$

Враховуючи узагальнений закон Гука щодо малих деформацій  $\boldsymbol{\epsilon}$  ізотропного тіла і

$$\boldsymbol{\sigma} = 2\mu \boldsymbol{\epsilon} + \lambda \text{tr}(\boldsymbol{\epsilon}) \mathbf{I}$$

отримаємо вираз для тензора напружень  $\boldsymbol{\sigma}$  у вигляді функції вектора переміщень  $\mathbf{u}$

$$\frac{\partial^2(\rho \mathbf{u})}{\partial t^2} - \nabla \cdot [\mu \nabla \mathbf{u} + \mu (\nabla \mathbf{u})^T + \lambda \text{tr}(\nabla \mathbf{u}) \mathbf{I}] = 0$$

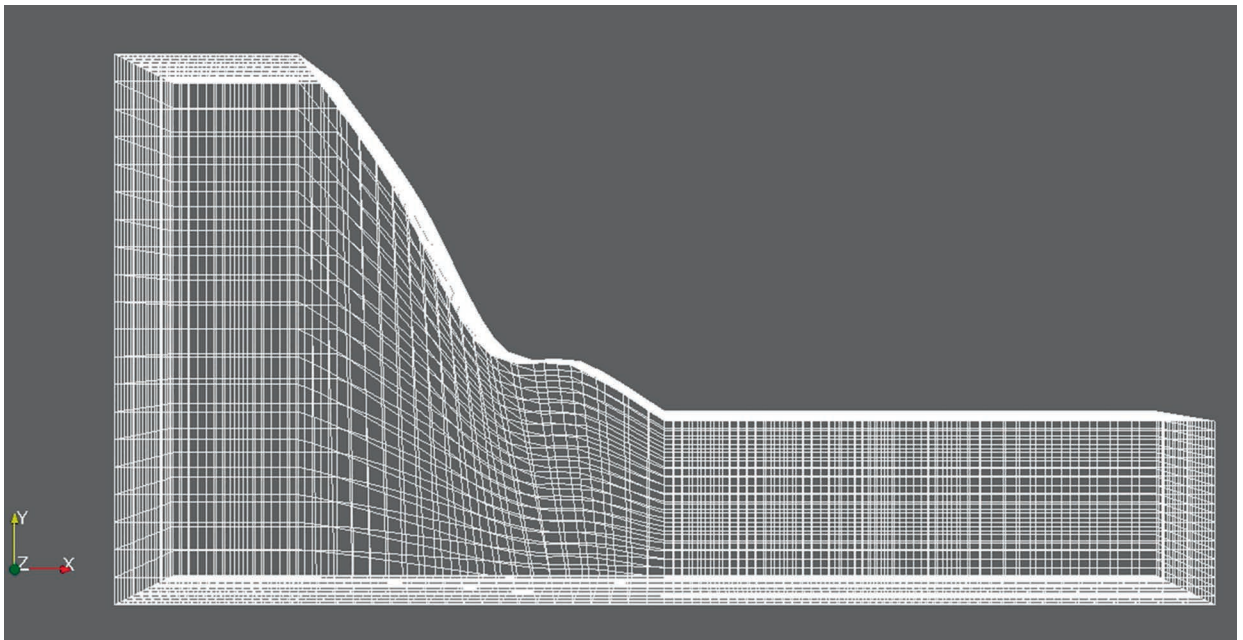


та відповідно рівняння пружно-лінійного середовища відносно однієї змінної  $u$  із урахуванням граничних і початкових умов.

Для задачі поширення та реєстрації акустичних хвиль видається можливим застосування однієї із сучасних програмних систем, комплекс Open FOAM із корпорації CDF, що є у вільному доступі [11, 12], але вимагає проведення побудови сітки та додаткових перетворень для задоволення граничних і початкових умов.

Вирішувачі (солвери stressFoam, elasticSolidFoam, solidDisplacementFoam) системи Open FOAM та інші — це програми для розрахунку напружень для пружного суцільного неоднорідного тіла, які застосовуються тут на першому етапі моніторингу як до визначення стаціонарного стану прилеглого схилу, так і дослідження перехідних процесів [11]. Тут вирішено зосередитися на дослідженні ізотермічних механічних напружень, тому частина вихідних параметрів щодо температурних ефектів буде знехтувана.

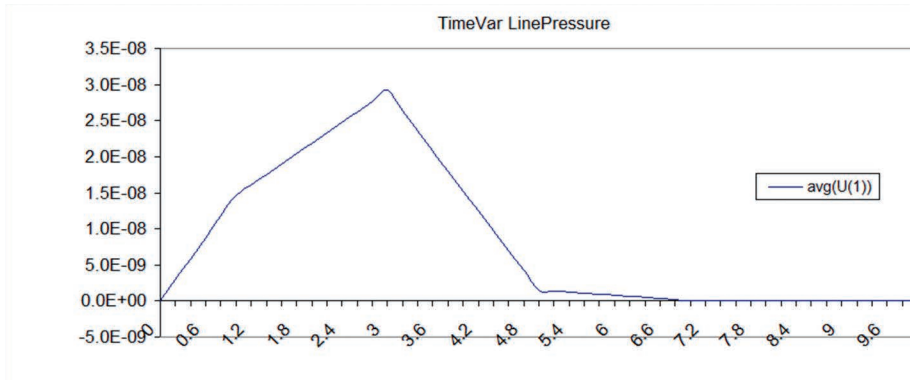
Для вирішення тестової задачі пружних коливань ділянки, що охоплює місце проходження дороги та прилеглого схилу, у змінних плоскої деформації під дією вертикального навантаження, що моделює джерело акустичного збудника, використаємо засоби системи OpenFoam (Variant Foam-extend 4.2 by CFD Company) [11–13], для чого доповнимо їх власною розробкою структурованої моделі (рис. 2), яка отримана засобами *GMSH*, *paraView*, *Excel* та *Surfer*.



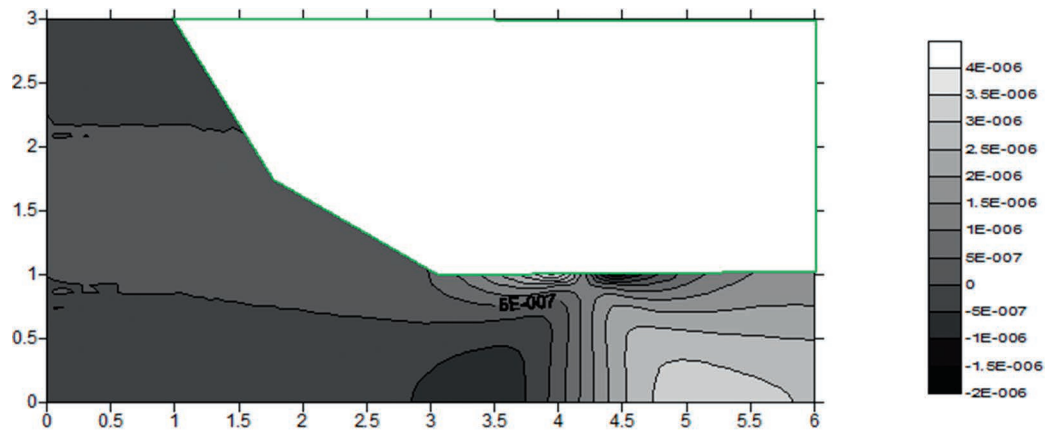
**Рисунок 2** — Структурована сіткова модель схилу

Хвильовий процес в пружній системі викликається дією імпульсного навантаження від ТЗ з вертикальним тиском  $P = 0,20$  МПа (рис. 3). Стабільний напружено-деформований стан отримаємо шляхом усталення коливань від прикладання навантаження без обнуління.

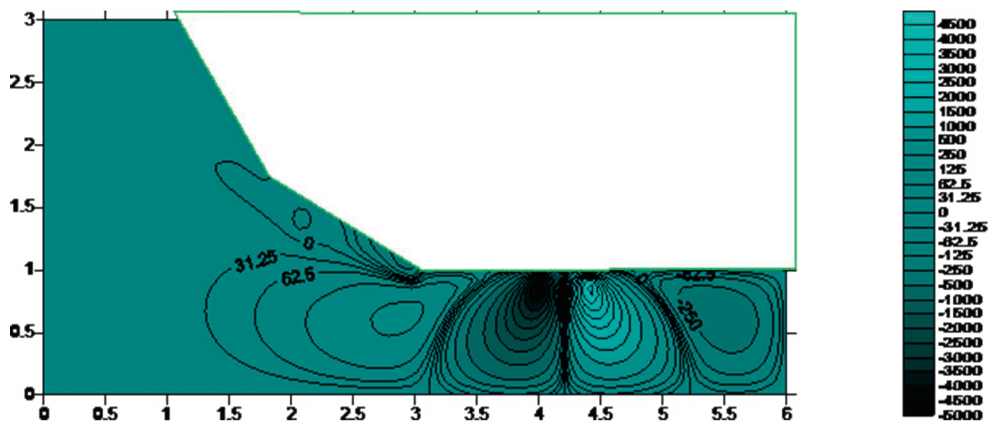
Форми деформованого та напруженого стану в зоні прикладання навантаження від ТЗ свідчать про відповідність отриманих рішень до відомих аналітичних рішень (задачі Фламана, рис. 4–7).



**Рисунок 3** — Переміщення (в метрах) під імпульсним навантаженням



**Рисунок 4** — Випробування на напруження — ізолінії швидкості деформації  $V_x$ , м/с



**Рисунок 5** — Поширення хвилі від лінії джерела за допомогою програми Foam-extension, напруження  $\sigma_{xy}$ , Па

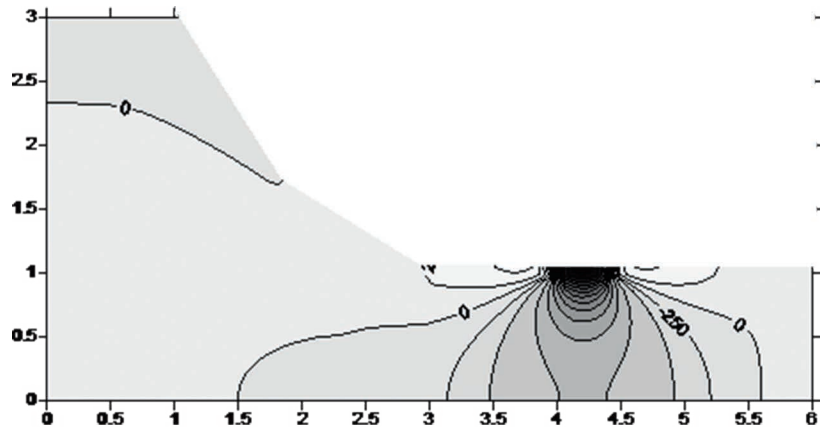


Рисунок 6 — Поширення хвилі від лінії джерела за допомогою програми Foam-extension, напруження  $\sigma_y$ , Па

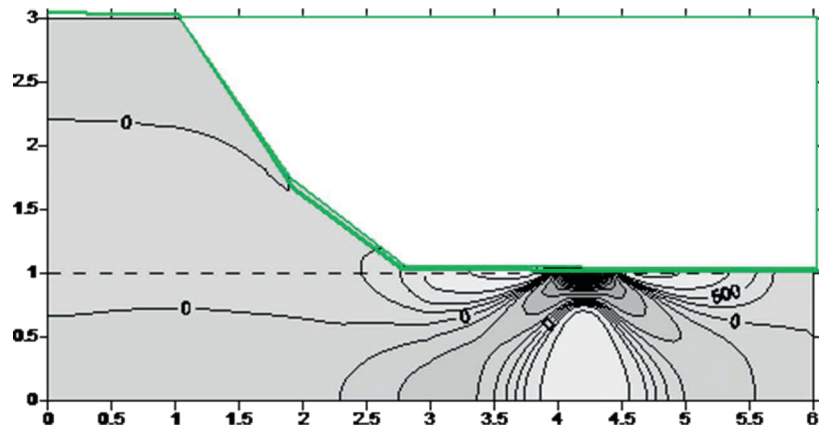


Рисунок 7 — Поширення хвилі від лінії джерела за допомогою програми Foam-extension, напруження  $\sigma_x$ , Па

Акустична реакція на схилі природного пагорба при розподіленому навантаженні показана на рис. 8–10.

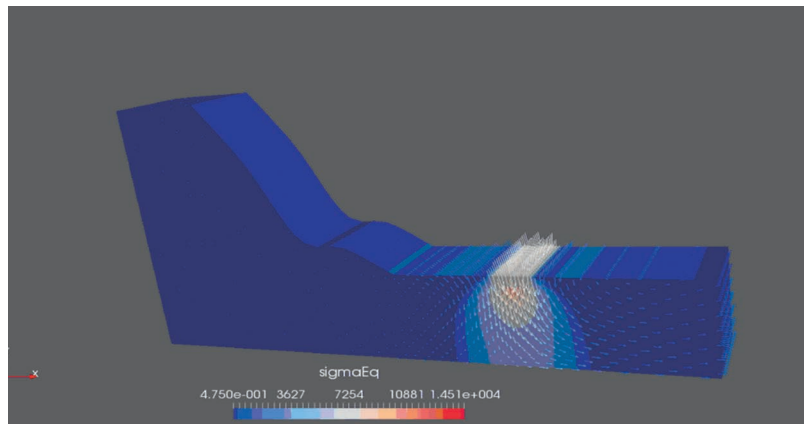
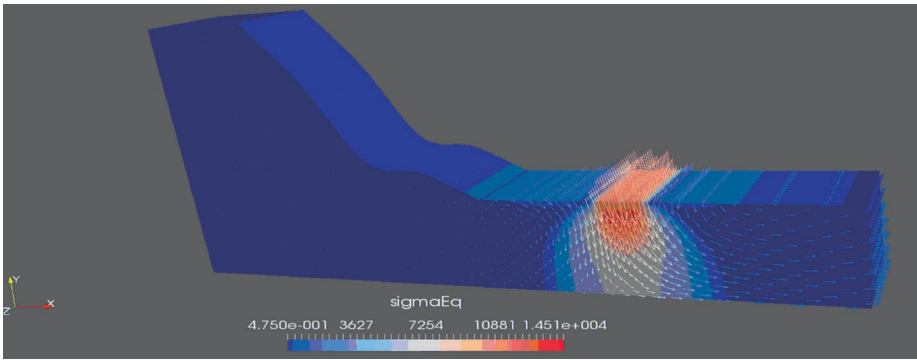
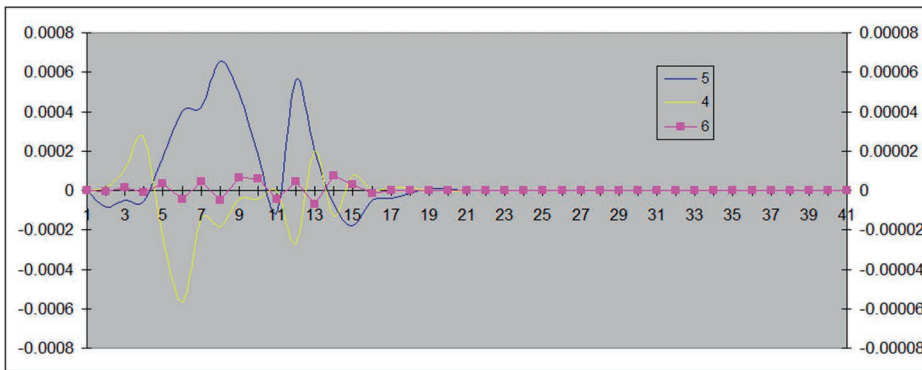


Рисунок 8 — Поширення хвилі від джерела імпульсу напруження на укосі схилу через 2 с

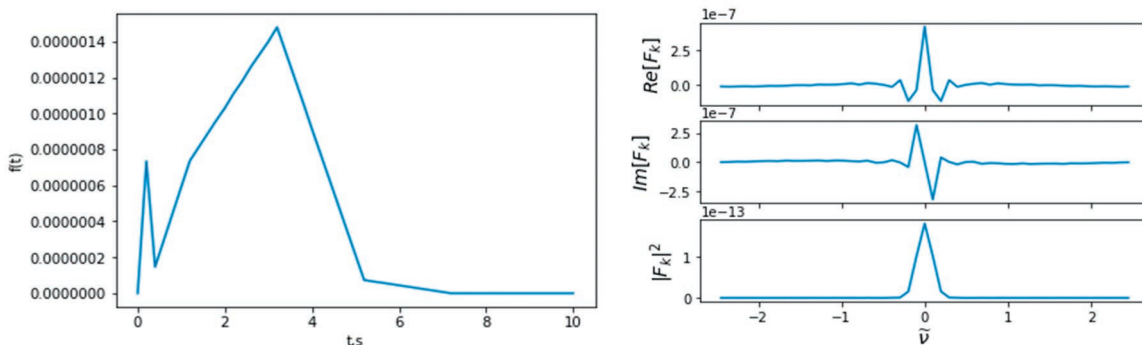


**Рисунок 9** — Поширення хвилі від джерела імпульсу напруження на укосі схилу через 3,5 с



**Рисунок 10** — Коливання точок регенерації у верхній частині схилу в часі (на горизонтальній осі число ступенів показано з  $\Delta t = 0,2$  с)

Рисунки, які отримані шляхом спектрального аналізування сейсмограми в пункті реєстрації 4 (рис. 10), свідчать про трансформацію сигналу при поширенні від джерела до ділянки ґрунтового схилу (рис. 11, рис. 12). Видно, що задане імпульсне навантаження, яке має зосереджений характер поблизу прикладання (рис. 11), на деякій віддалі трансформується залежно від фізичних і геометричних умов поширення хвиль (рис. 12), що дає можливість у подальшому ідентифікувати розташування зон порушення схилу та зменшення стійкості. З допомогою проведених числових експериментів показано, що зміна відстані джерела збудження коливань при наявності підстильного шару впливає на зменшення затухання динамічного навантаження.



**Рисунок 11** — Коливання та діапазон при навантаженні на автомобільній дорозі

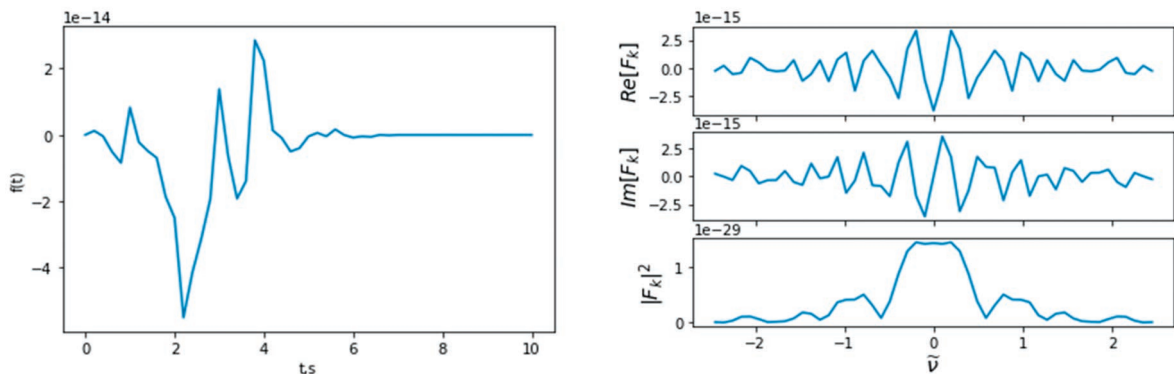


Рисунок 12 — Коливання та діапазон у точках реєстрації (4 м від місця навантаження)

### Висновки

Використання сучасних методів оброблення експериментальної інформації в задачах геоакустики дозволяє проводити прецизійні вимірювання параметрів природних матеріалів. При цьому можливі дослідження структури таких матеріалів, визначення співвідношень між мікро- та макроскопічними параметрами. Всі розглянуті вище методи об'єднує одна ідея — це ідея узгодження результатів обробки експериментальних і натурних даних із модельними уявленнями. У даному разі такий підхід можна розглядати як узгоджену (з фізико-математичними моделями) оцінку експериментальних даних. Сам підхід досить добре відомий, а можливості сучасної обчислювальної техніки й апаратури, що використовується для реєстрації представляють інтерес для інтерпретації акустичних сигналів, відкривають дуже широкі горизонти для дослідників, що працюють в області досліджень властивостей будівельних та природних матеріалів, плит та основ аеродромних і дорожніх покриттів.

Об'єднання методів лабораторних і числових досліджень із тими, що використовують у натурних умовах, дозволяє отримати додаткову інформацію, оцінити роль масштабних факторів і, насамкінець, оптимізувати методи експериментальних досліджень під вирішення конкретних прикладних задач.

Шляхом спектрального аналізу результатів числового експерименту отримані дані, які свідчать, що задане імпульсне навантаження, яке має зосереджений характер поблизу прикладання діючого навантаження трансформується залежно від фізичних і геометричних умов поширення хвиль, що дає можливість ідентифікувати розташування зон порушення стійкості та визначати характеристики ґрунтових матеріалів схилів, а в часовому плані — на зміну цих параметрів.

У результаті проведених числових експериментів показано, що зміна відстані джерела збудження коливань при наявності підстильного шару суттєво впливає на зменшення затухання динамічного навантаження від ТЗ. При розгляді конкретного об'єкта проведенням числових експериментів можна отримати дані з метою надання рекомендацій щодо зменшення допустимої дії ТЗ на схил і влаштування, при можливості, дороги на безпечній відстані від схилу або проектування захисних споруд (підпірні стінки, дренажні галереї тощо).

### Список літератури

1. Островерх Б.М. та ін. Чисельні дослідження напруженого стану та незворотних деформацій ґрунтових структур. *Будівельні конструкції. Механіка ґрунтів, геотехніка, фундаментобудування*. Київ, 2011. № 75, т. 2. С. 453-461.

2. Островерх Б. М., Савицький О. А. та ін. Рух та напружений стан схилів та укосів. *Світ геотехніки*. Запоріжжя, 2011. Вип 3 (31). С. 3-11.
3. Капустин В. В. Применение сейсмических и акустических технологий при исследовании состояния подземных строительных конструкций. *Технологии сейсморазведки*. Москва, 2008. № 1. С. 91-99.
4. Вусатюк А.Є. Оцінка технічного стану залізобетонних паль у ґрунті неруйнівними методами : автореф. дис. канд. техн. наук. Київ, 2019. 23 с.
5. Грінченко В.Т., Вовк І.В., Маципура В.Т. Основы акустики. Київ, 2007. 640 с.
6. Вовк І.В., Грінченко В.Т. Звук рожденный потоком (очерк о аэрогидродинамической акустике). Київ, 2010. 222 с.
7. Foti S. Geophysical Methods for Geotechnical Site Characterization. Surface Wave methods. Geo-Congress. Geo-Characterization and Modelling for Sustainability Short Course – 23rd of February 2014. URL: [www.soilmech.polito.it/people/foti\\_sebastiano](http://www.soilmech.polito.it/people/foti_sebastiano) (дата звернення: 02.07.2020).
8. Mudslides could be predicted with acoustic sensors. URL: <https://www.newscientist.com/article/dn25289-mudslides-could-be-predicted-with-acoustic-sensors/#ixzz6CQ6F3j7D> (дата звернення: 02.07.2020).
9. Busby J.P., Cuss R.J., Raines M.G., Beamish D., Application of ground penetrating radar to geological investigations, British Geological Survey Internal Report IR/04/21. Nottingham, 2004. 42 p. URL: <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/11336/1/IR04021.pdf> (дата звернення: 02.07.2020).
10. Borecka A., Herzig J., Durjasz-Rybacka M.. Ground penetrating radar investigations of landslides. A case study in a landslide in radziszow. *Studia Geotechnica et Mechanica*. Vol. 37, No. 3, 2015. DOI: 10.1515/sgem-2015-0028 (дата звернення: 02.07.2020).
11. Cardiff Ph. Introduction to Solid Mechanics with OpenFOAM: Basic Training 2016. 111 p. URL: <https://www.researchgate.net/publication/305618769> (дата звернення: 02.07.2020).
12. Tang Tian Non Linear Solid Stress Analysis peer Reviewed. *The stressed Foam solver in Open FOAM-1.6-extend*.
13. Demirdzic and S. Muzaferija. Numerical method for coupled fluid flow, heat transfer and stress analysis using unstructured moving meshes with cells of arbitrary topology. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 1995. 125 (1-4). P. 235-255.

### References

1. Ostroverkh B.M. & other. Chyselni doslidzhennia napruzhenoho stanu ta nezvorotnykh deformatsii gruntovykh struktur (Numerical studies of stress and irreversible deformations of soil structures). *Stroitel'nye konstrukcii*. Kyiv, 2011. N 75, part 2. P. 453-461 [in Ukrainian].
2. Ostroverkh B. M., Savytskyi O. A. & other. Rukh ta napruzhenyi stan skhyliv ta ukosiv (Movement and tension of slopes and jags). *Svit geotekhniki*. Zaporizhzhia, 2011. Iss. 3 (31). P. 3-11 [in Ukrainian].
3. Kapustyn V. V. Primeneniye seysmicheskikh i akusticheskikh tekhnologiy pri issledovanii sostoyaniya podzemnykh stroitelnykh konstruktсий (Application of seismic and acoustic technologies in the study of underground building structures). *Tekhnologii sejsmorazvedki*. Moscow, 2008. N 1. P. 91-99 [in Russian].
4. Vusatiuk A.Ie. Otsinka tekhnichnoho stanu zalizobetonnykh pal u grunti neruivivnymi metodamy (Assessment of the technical condition of reinforced concrete piles in the soil by non-destructive methods) : avtoref. dys. ... kand. tech. nauk. Kyiv, 2019. 23 p. [in Ukrainian].
5. Hrinchenko V.T., Vovk I.V., Matsypura V.T. Osnovy akustyky (Basics of Acoustics). Kyiv, 2007. 640 p. [in Russian].
6. Vovk I.V., Hrinchenko V.T. Zvuk rozhdennyi potokom (ocherk o aerohydrodynamicheskoi

akustyke) (Sound born by the flow (an essay on aerohydrodynamic acoustics)). Kyiv, 2010. 222 p. [in Russian].

7. Foti S. Geophysical Methods for Geotechnical Site Characterization. Surface Wave methods. Geo-Congress. *Geo-Characterization and Modelling for Sustainability Short Course – 23rd of February 2014*. [www.soilmech.polito.it/people/foti\\_sebastiano](http://www.soilmech.polito.it/people/foti_sebastiano) (Last accessed: 02.07.2020) [in English].

8. Mudslides could be predicted with acoustic sensors // Earth 25 March 2014. <https://www.newscientist.com/article/dn25289-mudslides-could-be-predicted-with-acoustic-sensors/#ixzz6CQ6F3j7D> (Last accessed: 02.07.2020) [in English].

9. Busby J.P., Cuss R.J., Raines M.G., Beamish D., Application of ground penetrating radar to geological investigations. *British Geological Survey Internal Report IR/04/21*. Nottingham, 2004. 42 p. URL: <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/11336/1/IR04021.pdf> (Last accessed: 02.07.2020) [in English].

10. Borecka A., Herzig J., Durjasz-Rybacka M.. Ground penetrating radar investigations of landslides. A case study in a landslide in radziszow. *Studia Geotechnica et Mechanica*, Vol. 37, No. 3, 2015. DOI: 10.1515/sgem-2015-0028 (Last accessed: 02.07.2020) [in English].

11. Cardiff Ph. Introduction to Solid Mechanics with OpenFOAM: Basic Training 2016. 111 p. <https://www.researchgate.net/publication/305618769> (Last accessed: 02.07.2020) [in English].

12. Tang Tian Non Linear Solid Stress Analysis peer Reviewed. The stressed Foam solver in Open FOAM-1.6-extend [in English].

13. Demirdzic and S. Muzafferija. Numerical method for coupled fluid flow, heat transfer and stress analysis using unstructured moving meshes with cells of arbitrary topology. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 1995. 125 (1-4). P. 235-255 [in English].

---

Iryna Bashkevych<sup>1</sup>, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0001-7640-4317>

Andrii Koretskyi<sup>1</sup>, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0003-0307-0306>

Artur Onyshchenko<sup>1</sup>, D.Sc., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

Borys Ostroverh<sup>2</sup>, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-3373-5535>

Liudmila Potapenko<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-1303-7801>

<sup>1</sup> National Transport University, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> Institute of Hydromechanics of NAS Ukraine, Kyiv, Ukraine

### ***THE VEHICLE LOAD SIMULATION ON THE PAVEMENT STRUCTURE AND ADJACENT SLOPES BASING ON THE GEOACOUSTIC DATA OBSERVATION***

#### ***Abstract***

**Introduction.** During the construction of highways in rough terrain, situations of pruning of landslide-prone soil slopes often occur, which is taken into account when designing stable profiles of slopes, protective structures and planning works. But in the process of road operation for a long time, as a result of continued development of deformations and landslides, in the systems of slopes there is an accumulation of deformations and stresses, increased porosity and cracking, they become landslide again. Continuation of road operation in this case puts additional load on the slopes and can serve as a trigger effect to landslides. To avoid this, it is justified to take into account the dynamic actions of vehicles and monitor the slopes, which can be performed by geoacoustic or georadar surveillance, similar to geological methods of seismic exploration used in the search for minerals.

**Problem Statement.** Analysis of information sources to predict the destruction of soil slopes and slopes showed that the extraction and transportation of soil samples for laboratory instruments and

subsequent installation in the working bodies are associated with the destruction of their natural state and to approximate the characteristics required for mathematical simulation. This can be eliminated by conducting field tests using non-destructive testing. Such means are the use of seismic, acoustic and electromagnetic radiation devices with the subsequent use of spectral diagnostic methods. This is caused by the problem of geodiagnostics of landslide-prone areas of natural slopes and foundations of structures in the mode of continuous or intermittent monitoring by these means to determine the hydrodynamic and mechanical characteristics of soils and prognostic tasks to prevent catastrophic events.

Purpose. To substantiate the use of modern methods of processing experimental information in geoacoustics problems, which allow to make precise measurements of the parameters of natural materials. At the same time it is possible to study the structure of such materials, to determine the relationships between micro- and macroscopic parameters.

Methods of research. Mathematical modeling of wave fields by solving equations of motion by the finite volume method, taking into account geoacoustic methods of observation.

Results. By spectral analysis of the results of the numerical experiment, the data obtained show that a given impulse load, which is concentrated near the application of the active load is transformed depending on the physical and geometric conditions of wave propagation, which allows to identify the location of zones of stability and determine the characteristics of soil slopes, and in the time plan — to change these parameters.

Conclusion. As a result of numerical experiments, it is shown that changing the distance of the source of excitation of oscillations in the presence of the underlying layer significantly reduces the attenuation of the dynamic load. When considering a specific object through numerical experiments, it will be possible to obtain data to provide recommendations for the arrangement of the road at a safe distance from the slope or the design of protective hydraulic structures (retaining walls, drainage galleries, etc.).

**Key words:** geoacoustic research, soil, monitoring, slope, stability, numerical methods of finite volumes.



УДК 625.7

Литвиненко А. С., інженер шляхів сполучення, <https://orcid.org/0000-0002-7414-4731>

## ЩОДО ОЦІНКИ ЗНАЧЕНЬ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПІЩАНИХ ҐРУНТІВ ЗА ДАНИМИ СТАТИЧНОГО ТА ДИНАМІЧНОГО ЗОНДУВАННЯ

### Анотація

**Вступ.** Під час інженерно-геологічного вишукування на стадії проектування об'єктів або для оцінки стану і несної здатності природної основи чи земляної споруди на стадії експлуатації, часто використовують методи статичного або динамічного зондування.

**Результати.** На основі аналізу табличних даних, як чинних так і колишніх нормативних документів та літературних джерел, а також власного досвіду, наведена графічна й аналітична інтерпретація значень основних фізико-механічних показників піщаних ґрунтів за даними показників статичного і динамічного зондування.

**Висновки.** Отримані нові емпіричні аналітичні залежності дозволяють значно прискорити оброблення даних польових інженерно-геологічних вишукувань і забезпечити більш об'єктивне порівняння стану таких ґрунтів на різних об'єктах під час прийняття проектних рішень для попередніх розрахунків основ будівель і споруд.

**Ключові слова:** густина сухого ґрунту, динамічне зондування, зчеплення, кут внутрішнього тертя, модуль деформації, піщані ґрунти, статичне зондування.

### Вступ

Протягом багатьох десятиліть під час інженерно-геологічних вишукувань для будівництва одночасно виконують, як бурові роботи для відбору зразків порушеного та не порушеного ґрунту, так і методи статичного і динамічного зондування ґрунтів, але через значну складність відбору монолітів піщаних ґрунтів, особливо нижче рівня ґрунтових вод, при оцінці значень їх фізико-механічних показників на практиці безумовну перевагу надають саме результатам зондування.

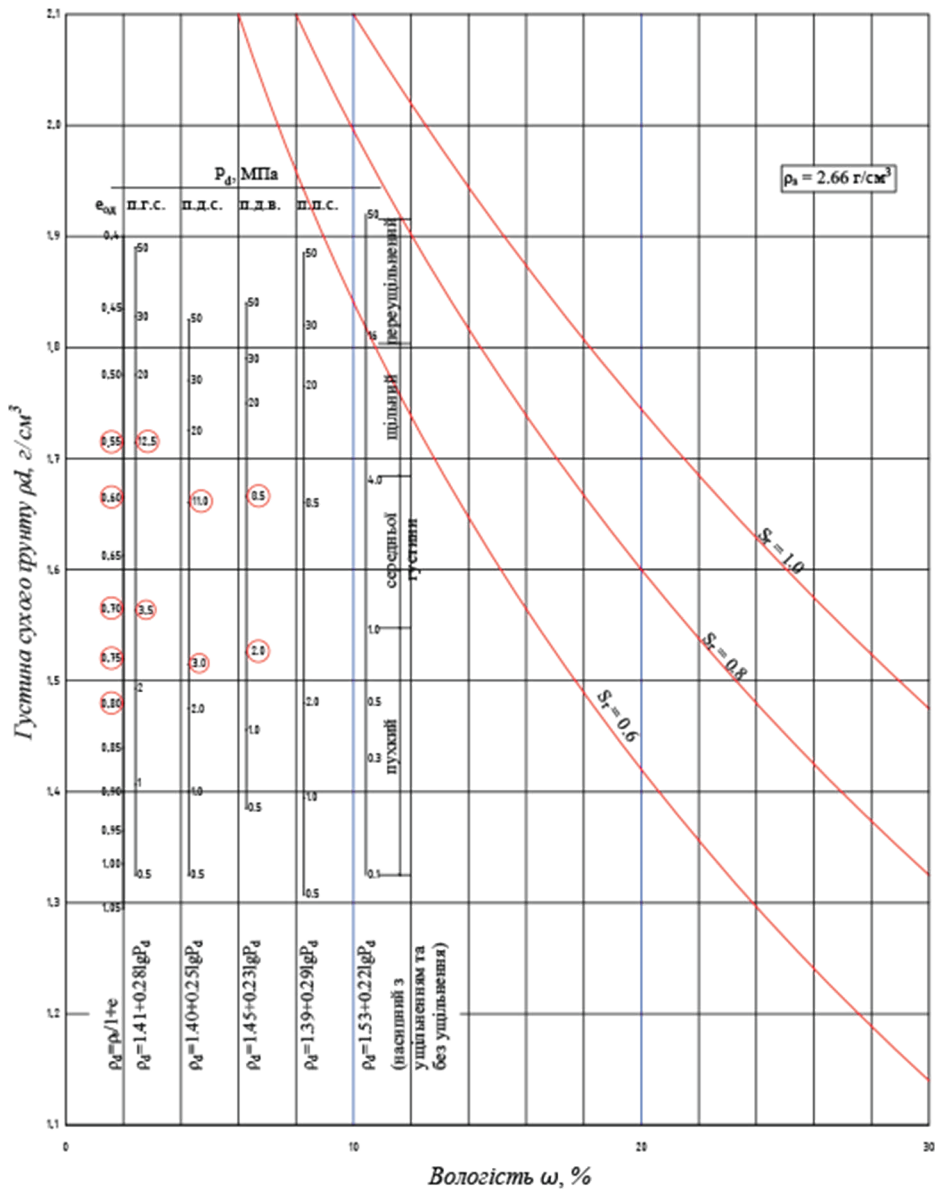
За цей час на основі узагальнення багатьох досліджень були складені відповідні таблиці, які в першу чергу характеризують умовні межі переходу піщаних ґрунтів від одного стану щільності до іншого за їх коефіцієнтом пористості: пухкі, середньої густини, щільні, такі, як наприклад наведені у [1, с. 17]. У дещо більш розширеному вигляді та із залученням кореляційних даних щодо механічних властивостей піщаних ґрунтів ( $\varphi$ ,  $C$ ,  $E_d$ ), вони надавались й у відповідних нормативних документах щодо інженерних вишукувань для будівництва [2, с. 92; 5; с. 27], але без приміток щодо можливості інтерполяції цих даних для більш детального аналізу. Тому користування цими даними у виробничій і проектній практиці є досить складною справою.

У цій роботі була зроблена спроба представлення в графічному й аналітичному вигляді надбаних емпіричних табличних даних із метою покращення роботи геологів і проектувальників та можливості більш об'єктивного перевіряння даних, отриманих у реальних умовах роботи фундаментів будинків та інженерних споруд.

### Основна частина

На рис. 1 зображено значення густини сухого ґрунту, піщаних ґрунтів  $\rho_d$ , г/см<sup>3</sup>, і коефіцієнта пористості  $e$ , од, (здвоєна шкала ординат), а також показника умовного динамічного опору ґрунтів

зондуванню  $P_d$ , МПа (табл. 1) для кварцевих пісків із  $\rho_s = 2,66 \text{ г/см}^3$ . За аналогічною схемою можна побудувати відповідні здвоєні шкали для густини сухого ґрунту та коефіцієнта пористості під конусом статичного зонда  $q$ , МПа, згідно з даними табл. 2.



**Рисунок 1** — Графічне порівняння чинних рекомендацій щодо оцінки густини сухого ґрунту: піщаних ґрунтів природного залягання методом динамічного зондування

Оскільки, у більшості реальних випадків вишукувань доводиться мати справу саме з кварцевим, алювіальними, морено-зондровими і флювіогляціальними пісками як колишні, так і чинні норми і нормативні документи дозволяють надавати значення фізико-механічних показників цих пісків незалежно від їх вологості, що ще більше спрощує задачу підбору емпіричних залежностей між ними та показниками статичного чи динамічного опору зондуванню.

Як показує проведений аналіз, всі ці залежності досить добре підпорядковуються логарифмічній залежності типу:

$$y = a + b \lg P_d, \quad (1)$$

$$\text{або } y = a + b \lg q. \quad (2)$$

Таблиця 1

*Емпіричні рівняння визначення фізико-механічних показників піщаних ґрунтів за показником динамічного зондування  $P_d$ , МПа*

Вид піщаного ґрунту	Рівняння
Пісок грубо і середньо зернистий незалежно від вологості	$\rho_d = 1,41 + 0,28 \lg P_d$ $\varphi = 12,6 + 28,37 \lg P_d$ $C = -2,07 + 3,02 \lg P_d$ $E_d = 4,64 + 37,4 \lg P_d$
Пісок дрібнозернистий маловологий і вологий	$\rho_d = 1,40 + 0,25 \lg P_d$ $\varphi = 21,2 + 13,6 \lg P_d$ $C = -1,93 + 4,57 \lg P_d$ $E_d = 0,7 + 34,0 \lg P_d$
Пісок дрібнозернистий водонасичений	$\rho_d = 1,45 + 0,23 \lg P_d$ $\varphi = 9,98 + 23,81 \lg P_d$ $C = -1,7 + 3,39 \lg P_d$ $E_d = 5,75 + 37,79 \lg P_d$
Пісок пилюватий маловологий і вологий	$\rho_d = 1,39 + 0,29 \lg P_d$ $\varphi = 14,80 + 17,22 \lg P_d$ $C = 0,1 + 5,13 \lg P_d$ $E_d = -0,58 + 25,68 \lg P_d$
Пісок дрібнозернистий насипний маловологий і вологий без ущільнення та з ущільненням	$\rho_d = 1,53 + 0,22 \lg P_d$ $\varphi = 9,93 + 21,85 \lg P_d$ $C = -0,64 + 5,38 \lg P_d$ $E_d = -17,52 + 73,94 \lg P_d$

Таблиця 2

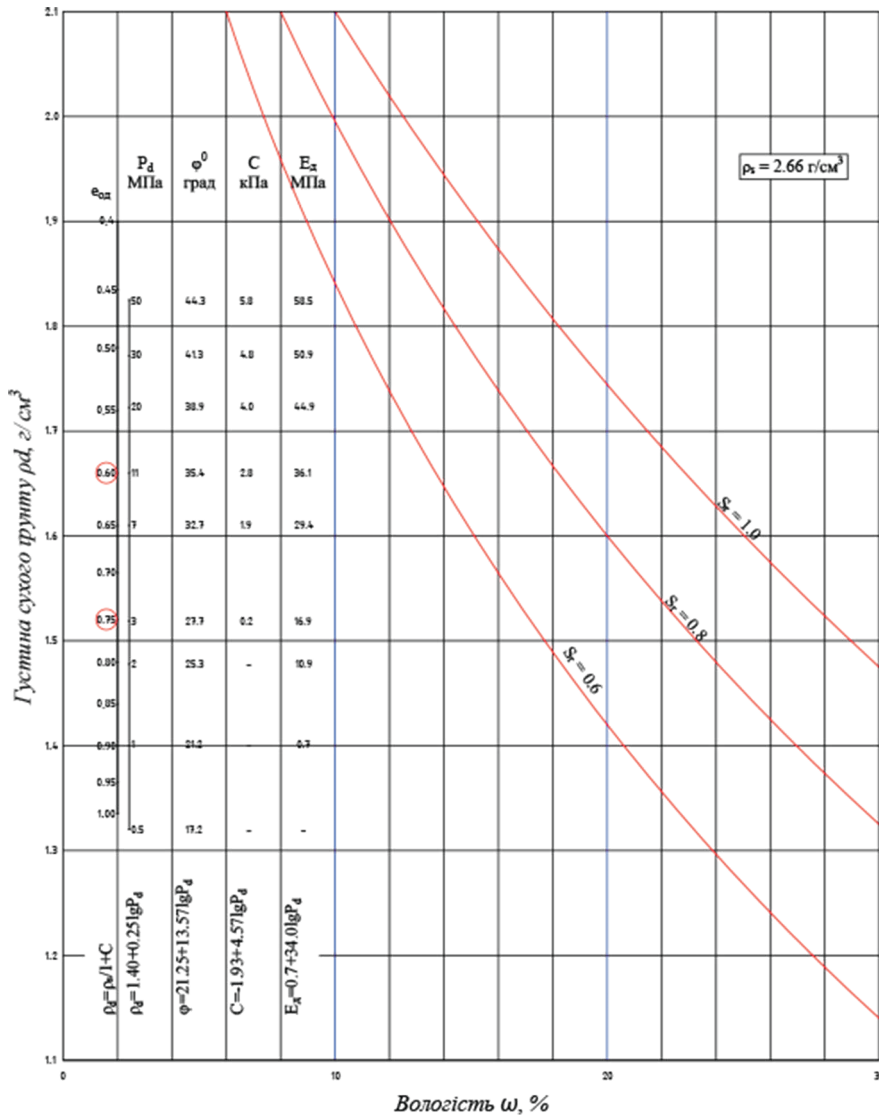
*Емпіричні рівняння визначення фізико-механічних показників піщаних ґрунтів за показником статичного зондування  $q$ , МПа*

Вид піщаного ґрунту	Рівняння
Пісок грубо і середньо зернистий незалежно від вологості	$\rho_d = 1,35 + 0,31 \lg q$ $\varphi = 12,45 + 17,97 \lg q$ $C = -1,58 + 2,95 \lg q$ $E_d = 3,16 + 36,22 \lg q$
Пісок дрібнозернистий не залежно від вологості	$\rho_d = 1,32 + 0,32 \lg q$ $\varphi = 12,64 + 21,35 \lg q$ $C = -3,18 + 2,95 \lg q$ $E_d = -5,0 + 40,7 \lg q$
Пісок пилюватий маловологий і вологий	$\rho_d = 1,31 + 0,35 \lg q$ $\varphi = 15,88 + 17,85 \lg q$ $C = -0,51 + 5,01 \lg q$ $E_d = -7,22 + 38,44 \lg q$
Пісок пилюватий водонасичений	$\rho_d = 1,38 + 0,34 \lg q$ $\varphi = 16,86 + 18,28 \lg q$ $C = -1,11 + 6,0 \lg q$ $E_d = -0,48 + 37,4 \lg q$

Таким чином, виходячи із прийнятих у нормативних документах контрольних (межових) значень коефіцієнтів пористості —  $e$ , не становить складності підібрати для кожного виду піщаного ґрунту відповідні їм емпіричні коефіцієнти логарифмічних рівнянь, як це показано на рис. 1.

Дані необхідні для побудови цих графіків (для динамічного зондування), тобто стосовно значень  $\rho_d = f(P_d)$  також наведені у табл. 1.

На рис. 2 зображено приклад графічної інтерпретації значень фізико-механічних показників дрібнозернистих пісків маловологих і вологих. Емпіричні аналітичні залежності для цих показників також наведені у відповідній частині табл. 1.

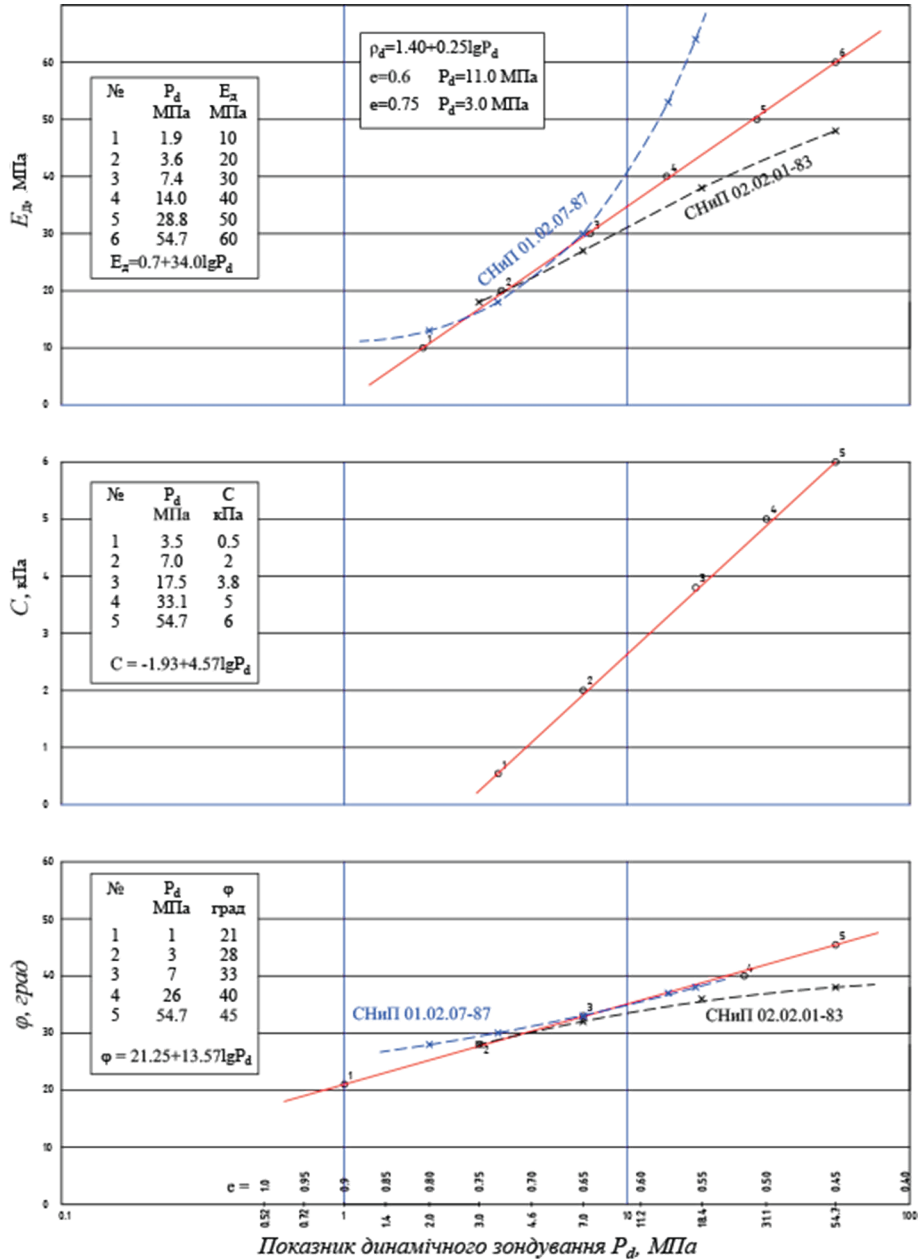


**Рисунок 2** — Графічна інтерпретація значень механічних показників дрібнозернистого піску маловологого, вологого, природного залягання

Щоб краще зрозуміти механізм аналітичної оцінки значень механічних показників будь-яких піщаних ґрунтів на рис. 3 наведений приклад такої оцінки для тих же дрібнозернистих маловологих і вологих пісків. Тут здвоєною ( $e_{од} - P_d$ , МПа) є шкала абсцис, а показники  $\varphi$ , град,  $C$ , кПа і  $E_x$ , МПа представлені відповідними відрізками шкали ординат. Як видно з цього рисунка, у такий спосіб зручно порівнювати й аналізувати дані, що мають у різних нормативних документах [2, 5] різні представлення, або через показник пористості  $e$ , од ґрунтів, як у [5], або у значеннях  $P_d$ , як у [2].

На рис. 3 досить добре видно, які особливості одного так і іншого підходів та зникає

необхідністю інтерполяції показників  $\varphi$ ,  $C$  і  $E_d$  завдяки можливості їх безпосереднього обрахування через надані в цій роботі формули. Більш того, завдяки такому підходу та запропонованому в [7] принципу піонерної диференціації інженерно-геологічних розрізів за інженерно-геологічними елементами (ІГЕ) в першу чергу саме через аналіз значень опору ґрунтів зондуванню  $P_d$ , з'являється можливість більш ефективно набувати й аналізувати експериментальні дані щодо підтвердження, спростування чи уточнення отриманих нами емпіричних залежностей значень фізико-механічних показників піщаних ґрунтів.



**Рисунок 3** — Механізм оцінки механічних показників дрібнозернистого піску маловологого та вологого за здвоєною шкалою абсциси  $e$  -  $P_d$

## Висновки

Надання чинним табличним нормативним значенням показників фізико-механічних властивостей піщаних ґрунтів, графічного й аналітичного змісту дозволяє не тільки краще усвідомлювати реальний стан таких ґрунтів у їх природному заляганні чи штучних інженерних спорудах, але і більш швидко та детально перевіряти їх у процесі геотехнічних вишукувань і проектування.

## Список літератури

1. Ребрик Б.М. Справочник по бурению инженерно-геологических скважин. Москва, 1983. 288 с.
2. СНиП 1.02.07-87 Инженерные изыскания для строительства. Москва, 1988. 105 с. (Інформація та документація).
3. ДБН А.2.1-1-2008 Інженерні вишукування для будівництва. Київ, 2008. 78 с. (Інформація та документація).
4. ДБН А.2.1-1-2014 Інженерні вишукування для будівництва. Київ, 2014. 85 с. (Інформація та документація).
5. СНиП 2.02.01-83 Основания зданий и сооружений. Основные положения проектирования. Москва, 1983. 67 с. (Інформація та документація).
6. ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. Київ, 2009. 85 с. (Інформація та документація).
7. ДСТУ Б.2.1-9:2016 Ґрунти. Методи польових випробувань статичним і динамічним зондуванням. Київ, 2017. 22 с. (Інформація та документація).

## References

1. Rebrik B.M. Spravochnik po bureniyu inzhenerno-geologicheskikh skvazhin (Handbook for Drilling Engineering and Geological Wells). Moscow, 1983. 288 p. [in Russian].
2. SNiP 1.02.07-87 Inzhenernyye izyskaniya dlya stroitelstva (Building regulations (SNiP 1.02.07-87) Engineering surveys for construction). Moscow, 1988. 105 p. (Information and documentation) [in Russian].
3. DBN A.2.1-1-2008 Inzhenerni vyshukuvannia dlia budivnytstva (State Building Norms (DBN A.2.1-1-2008) Engineering surveys for construction). Kyiv, 2008. 78 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
4. DBN A.2.1-1-2014 Vyshukuvannia, proektuvannia i terytorialna diialnist. Vyshukuvannia inzhenerni. Vyshukuvannia dlia budivnytstva (State Building Norms (DBN A.2.1-1-2014) Survey, design and territorial activities. Engineering research. Research for construction). Kyiv, 2014. 85 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
5. SNiP 2.02.01-83 Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy. Osnovnyye polozheniya proyektirovaniya (Building regulations (SNiP 2.02.01-83) Foundations of buildings and structures. Basic design principles. Moscow, 1983. 67 p. (Information and documentation) [in Russian].
6. DBN V.2.1-10-2009 Osnovy ta fundamenti sporud. Osnovni polozhennia proektuvannia (State Building Norms (DBN V.2.1-10-2009) Foundations and foundations of buildings. Basic design provision. Kyiv, 2009. 85 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
7. DSTU B.2.1-9:2016 Grunty. Metody polovykh vyprobuvan statychnym i dynamichnym

zonduvanniam (State Standard of Ukraine (DSTU B.2.1-9:2016) Soils. Methods of field tests by static and dynamic sounding). Kyiv, 2017. 22 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

---

Anatoly Lytvynenko, *Engineer of Traffic Route*, <https://orcid.org/0000-0002-7414-4731>

### ***ON EVALUATION OF VALUES OF PHYSICAL AND MECHANICAL INDICATORS OF SAND SOILS ACCORDING TO STATIC AND DYNAMIC DATA OF PROBING***

#### ***Abstract***

**Introduction.** During engineering and geological surveys at the stage of objects designing or to assess the condition and bearing capacity of a natural foundation or earthwork during the operation stage, static or dynamic probing methods are often used.

**Results.** Based on the analysis of tabular data, both current and former regulations and literature sources, as well as own experience, graphical and analytical interpretation of the values of the main physical and mechanical parameters of sandy soils according to static and dynamic probing data is given.

**Conclusions.** The obtained new empirical and analytical dependences allow significantly accelerating the processing of field engineering and geological surveys data and providing more objective comparison of the condition of such soils at different sites during design solutions taking for preliminary calculations of the buildings and facilities foundations.

**Keywords:** dry soil density, dynamic probing, adhesion, internal friction angle, deformation modulus, sandy soils, static probing.

УДК 624.4:539.374

Бабков О. В., канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0001-5075-4239>

Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури, м. Київ, Україна

## ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ РЕБРИСТОЇ ПЛИТИ

### Анотація

**Вступ.** Мета оптимізації полягає в знаходженні найкращого варіанта серед можливих. Методи оптимізації застосовуються у розрахунку оптимальних технологій, оптимальної геометричної форми конструкції, витрат матеріалів і подібних задач. Одним із варіантів є відшукання найбільш економічної конструкції з урахуванням різних можливих форм вичерпання несної здатності конструкції, тут — ребристої плити. Відповідно до змісту кінематичного методу несна здатність — здатність конструкції сприймати граничне навантаження, визначається як найменша за різними формами руйнування. У роботі [1] в оптимізаційних розрахунках незалежними змінними були шість величин, а саме товщина плити, кількість балок в поперечному перерізі, висота балок, армування балок і армування плити в двох напрямках. Параметрами оптимізаційної задачі були границі текучості арматури балок і плити, довжина прогону, величина заданої несної здатності, спосіб спорудження і строк експлуатації.

**Проблематика.** Відшукання оптимальних параметрів майбутньої конструкції, а при вимушеному відхиленні від оптимума — відшукання вартості такого відхилення.

**Мета.** Виявлення впливу параметрів на показники оптимального проекту довжини прогону, інтенсивності заданого рівномірного навантаження, способу спорудження, планованої тривалості експлуатації та інших чинників.

**Матеріали та методи.** Використано апробовану методику розрахунку несної здатності, яка базується на кінематичному методі теорії граничної рівноваги, за допомогою якого була оцінена несна здатність ребристих плит.

**Результати.** Завдяки численным розрахункам виявлено вплив параметрів на показники оптимального проекту, а саме довжини прогону інтенсивності заданого рівномірного навантаження, способу спорудження, планованої тривалості експлуатації та інших чинників. Отримані результати носять довідковий характер і не претендують на широкі узагальнення.

**Висновки.** З'ясовано, що ціни на матеріали і роботи суттєво впливають не тільки на вигляд оптимального проекту, але можуть дещо змінити усталені уявлення про загальноновживані показники таких конструкцій.

**Ключові слова:** залізобетонна балка, кінематичний метод, несна здатність, оптимальне проектування, ребриста плита.

### Вступ

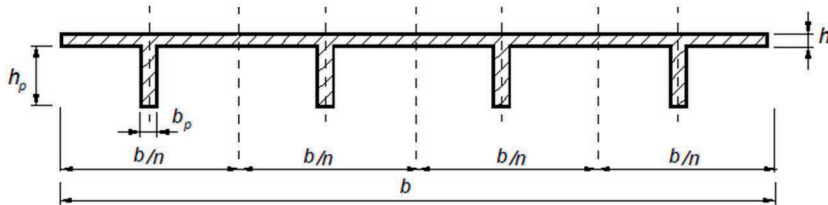
Після того, як визначено місце розташування руслових і заплавних опор, а також обрано довжини прогонів, можна переходити до проектування прогонових будов. Із точки зору будівельної механіки звичайна балкова прогонова будова може розглядатися як плита, підкріплена ребрами одного напрямку. Хоча чинні норми проектування повністю регламентують належні розрахунки, було би корисно вже на початкових етапах проектування приблизно знати основні параметри майбутньої конструкції — товщину плити, розміри перерізів балок, їх кількість по ширині проїзної



частини, армування плити і балок.

У роботі [1] для попереднього визначення таких показників запропоновано розрахункову модель задачі оптимального проектування з наступними припущеннями: балки вважаються розрізними, шарнірно закріпленими на опорах; поперечне навантаження рівномірно розподілене по всій плиті проїзної частини.

На рис. 1 показано поперечний переріз прогону регулярної структури.



$b$  — ширина плити проїзної частини;  $l$  — довжина прогону;  $h$  — товщина плити;  $h_p$  — висота балки;  $b_p$  — ширина балки, постійна по всій висоті;  $n$  — кількість балок в перерізі;  $A_S$  — площа перерізу робочої арматури балки;  $\mu$  — коефіцієнт армування розтягнутої зони балки;  $A_Y$  — погонна площа перерізу поздовжньої арматури плити;  $A_X$  — погонна площа перерізу поперечної арматури в плиті;  $q$  — інтенсивність розподіленого поперечного навантаження;  $\sigma_T$  — границя текучості сталльної арматури,  $\sigma$  — міцність бетону при стиску

Рисунок 1 — Поперечний переріз прогону

У роботі [1] було введено такі безрозмірні величини:  $\psi = lb^{-1}$  — відносна довжина прогону;  $\varepsilon = hb^{-1}$  — відносна товщина плити,  $\nu = h_p b^{-1}$  — відносна висота балки;  $\beta = b_p h_p^{-1}$  — відносна ширина балки;  $p = q\sigma^{-1}$  — відносна інтенсивність поперечного навантаження.

Модель [1] побудовано на оцінках несної здатності конструкцій, для цього залучено кінематичний метод теорії граничної рівноваги, який приводить до верхніх її оцінок. Важливою особливістю такого підходу є виняткова простота (на відміну від нормативних розрахунків), а отримувані вирази мають замкнуту форму — вигляд готових розрахункових співвідношень, а не процедур. Розрахунки побудовано на порівнянні різних можливих форм вичерпання несної здатності ребристої плити (рис. 2) а) — балкової, б) плитної — поміж балок, в) консольної. Відповідно до змісту кінематичного методу несну здатність визначають як найменшу за різними формами руйнування.

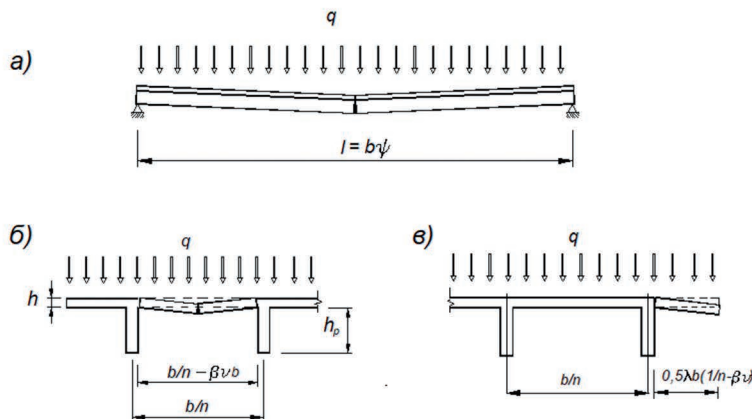


Рисунок 2 — Форми руйнування: а) балкова, б) плитна, в) консольна

Далі наведено остаточний вигляд і складові цільової функції, запропонованої в [1].  
Повна вартість матеріалів (1):

$$Z_1 = b^3 \psi \left\{ C_1 n (\varepsilon n^{-1} + \beta v^2) + C_2 \gamma \left[ n \mu_R v^2 \beta + \varepsilon (\mu_x + \mu_y) \right] \right\}, \quad (1)$$

де  $C_1$  — вартість 1 м<sup>3</sup> укладеного монолітного бетону;  
 $C_2$  — вартість 1 т арматурної сталі;  
 $\gamma$  — питома вага сталі.

Для монолітної прогонової будови використовується опалубка, витрати на яку пропорційні до площі поверхні споруджуваної прогонової будови:

$$Z_2 = C_3 b^2 \psi (1 + 2nv + 2\varepsilon), \quad (2)$$

де  $C_3$  — вартість 1 м<sup>2</sup> опалубки.

Крім зведення враховуються також витрати на експлуатацію конструкції протягом певного терміну  $t$  років. Експлуатаційні витрати, які пропорційні до площі поверхні і різночасові витрати з дисконтуванням враховуються як:

$$Z_3 = C_4 b^2 \psi (1 + 2nv + 2\varepsilon) (1 + E)^{-t}, \quad (3)$$

де  $C_4$  — витрати на експлуатацію 1 м<sup>2</sup> поверхні конструкції в рік;  
 $E$  — коефіцієнт економічної ефективності.

Остаточну цільову функцію обчислюють як суму

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3. \quad (4)$$

У подальшому для розв'язання оптимізаційної задачі будемо шукати мінімум  $Z$ , змінюючи згадані вище змінні проектування — товщину плити, кількість балок, їх розміри і армування.

Запропоновану модель належить використовувати не замість нормативних розрахунків, а перед ними для того, щоб:

- мати попереднє уявлення про оптимальні показники майбутньої конструкції;
- при вимушеному відхиленні від оптимума знати вартість такого відхилення.

## Виклад основного матеріалу

Метою роботи, поданої нижче, є виявлення впливу на показники оптимального проекту довжини прольоту, інтенсивності заданого рівномірного навантаження, способу спорудження, планованої тривалості експлуатації та інших чинників. Для цього було проведено серію розрахунків за методикою [1]. Тут треба пояснити, що від моменту цієї публікації минуло 12 років. За цей час суттєво змінилися розцінки на матеріали і роботи, проте майже не змінилося співвідношення між цінами. Оскільки завданням не є докладний і повний офіційний кошторис, буде цілком прийнятним в подальших розрахунках оперувати не самими цінами, що їх наведено в [1], а співвідношеннями між ними.

Відповідно до [1], в оптимізаційних розрахунках незалежними змінними були шість величин, а саме товщина плити, кількість балок в поперечному перерізі, висота балок, армування балок і армування плити в двох напрямках. Параметрами оптимізаційної задачі були границі текучості арматури балок і плити, довжина прольоту, ширина проїзної частини, величина несної здатності, спосіб спорудження і планований термін експлуатації тобто було також збережено шестивимірний простір проектування.

У цій роботі розрахункова модель [1] отримала подальшого розвитку — враховано деградацію несних властивостей конструкції внаслідок корозії бетону й арматури протягом певного часу. В попередній роботі [2] було застосовано дві різні степеневі залежності вигляду  $\delta = C_1 t^{C_2}$  відповідно для опису руйнування самого лише захисного шару і для подальшої спільної корозії бетону і арматури. Тут же на відміну від [2] застосовано одну узагальнену модель деградації несних властивостей також вигляду  $\delta = C\sqrt{t}$ , яка описує зменшення в часі граничних згинальних моментів в плиті та ребрах прогонової будови.

Частину прикладів оптимального проектування балкових прогонових будов наведено в табл. 1. Їх отримано для ширини плити 1 000 см при спорудженні в монолітному варіанті і при терміні експлуатації 40 років.

Таблиця 1

*Розрахункові результати оптимального проектування*

Ч. ч.	Задана інтенсивність навантаження, кН/м <sup>2</sup>	Оптимальний проект					
		Товщина плити, см	Висота ребра, см	Кількість ребер	Армування плити поперек прогону, %	Армування плити вздовж прогону, %	Армування ребра, %
Прогон 1 000 см							
1	3	11,5	70	5	0,7	0,5	1,5
2	6	11,5	70	5	0,9	0,5	1,5
3	10	14,5	70	6	1,1	0,5	2,0
4	14	16	70	7	0,9	0,5	3,0
Прогон 2 000 см							
5	3	14,5	70	5	0,5	0,5	3
6	6	14,5	110	5	0,5	0,5	3
7	10	14,5	130	7	0,5	0,5	3
8	14	14,5	130	12	0,5	0,5	3
Прогон 2 400 см							
9	3	14,5	90	5	0,5	0,5	3
10	6	16,0	130	5	0,5	0,5	3
11	10	16,0	130	12	0,5	0,5	3

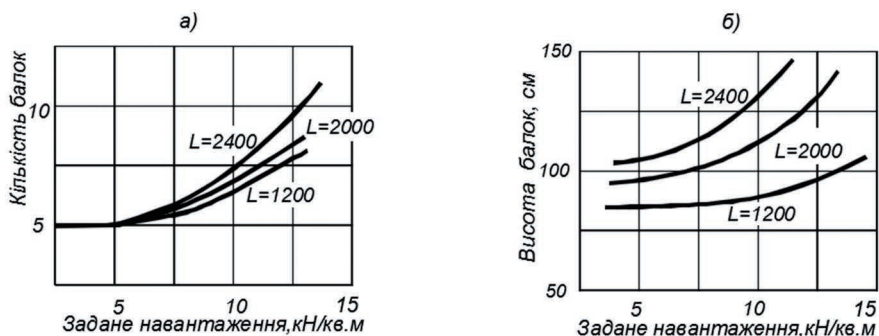
Як видно із табл. 1 при зростанні навантаження товщина плити змінюється по-різному. Так, при довжині прольоту 20 м товщина залишається незмінною, а при 30 м навіть зменшується. Отже, явна закономірність не спостерігається.

Крім того, певну частину результатів розрахунків наведено на рис. 3, а та б.

Як видно з рис. 3, а) при зростанні навантаження і довжини прольоту ребристої плити кількість балок і їх висота (рис. 3.б) стрімко зростають.

Збільшення заданої інтенсивності розподіленого навантаження, довжини прольоту, тривалості експлуатації ускладнює умови проектування і очікувано повинно призводити до монотонного здорожчання проекту. Цей факт дійсно підтверджується у виконаних розрахунках. Проте такої монотонності може і не бути в інших показниках. Наприклад, цілком можлива така

реакція моделі у відповідь на збільшення, наприклад, навантаження, де спостерігається зменшення висоти балок, проте воно супроводжується зростанням їхньої кількості.



**Рисунок 3** — Залежність а) кількості та б) висоти балок від навантаження

### *Вплив терміну експлуатації*

Якщо умови проектування достатньо «важкі» — великі прогони та значні навантаження, то зі збільшенням терміну експлуатації модель задачі намагається зменшити саме третій доданок у цільовій функції, а зробити це можна лише за рахунок кількості та площі бічної поверхні ребер. Тому при зменшенні, наприклад, кількості ребер дотримання належної несності може бути досягнуто збільшенням товщини плити, також збільшенням армування плити та ребер.

В табл. 2 наведено приклад для монолітної прогонової будови 2 000 см при навантаженні 1,4 тонни на кв.м.

**Таблиця 2**

### *Оптимальні параметри балки*

Т, років	Товщина плити, см	Висота балки, см	Кількість балок	Армування плити поперек прогону, %	Армування плити вздовж прогону, %	Армування ребра, %
10	16	130	9	0,9	0,5	3,5
100	17,5	130	8	1,1	0,5	4,0

Тепер розглянемо приклад впливу деградації несних властивостей. Виберемо прогонову будову прольотом 20 м з шириною проїзної частини 10 м. Задане рівномірно розподілене поперечне навантаження становить 8 кН/м<sup>2</sup>. Прийнято  $C = 0,0001$ . Результати обчислень наведено в табл. 3.

**Таблиця 3**

### *Оптимальні параметри балки з урахуванням впливу деградації несних властивостей*

Тривалість експлуатації, роки	Товщина плити, см	Висота ребра, см	Кількість ребер	Армування плити поперек прогону, %	Армування плити вздовж прогону, %	Армування ребра, %
0	19	110	4	1,1	0,5	3,5
10	21	108	4	1,1	0,5	3,5

Кінець таблиці 3

Тривалість експлуатації, роки	Товщина плити, см	Висота ребра, см	Кількість ребер	Армування плити поперек прогону, %	Армування плити вздовж прогону, %	Армування ребра, %
20	17	103	5	0,9	0,5	4,0
30	16	111	8	1,1	1,1	4,0

Наступний приклад від попереднього відрізняється збільшеним заданим навантаженням — тепер воно становить 10 кН /кв.м (табл. 4).

Таблиця 4

*Оптимальні параметри балки з урахуванням впливу деградації несних властивостей*

Тривалість експлуатації, роки	Товщина плити, см	Висота ребра, см	Кількість ребер	Армування плити поперек прогону %	Армування плити вздовж прогону %	Армування ребра, %
0	22	110	4	1,1	0,5	4,0
10	19	106	6	1,1	0,5	3,5
20	14	129	6	1,1	0,5	4,0
30	12	123	7	1,1	1,1	3,5

Наведені результати в цілому дозволяють встановити реакцію розрахункової моделі на збільшення терміну експлуатації, причому суттєвою особливістю тут є немонотонність змінювання товщин плити та висот ребер.

*Вплив величини заданого навантаження*

При порівняно невеликих прольотах — 10 м. модель на збільшення навантаження передусім реагує збільшенням товщини плити і збільшенням кількості ребер, також зростає армування розтягнутої зони ребер. Якщо ж прольоти мають більшу довжину — 20 м і 24 м, помітно зростають висота і кількість ребер за умови, що армування ребер сягає максимуму.

*Вплив допустимої ваги збірних елементів*

Зменшення допустимої ваги збірних елементів означає погіршення умов проектування. В результаті для конструкцій прольотом 10 м вартість проектів зростає на (4,5–6) % за рахунок помітного збільшення кількості балок в перерізі. Це збільшення супроводжується зменшенням товщини плити. Для прольотів 24 м перехід від допустимої ваги збірних елементів з 45 т до 35 т збільшує вартість проекту на 15 % також внаслідок збільшення числа балок при певному зменшенні товщини плити.

*Вплив збірності*

Перехід від збірного варіанта до монолітного для прольотів 10 м мало відбивається на вартості проекту, але призводить до більш товстої плити — 19 см замість 15 см і до зменшення числа балок — 5 замість 6. Для прогонів 24 м збірний варіант виявляється дорожчим від монолітного на 19 % через більшу кількість балок.

## *Вплив довжини прольоту на вартість конструкції*

Для монолітного способу спорудження при експлуатації протягом 40 років і навантаженні від 3 кН/м<sup>2</sup> до 18 кН/м<sup>2</sup> кількість балок для прольоту 10 м змінюється від 5 до 7, а товщина плити збільшується від 11,5 см до 16 см, або на 38 %. Висота балок залишається сталою 70 см і тільки за навантаження 18 кН/м<sup>2</sup> зростає до 90 см, або на 29 %. Для збірного способу будівництва кількість балок не змінюється та дорівнює 5, проте за навантаження від 14 кН/м<sup>2</sup> до 18 кН/м<sup>2</sup> висота балок збільшується до 90 см. Така сама картина спостерігається при експлуатації терміном 60 років як для монолітного способу будівництва, так і для збірного. Мінімальна вартість збірних балок на (9–11) % менше монолітних.

Для монолітного способу будівництва при експлуатації терміном 40 років і збільшенні навантаження від 3 кН/м<sup>2</sup> до 14 кН/м<sup>2</sup> кількість балок для прольоту 20 м змінюється від 5 до 12 при незмінній товщині плити 14,5 см. Висота балок суттєво зростає з 70 см до 130 см. Така ж картина спостерігається і при експлуатації протягом 60 років як для монолітного способу будівництва, так і для збірного. Мінімальна вартість збірних балок на 9–11% менше монолітних.

При збільшенні навантаженні від 3 кН/м<sup>2</sup> до 10 кН/м<sup>2</sup> кількість балок для прольоту 24 м змінюється від 5 до 12, а товщина плити збільшується від 14,5 см до 16 см. Висота балок суттєво зростає з 90 см до 130 см. Мінімальна вартість збірних балок на (9–11) % менше монолітних.

При навантаженні від 3 кН/м<sup>2</sup> до 10 кН/м<sup>2</sup> кількість балок, для прогону 30 м змінюється від 5 до 11, а товщина плити зменшується від 16 см до 14,5 см. Висота балок збільшується з 110 см до 130 см. Мінімальна вартість збірних балок на (9–11) % менше монолітних.

## **Висновки**

На закінчення слід відзначити, що результати, які можна отримувати за допомогою обраної методики, мають довідковий характер, їх призначено для використання на початкових етапах проектування, що передують детальній розробці проекту споруди. Виявилось, що ціни на матеріали і роботи суттєво впливають не тільки на вигляд оптимального проекту, але можуть дещо змінити описані вище тенденції, отже в кожному конкретному випадку бажано скористатися з моделі [1] та виконати попередні розрахунки.

## **Список літератури**

1. Дехтяр А.С. Оптимальные пролетные строения балочных мостов. Строительная механика и расчет сооружений. Москва, 2008. Вып. 4 (219). С. 26-32.
2. Бабков О. В., Дехтяр А. С. Методика планування експлуатації будівельних конструкцій // Дороги і мости. 2019. Вип. 19-20. С. 54-60.

## **References**

1. Dekhtiar A.S. Optimalnye proletnye stroeniya balochnykh mostov (Optimum span structures of beam bridges). *Stroitel'naâ mehanika i rasçet sooruzhenij*. Moscow, 2008. Vol. 4 (219). P. 26-32 [in Russian].
2. Oleksandr Babkov, Anatolii Diekhtiar. Planning method of building structures maintenance // *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. 2019. Iss. 19-20. P. 54-60 [in Ukrainian].

Oleksandr Babkov, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0001-5075-4239>

National Academy of Fine Art and Architecture, Kyiv, Ukraine

## OPTIMAL DESIGN OF RIBBED PLATES

### *Abstract*

Introduction. The goal of optimization is to find the best option among the possible. Optimization methods are used to calculate the optimal technology, optimal geometric design, material costs and similar problems. One option is to find the most economical design on the basis of various possible forms of exhaustion load carrying capacity of ribbed plate. According to the content of the kinematical method of load carrying capacity – ability to perceive the design limit load, defined as the smallest of load carrying capacities for various forms of destruction. There were six independent variables in optimization calculations [1] such as the thickness of the plate, the number of bars in cross section, the height of the beams, reinforcement of beams and reinforcement of plates in two directions. The parameters optimization problem by yield limit of reinforcement for beams and slab, span length, the value of given load carrying capacity of structures and the method of erection.

Problem Statement. Optimal parameters finding of future construction, while forced deviation from the optimum – finding the value of such deviation.

Purpose. Identify trends for influence of the optimal parameters of the project span, given the intensity of the uniform load, of construction method, the planned duration of the operation and other factors.

Materials and methods. Used load carrying capacity proven method of calculation which is based on kinematical theory of limit equilibrium method by which evaluated the ability load carrying capacity of a ribbed plates.

Results. Numerous calculations tendencies of influence of the optimal performance of the project span, given the intensity of the uniform load method construction, the planned duration of the operation and other factors. The results are intended for reference purposes and does not claim to broad generalizations.

Conclusions. It was found prices for materials and work greatly affect not only the best view of the project, but may slightly change the established notions about commonly used indicators such structures.

**Keywords:** reinforced concrete beams, the optimal design, ribbed plate, kinematic method, load carrying capacity.

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>

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 «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

## АНАЛІЗ ТИПОВИХ ПРОЕКТІВ НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ МОСТІВ НА АВТОДОРОГАХ УКРАЇНИ

### Анотація

**Вступ.** На автомобільних дорогах України експлуатується тисячі мостів, збудованих у ХХ столітті за типовими проектами. Проведення аналізу конструкцій прогонових будов мостів на автомобільних дорогах загального користування дозволить визначити перелік актуальних типових проектів, виявити недоліки цих проектів із подальшим формуванням рекомендацій щодо належної експлуатації цих мостів.

**Проблематика.** В умовах обмеженого фінансування дорожньої галузі мостів України, які потребують негайного ремонту, зростає кількість дефектів у конструкціях. Найбільша кількість дефектів зосереджена в прогонових будовах мостів. Основна частина прогонових будов складається зі збірних залізобетонних балок, виготовлених на заводах за типовими проектами, розробленими в середині минулого століття. В результаті багаторічної експлуатації мостів виявляються недоліки цих проектів, що знижують термін служби прогонових будов і мостів в цілому. Вивчення цього процесу вимагає системного підходу.

У системі Укравтодору функціонує Аналітична експертна система управління мостами (АЕСУМ). У цьому програмному комплексі акумулюється вся інформація результатів обстежень мостів на дорогах загального користування, тут є дані про дефекти елементів споруд.

**Мета.** Мета дослідження — на основі аналізу даних обстежень автодорожніх мостів, які зберігаються в АЕСУМ, визначити проблемні типові проекти, збудовані за якими мости перебувають у незадовільному стані.

**Матеріали та методи.** Розглянуто типові проекти залізобетонних прогонових будов мостів, які знаходяться в експлуатації на дорогах України, виконаний порівняльний аналіз особливостей цих проектів з урахуванням впливу на безпеку експлуатації мостів. За результатами аналізу матеріалів обстежень автодорожніх мостів із використанням бази даних АЕСУМ виявлені дефекти прогонових будов, які знижують їх вантажопідйомність і можуть викликати руйнування мостів.

**Результати і висновки.** З матеріалів обстежень, акумульованих в базі даних АЕСУМ виявлені типові конструкції прогонових будов, що вимагають найбільших витрат для відновлення їх працездатності. Це дозволить визначати споруди, які необхідно першочергово ремонтувати і забезпечити надійну і безаварійну експлуатацію автодорожніх мостів.

**Ключові слова:** автодорожній міст, довговічність, типовий проект.

### Вступ

Задача забезпечення надійної та безаварійної експлуатації мостів, які є невід'ємною складовою транспортної інфраструктури, з кожним роком постає все гостріше по ряду причин:



- збільшується вік мостів;
- збільшується кількість мостів, проекти яких не відповідають сучасним вимогам;
- збільшується вага транспортних одиниць.

На автомобільних дорогах України експлуатуються тисячі мостів, збудованих у ХХ столітті за типовими проектами. Проведення аналізу конструкцій прогонових будов мостів на автомобільних дорогах загального користування дозволить визначити перелік актуальних типових проектів, виявити недоліки цих проектів із подальшим формуванням рекомендацій щодо належної експлуатації цих мостів.

У системі Укравтодору функціонує Аналітична експертна система управління мостами (АЕСУМ) [1, 2]. У цьому програмному комплексі акумулюється вся інформація результатів обстежень мостів на дорогах державного значення, тут є дані про дефекти елементів споруд, а також про типові проекти прогонових будов.

Мета дослідження — на основі аналізу даних обстежень автодорожніх мостів, які зберігаються в АЕСУМ, визначити проблемні типові проекти, збудовані за якими мости перебувають у незадовільному стані.

## Основна частина

Широкий розвиток дорожнього будівництва, а, отже, і мостового, у розвинених промислових країнах почався в першій половині минулого століття. В Україні мостобудування також швидко розвивалося, починаючи з 40-50-х років минулого століття. Повоєнна відбудова народного господарства, будівництво та розширення промислових гігантів все це вимагало більше доріг і мостів.

### Прогонові будови за типовим проектом «Випуск 56»

Один з перших типових проектів залізобетонних прогонових будов — «Типові проекти споруд на автомобільних дорогах. Випуск 56» був розроблений у проектному інституті Союздорпроект (м. Москва) у 1958 році відповідно до [3] (рис. 1).

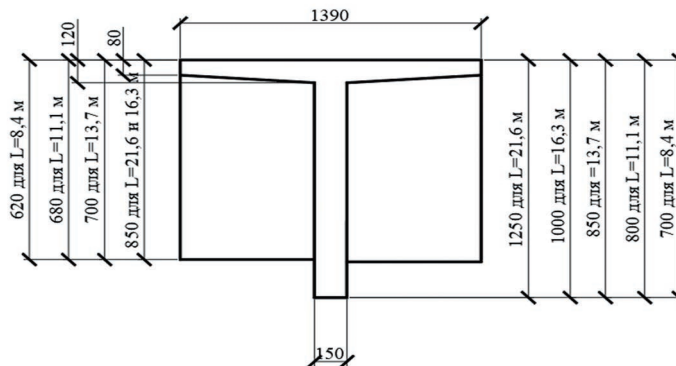


Рисунок 1 — Поперечний переріз балки за типовим проектом «Випуск 56»

Залізобетонна прогонова будова складалась із декількох балок таврового поперечного перерізу із каркасною арматурою (без попереднього натягу). Балки з'єднувалися між собою зварюванням сталевих закладних деталей в поперечних діафрагмах. Ці діафрагми були виконані у вигляді вертикальних залізобетонних поперечних пластин з обох сторін кожної балки, крім крайніх. Армвання і бетонування діафрагм виконували одночасно з балкою.

Висота балок залежить від довжини прогону, а кількість балок в поперечному перерізі мосту визначається розміром проїзної частини і шириною тротуарів. Кожна балка складається

з вертикальної стінки постійної товщини і горизонтальної плити. Плита сприймає стиснення при згині балки і, одночасно, підтримує конструкцію проїзної частини. Розтяг при згині балки сприймає нижня поздовжня стрижнева арматура. На ділянках поблизу опор частина стрижнів нижньої поздовжньої арматури відігнута вгору для сприйняття поперечної сили. Попередній натяг арматури відсутній.

Таке об'єднання окремих балок до загального ростверку дозволяє досягти більш рівномірного розподілення зовнішнього навантаження на окремі балки.

Прогонові будови такого типу знаходяться в експлуатації більше 60 років. За цей час виявлено основні недоліки конструкції, а також виконання будівельних робіт:

- надмірна насиченість арматурою перерізу ребер балок, особливо в нижній частині, що ускладнює укладання бетону при виготовленні балок;
- відсутність попереднього натягу арматури призводить до значних прогинів балок, виникненню значної кількості тріщин;
- мала товщина плити проїзної частини балок, внаслідок чого виникають проломи цієї плити;
- складна конструкція металевих форм для виготовлення балок;
- об'єднання балок зварюванням закладних деталей в будівельних умовах часто не забезпечує необхідну якість робіт і надійність прикріплення закладних. В особливо складних умовах виявляються верхні закладні деталі — у разі попадання вологи в замкнутий простір корозія їх йде особливо швидко.



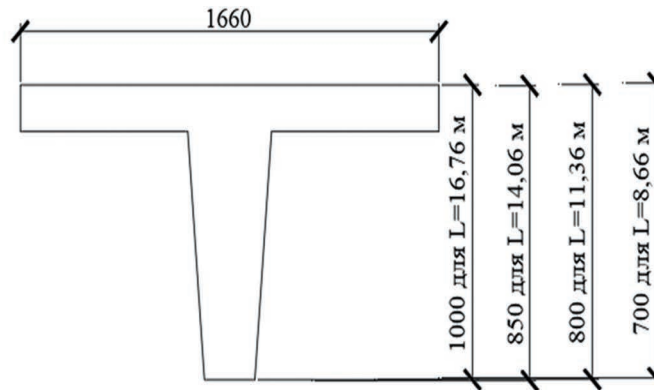
**Рисунок 2** — Руйнування захисного шару внаслідок неякісного заповнення бетоном ребра балки, корозія робочої арматури (міст через річку Гнилоп'ять на км 64+709 автомобільної дороги М-21 Житомир – Могилів – Подільський (через м. Вінницю))

### **Прогонові будови за типовим проектом «Випуск 56. Доповнення» [4]**

Проект введено в дію у 1962 році (рис. 3). Відрізняється від попереднього проекту відсутністю діафрагм. Завдяки цьому, вдалося спростити конструкцію опалубки, але погіршилась взаємодія балок, збільшилося навантаження на кожен балку, що призвело до посилення армування балок.

Основну увагу при проектуванні прогонових будов мостів у цей період було приділено наступним питанням [5, 6]:

- економія матеріалів;
- зниження ваги монтажного елемента;
- зменшення габаритів монтажного елемента, а також елемента, якого транспортують;
- більш рівномірний (за можливості) розподіл напружень у матеріалі від експлуатаційного навантаження.



**Рисунок 3** — Поперечний переріз балки прогонової будови в середині прогону за типовим проектом «Випуск 56. Доповнення»

Зазначеним вимогам не могли відповідати балкові прогонові будови зі звичайного залізобетону. Було потрібно розробити нові конструкції прогонових будов зі створенням в бетоні попередніх стискаючих напружень. Такий метод був уже відомий, запатентований і з успіхом застосований французьким інженером Е. Фрейсіне [7]. Напружувану арматуру розміщували в спеціальних каналах (відкритих або закритих), відокремлених від бетону, а після набору бетоном достатньої міцності виконували натяг цієї арматури, передаючи зусилля натягу на затверділий бетон. Потім відкриті канали заповнювали монолітним бетоном, а закриті — цементним розчином. Така технологія отримала назву «натяг на бетон».

Досвід експлуатації виявив великі недоліки таких конструкцій, в основному, обумовлені низькою якістю монолітного бетону (при відкритих каналах), і неможливістю якісного заповнення цементним розчином закритих каналів. У результаті відбувалася швидка корозія напруженої несної арматури. Відомі випадки повного розбирання та заміни конструкцій мостів із цієї причини після 30–40 років експлуатації (наприклад, автодорожній міст через Західну Двіну в м. Веліж Смоленської області, міський двоярусний міст у Південно-Західному районі через річку Москва в м. Москва).

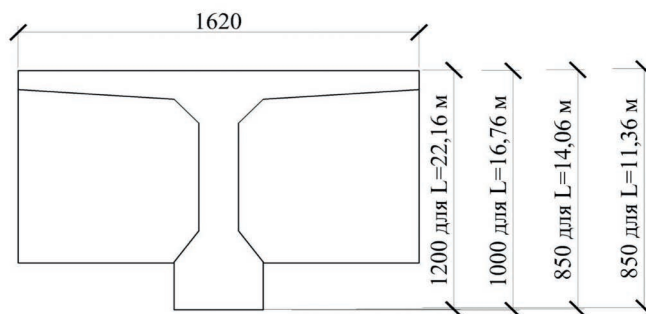
Починаючи з кінця 50-років при розробленні типових проектів балкових і плитних прогонових будов, які транспортують у готовому вигляді до місця встановлення, перевага віддавалась технології попереднього натягу арматури на упори.

Для реалізації технології попереднього натягу арматури на упори (далі — *стендова технологія*) були потрібні спеціальні конструкції (стенди), що сприймають зусилля попереднього натягу арматури. Такі стенди — стаціонарні або пересувні (на залізничних платформах) — були створені на заводах мостових конструкцій у 60–70 роках, і на цих заводах були виготовлені конструкції прогонових будов більшості мостів, які знаходяться в експлуатації і сьогодні.

#### **Прогонові будови за типовим проектом «Випуск 122-62, випуск 122-63»**

Проект введений в дію у 1962 році. Розроблений згідно з [8]. Це один з перших типових проектів прогонових будов мостів із попереднім натягом робочої арматури. Попередньо напружена робоча арматура в нижньому поясі виконана з пучків високоміцного дроту діаметром 5 мм. Натяг арматури виконується на упори до бетонування (стендова технологія). Прогонова будова складається з декількох балок постійної висоти, об'єднаних декількома поперечними діафрагмами.

Висота балок залежить від довжини прогону, кількість балок в поперечному перерізі мосту визначається розміром проїзної частини і шириною тротуарів.



**Рисунок 4** — Поперечний переріз балки прогонової будови за типовим проектом «Випуск 122-62, випуск 122-63»

Кожна балка складається з вертикальної стінки постійної товщини і горизонтальної плити, а також розширеного нижнього поясу, де розміщена попередньо напружена арматура. Попереднє напруження арматури фіксується в бетоні нижнього поясу за допомогою каркасно-стрижневих анкерів. Частина пучків попередньо напруженої арматури на ділянках балок поблизу опор відігнута вгору і таким чином сприймає поперечну силу на цих ділянках.

Такі прогонові будови мали безсумнівні переваги перед конструкціями зі звичайного залізобетону за проектом «Вип. 56»:

- відсутність поперечних тріщин у нижньому поясі (від згинального моменту) підвищила корозієстійкість і, отже, довговічність конструкцій;
- розміри поперечного перерізу нижнього поясу забезпечували розміщення арматури з достатнім захисним шаром бетону;
- попередній натяг арматури нижнього поясу створював невеликий вигин вгору балок, що забезпечувало необхідний нормами проектування будівельний підйом.

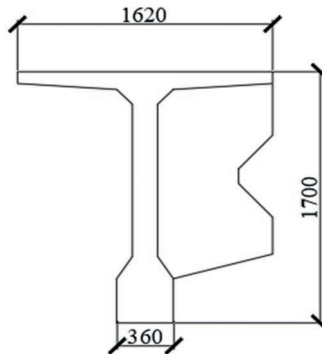
Зазначені переваги були отримані за рахунок додаткових матеріальних і технологічних витрат, а саме:

- збільшення розмірів нижнього поясу призвело до додаткових витрат матеріалів і зростання постійного навантаження (від власної ваги конструкції);
- для попереднього натягу арматури потрібна високоміцна арматурна сталь, а також додаткове обладнання — стенди (упори), спеціальні домкрати подвійної дії (натяг, потім заклинка — фіксація натягу);
- величину попереднього натягу необхідно було контролювати за допомогою спеціальних приладів;
- від дії на бетон потужних зосереджених зусиль при відпусці попереднього натягу арматури на торцевих ділянках балок виникали додаткові напруження, що вимагало додаткового армування цих ділянок.

Досвід експлуатації прогонових будов «Випуск 122-62, випуск 122-63» показав, у цілому, що згадані додаткові витрати позитивно вплинули на довговічність конструкцій порівняно з прогоновими будовами зі звичайного залізобетону («Випуск 56», а також «Випуск 56. Доповнення»). Виявлені при обстеженнях дефекти прогонових будов «Випуск 122-62, випуск 122-63» виникали, як правило, з причин, не пов'язаних з будь-якими дефектами саме прогонових будов. Такими причинами були, в основному, дефекти гідроізоляції та водовідведення.

#### **Прогонові будови за типовими проектами «Випуск 149-61, випуск 149-62»**

Цей типовий проект багато в чому повторює розглянутий вище «Випуск 122-62, випуск 122-63».



**Рисунок 5** — Поперечний переріз балки прогонової будови за типовим проектом «Випуск 149-61, випуск 149-62»

Відмінності в об'єднанні суміжних балок, яке передбачено в трьох варіантах:

- натягом поперечних пучків з високооміцного дроту;
- натягом поперечних стрижнів з арматури 30Г2С;
- зварюванням сталевих накладок із планками, які випущені з діафрагм.

За час експлуатації прогонових будов виникли додаткові дефекти (рис. 6).



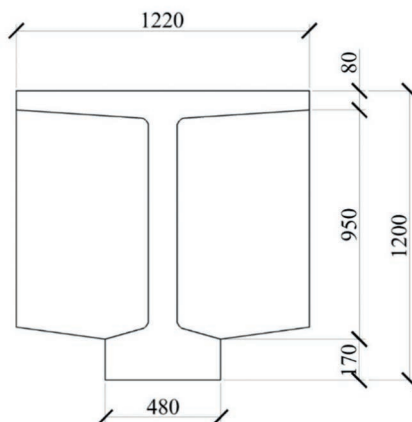
**Рисунок 6** — Руйнування захисного шару, корозія й обрив струн попередньо напруженої робочої арматури (Шляхопровід через електрифіковану залізничну колію на автомобільній дорозі національного значення Н-01 Київ-Знам'янка на км 164+068)

### **Прогонові будови по типовими проектами «ВТП-15» та «ВТП-16»**

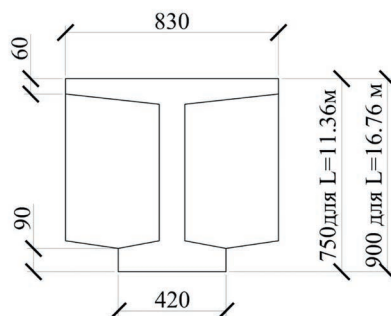
Під час розроблення цих проектів були внесені значні зміни, а саме:

- з метою економії бетону, а також зниження ваги монтажного блоку був зменшений захисний шар бетону,
- з метою спрощення технології попереднього натягу арматури, а також зниження кількості арматури, замість натягу пучків високооміцного дроту потужними домкратами було розроблено технологію натягу окремих дротів (струн) діаметром 3 мм або 5 мм. Балки з такою арматурою називають струнобетонними.

Результати обстежень прогонових будов мостів, виготовлених за цими проектами, показали значне збільшення і прискорення (порівняно з прогоновими будовами, виконаними за іншими проектами) корозії арматури і руйнування захисного шару бетону. У таких балках часто виникають обриви струн.



**Рисунок 7** — Поперечний переріз балки прогонової будови за типовим проектом «ВТП-15»



**Рисунок 8** — Поперечний переріз балки прогонової будови за типовим проектом «ВТП-16»

Причини цього:

- відмова від арматури в пучках, що значно збільшило сумарну площу арматурної сталі, що знаходиться в безпосередньому контакті з бетоном;
- зменшення захисного шару бетону.

Невдалим конструктивним рішенням у цьому проекті є влаштування з'єднання діафрагми зварними накладками по закладним деталям поверху плити проїзної частини. Ці з'єднання внаслідок потрапляння води з проїзної частини кородують і руйнуються.

Погіршує просторову роботу прогонових будов за типовими проектами ВТП-15 і ВТП-16 те, що об'єднання діафрагм у верхній частині влаштовані поверху полицок, внаслідок просочування до них води з проїзної частини вони кородують і розриваються.

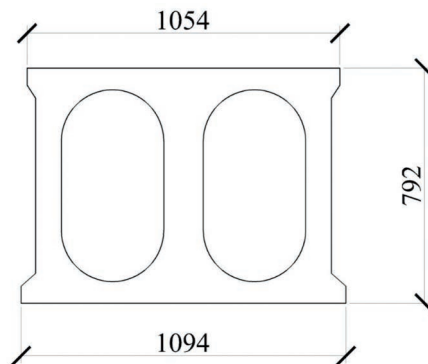
Вищевказані недоліки викликають обриви дротів у балках за цими типовими проектами, руйнування з'єднань діафрагм. В Україні зафіксовано ряд обвалів балок прогонових будов за типовими проектами «ВТП-15», «ВТП-16» навіть від власної ваги. Як правило, руйнуються крайні балки прогонів, які зазнають значного замокання внаслідок відведення води з проїзної частини до її країв, де внаслідок недосконалої системи водовідведення і невдалої конструкції тротуарів вода потрапляє на ці балки. Хлориди, які знаходяться у протиожеледних матеріалах, підвищують хімічну агресивність води.



**Рисунок 9** — Значна частина робочої арматури оголена, кородує, багато струн обірвано. Несна здатність балки дуже знижена, можливе її обвалення (типовий проект ВТП-16). Міст через р. Роставиця на автодорозі національного значення Н-02 /М-06/ – Кременець – Біла Церква – Ржищів – Канів – Софіївка на км 375+787 (Київська область)

**Прогонові будови за типовим проектом «384-43»**

За цим проектом були виготовлені плитні прогонові будови з овальними порожнечами із попередньо напруженою арматурою у вигляді струн — окремих дротів діаметром 3 мм і 5 мм. На бічних гранях плит були утворені плоскі поглиблення. У проектному положенні між суміжними плитами були утворені поздовжні порожнини, які після монтажу заповнювали монолітним бетоном. Завдяки такому рішенню була забезпечена спільна робота плит на вигин.



**Рисунок 10** — Поперечний переріз балок прогонових будов за типовим проектом «384-43»

Недоліком такої конструкції є армування окремими струнами, що прискорює процеси корозії арматури.

**Прогонові будови за типовим проектом «5-04-145»**

Прогонові будови за типовим проектом «5-04-145» — залізобетонні суцільні плити зі стрижневою арматурою у вигляді одиночних стрижнів із натягом на упори. Такі прогонові будови використовують для перекриття малих прогонів (до 6 м).

У табл. 1, сформованої за результатами обстежень мостів внесених в АЕСУМ, перераховані дані за типовими проектами залізобетонних прогонових будов мостів на автомобільних дорогах загального користування (станом на 01.07.2020 р.). У стовпці 2 — кількість мостів із прогоновими будовами даного типового проекту, в стовпці 3 — кількість таких мостів, прогонові будови яких знаходяться в стані 5 (непрацездатний).

Таблиця 1

Перелік актуальних типових проектів залізобетонних прогонових будов на автомобільних дорогах загального користування

Актуальні типові проекти залізобетонних прогонових будов	Кількість мостів з прогоновими будовами цього типового проекту	У тому числі в 5 стані	Кількість, %
Союздорпроект «Випуск 122-62»	152	1	0,6
«Випуск 56»	217	19	<b>8,8</b>
«Випуск 56-доповнення»	101	4	3,9
Випуск 3.0503-12	141	3	2,1
Випуск 384/43	1524	79	5,2
Випуск 122-63	56	1	1,8
ВТП-16	339	55	<b>16,2</b>
Серія 5-04-145	1010	77	7,6
ТП 5-04-14	73	2	2,7
3.503-29	67	1	1,5
ВТП-15	130	14	<b>10,8</b>

Таким чином, найбільш проблемні типові проекти, за якими прогонові будови мостів перебувають у незадовільному стані (непрацездатній — 5), це ВТП-15, ВТП-16, Випуск-56. Результати аналізу типових проектів із використанням оцінки довговічності призводять до таких самих висновків.

### Висновки

1. Розглянуто типові проекти прогонових будов автодорожніх мостів, що найбільш часто застосовуються, виконаний порівняльний аналіз особливостей цих проектів з урахуванням впливу на безпеку експлуатації мостів.

2. За матеріалами обстежень, акумульованих у базі даних АЕСУМ, виявлені проблемні типові проекти прогонових будов, а саме — ВТП-15, ВТП-16, «Випуск 56» та «Випуск 56. Доповнення». Необхідно розглянути можливість розроблення спеціальної програми щодо поступової заміни або розроблення технологій для відновлення мостів із проблемними типовими проектами, опираючись на досвід обстежень та аналіз роботи з даними прогоновими будовами.

3. У подальшому бачимо доцільність у розробці модуля у складі Аналітичної експертної системи управління мостами (АЕСУМ), який буде містити в собі детальну інформацію про типові проекти за якими побудовані мости на території України.

4. Необхідно провести глибокий аналіз стану прогонових будов мостів, які знаходяться в 5 (непрацездатному) експлуатаційному стані.

### Список літератури

1. 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.



2. Боднар Л.П. Аналитическая экспертная система управления мостами Украины. *Автомобильные дороги и мосты: научно-технический журнал*. Минск, 2015. Вып. 2 (16). С. 18-23.
3. Правила и указания по проектированию железобетонных, металлических, бетонных и каменных искусственных сооружений на автомобильных дорогах. Москва, 1948. 105 с. (Інформація та документація).
4. Страхова Н.Є., Голубев В.О., Ковальов П.М., Тодіріка В.В. Експлуатація і реконструкція мостів. Київ, 2002. 403 с.
5. Евграфов Г.К., Богданов Н.Н. Проектирование мостов. Москва, 1966. 661 с.
6. Гибшман М.Е., Попов В.И. Проектирование транспортных сооружений. Москва, 1988. 448 с.
7. Фрейсине Е.П. Переворот в технике бетона. Москва, 1938. 129 с.
8. СН 200-62 Технические условия проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб. Москва, 1962. 329 с. (Інформація та документація).
9. Страхова Н.Є., Холодзон Т.М. Надійність автодорожніх залізобетонних прогонових будов мостів споруджених за типовими проектами. *Дороги і Мости*. Вип. 3, Київ, 2005. С.195-202.

### References

1. Bodnar L.P., Lantukh-Liashchenko A.I., Kanin O.P., Koval P.M., Fal A. Ye. Analitichna ekspertna systema upravlinnia mostamy. Dosvid vprovadzhennia (Analytical expert system for bridge management. Experience of implementation). *Dorozhnia haluz Ukrainy*. Kyiv, 2011. N 7. P. 42-47. [in Ukrainian].
2. Bodnar L.P. Analitichna ekspertna systema upravlinnia mostamy Ukrainy (Analytical expert management system for Ukrainian bridge). *Avtomobyl'nye dorohi i mosty: nauchno-tekhnycheskii zhurnal*. Minsk, 2015. Iss. 2 (16). P. 18-23. [in Ukrainian].
3. Pravila i ukazaniya po proyektirovaniyu zhelezobetonnykh, metallicheskiykh, betonnykh i kamennykh iskusstvennykh sooruzheniy na avtomobilnykh dorogakh (Rules and guidelines for the designing of reinforced concrete, metal, concrete and stone artificial structures on motorways). Moscow, 1948. 105 p. (Information and documentation) [in Russian].
4. Strakhova N.Ye., Holubiev V.O., Kovalov P.M., Todirika V.V. Ekspluatatsiia i rekonstruktsiia mostiv (Operation and reconstruction of bridges). Kyiv, 2000. 403 p. [in Ukrainian].
5. Yevgrafov G.K., Bogdanov N.N. Proyektirovaniye mostov (Bridge designing). Moscow, 1966. 661 p. [in Russian].
6. Gibshman M.Ye., Popov V.I. Proyektirovaniye transportnykh sooruzheniy (Designing of transport constructions). Moscow, 1988. 448 c. [in Russian].
7. Freysine Ye.P. Perevorot v tekhnike betona (Overturn in concrete technology). Moscow, 1938. 129 p. [in Russian].
8. SN 200-62 Tekhnicheskiye usloviya proyektirovaniya zheleznodorozhnykh. avtodorozhnykh i gorodskikh mostov i trub (Building regulations (SN 200-62) Technical specifications for design of railway, road and city bridges and pipes). Moscow, 1962. 329 p. (Information and documentation) [in Russian].
9. Strakhova N.Ye., Kholodon T.M. Nadiinist avtodorozhnykh zalizobetonnykh prohonovykh budov mostiv sporudzhenykh za typovymy proektamy (Reliability of typical bridge spans of reinforced concrete highway constructions). *Dorogi i mosti*. Iss. 3, Kyiv, 2005. P. 195-202. [in Ukrainian].

Larysa Bodnar, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-4754-721X>

Serhii Zavhorodniy, <https://orcid.org/0000-0003-1928-4544>

Vitalii Yastrubnitskyi, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-4837-3303>

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

## ***ANALYSIS OF TYPICAL DESIGNS OF THE MOST COMMON REINFORCED CONCRETE BRIDGE SPAN ON THE MOTOR ROADS OF UKRAINE***

### ***Abstract***

Introduction. Thousands of bridges built in the twentieth century according to standard designs are operated on the motor roads of Ukraine. Analysis of bridge span on public roads will allow determining the list of actual standard designs, identifying shortcomings of these designs with the further formation of recommendations regarding proper operation of these bridges.

Problem Statement. In the conditions of limited funding of the road industry of Ukraine, the age of highway bridges is constantly increasing, the number of defects in structures is growing. The largest number of defects is concentrated in the bridges span. The main part of bridge span consists of prefabricated reinforced concrete beams manufactured at the reinforced concrete plants by typical designs developed in the middle of last century. As a result of many years of bridges operation, the shortcomings of these designs are revealed, which reduce the lifetime of bridge span and bridges in general. The studying of this process requires a systematic approach.

The Analytical Expert Bridge Management System (AESUM) operates in the Ukravtodor system. All information of bridges inspection results on public roads accumulates in this software complex, there are the data of facility elements defects.

Purpose. The purpose of the research is based on the analysis of the highway bridges inspections data which are stored in AESUM to determine the problematic standard designs based on which the built bridges are in unsatisfactory condition.

Materials and methods. Standard designs of reinforced concrete bridge span that built and operated on the roads of Ukraine are considered, and a comparative analysis of the features of these designs is performed taking into account the impact on the bridges operation safety. According to the results of the analysis of data of highway bridge inspections using the AESUM database, the defects of bridge span that reduce their loading capacity and can cause the destruction of bridges were determined.

Results and conclusion. From the data of inspections accumulated in the AESUM database, standard bridge spans which require the highest costs for rehabilitation of their operating capacity were identified. This will allow determining the facilities that need to be repaired first and will ensure reliable and trouble-free operation of highway bridges.

***Keywords:*** highway bridge, standard designs, durability.

УДК 625.745.1:691

Онищенко А. М.<sup>1</sup>, д-р техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

Зеленовський В. А.<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-5834-5456>

<sup>1</sup> Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна

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

## **ВСТАНОВЛЕННЯ СКЛАДУ ЕПОКСИАСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ ДЛЯ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ЯКОСТІ ТОНКОШАРОВОГО ПОКРИТТЯ НА МОСТАХ**

### **Анотація**

**Вступ.** У цій роботі представлені результати аналізу світового та вітчизняного досвіду, теоретичних і практичних досліджень з оцінки впливу термореактивних добавок на основні показники бітуму та фізико-механічні властивості асфальтобетонів. Встановлено оптимальні склади асфальтобетонів з підвищеними фізико-механічними властивостями для їх застосування в якості тонкошарових покриттів на автодорожніх мостах. Приділено увагу технології приготування епоксидасфальтобетонів при різних способах введення епоксидскладових.

**Проблематика.** Підвищення якості будівництва, ремонту та реконструкції автодорожніх мостів лежить в основі Національної програми відновлення мостів та «Великого будівництва», а також Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018 — 2022 роки.

Реалізація цих програм передбачає довгострокове планування завдань і заходів щодо відновлення та розвитку мережі автомобільних доріг, мостів, шляхопроводів та інших транспортних споруд з відповідною дорожньою інфраструктурою на підставі чинних будівельних норм та стандартів, в яких обов'язково повинен враховуватись європейський та світовий досвід застосування сучасних технологій та матеріалів [1].

Забезпечення підвищеної колієстійкості, міцності та тріщиностійкості покриттів на автодорожніх мостах на сьогодні є однією з найважливіших проблем, що стоять перед науковцями та дорожниками України. Актуальним завданням стає підвищення експлуатаційних характеристик цих покриттів з метою продовження їх строку служби та мінімізації періодичності виконання ремонтних робіт, які особливо на мостах викликають великі труднощі та потребують значних додаткових витрат.

**Мета роботи.** Використання асфальтобетонної суміші модифікованої епоксидскладовими в якості покриття на ортотропній або залізобетонній плиті проїзної частини мосту, як один із способів зниження затрат на його експлуатаційне утримання. Мостове покриття зазначеного типу повинно дозволити протягом тривалого періоду після введення в експлуатацію, підтримувати низькі витрати на ремонт, що в свою чергу, дозволить істотно скоротити витрати на утримання мостів.

Не має сумнівів, що при застосуванні епоксидасфальтобетону в якості тонкошарового мостового покриття ми отримаємо міцну, гнучку поверхню, стійку до утворення тріщин та колійності. Однак, це ще не досить досліджений матеріал для можливого його широкого застосування, оскільки він потребує особливого підходу до встановлення складу та технології його приготування.

Для досягнення зазначеної мети проведено комплекс дослідних робіт:

- підбір зернового складу епоксифальтобетонної суміші;
- визначення життєздатності епоксифальтобетонної суміші;
- порівняльний аналіз впливу затверджувачів на властивості епоксифальтобетону;
- визначення впливу вмісту термореактивних модифікаторів на властивості асфальтобетону.

**Матеріали та методи.** Асфальтобетонна суміш з використанням термореактивних модифікаторів для її застосування в якості тонкошарового покриття на ортотропній або залізобетонній плиті проїзної частини мосту.

**Результати.** Проведено аналітичний огляд вітчизняного досвіду та досвіду інших країн щодо покращення якості покриттів на автодорожніх мостах, підвищення їх довговічності, а також вдосконалення економічної ефективності при застосуванні епоксифальтобетонних сумішей. Проведено комплексні дослідження з встановлення їх оптимального складу.

**Висновки.** Застосування тонкошарового покриття на ортотропній або залізобетонній плиті проїзної частини мосту з епоксифальтобетонної суміші потребує особливої уваги при встановленні оптимального підбору її складу та технології приготування. Особливу увагу також необхідно приділяти, з метою забезпечення необхідної життєздатності епоксифальтобетонної суміші, застосуванню потрібного затверджувача, який максимально ефективно впливатиме на її властивості, визначенню необхідної кількості термореактивних модифікаторів і визначенню тривалості затвердіння залежно від температури.

**Ключові слова:** асфальт, бітум, епоксифальтобетон, епоксифальтобетонна суміш, епоксидна смола, міст, покриття.

### Вступ

Безпеку та комфорт руху по мосту має забезпечувати якісне дорожнє покриття. На мостах дорожнє покриття влаштовують на ортотропній або залізобетонній плиті, яка деформується під дією колісного навантаження та впливає на його роботу. Практика показує, що строк служби дорожнього покриття на мосту становить близько 5 років, що в разі менше передбачуваного строку служби (15 років і більше). Зазвичай після першого року експлуатації в дорожньому покритті з'являються поздовжні тріщини. На мостах дорожнє покриття укладають на плиту проїзної частини, яка сприймає навантаження від транспорту, який рухається, а значить і деформується між головними балками прогонової будови. Тому виникнення найбільш поширених дефектів у вигляді тріщин може відбуватись переважно зверху вниз при негативному згинальному моменті в дорожньому покритті, що виникає над стінками головних балок [2].

У зв'язку з недосконалою роботою дорожнього покриття на мостах з щільного асфальтобетону (поява тріщин у верхньому шарі дорожнього одягу, порушення зчеплення між шарами тощо) останнім часом застосовують більш сучасні типи асфальтобетону (щербеново-мастиковий або литий асфальтобетон) [3]. Застосування таких типів асфальтобетону дозволяє зменшити ризик виникнення тріщин внаслідок їх кращої роботи на розтяг при згині. Таким чином, є можливість значно зменшити товщину дорожнього покриття, що в свою чергу, зменшить навантаження на конструкцію мосту.

На теперішній час активне застосування тонкошарових покриттів на основі синтетичних смол стримується недостатнім досвідом їх експлуатації та відсутністю методик встановлення їх складу та приготування.

Виклад основного матеріалу

*Визначення складу епоксифальтобетонних сумішей*

Для встановлення складу епоксифальтобетонних сумішей для їх застосування в якості тонкошарового покриття на мостах проведено комплекс досліджень. Під час їх виконання використовувались такі вихідні матеріали [4]:

- бітум нафтовий дорожній в'язкий марки БНД 60/90;
- дизельне паливо;
- затверджувач епоксидної смоли Л-19;
- затверджувач епоксидної смоли І-6М;
- затверджувач епоксидної смоли МТНРА;
- епоксидну смола LE 826;
- пісок із відсівів подрібнення гірських порід;
- мінеральний порошок.

Для приготування епоксифальтобетонної суміші підібрано гранулометричний склад мінеральної частини гарячого дрібнозернистого асфальтобетону типу Г. Результати підбору наведені у табл. 1.

Таблиця 1

*Підбір зернового складу асфальтобетонної суміші*

Мінеральний матеріал	Вміст мінеральних зерен в суміші за масою, %	Вміст за масою, % мінеральних зерен, дрібніших даного розміру, мм							
		10,0	5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Зерновий склад вихідних матеріалів									
Пісок із відсівів подрібнення	–	100,00	95,38	65,27	42,25	23,62	11,48	4,10	0,80
Мінеральний порошок	–	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	98,00	83,20
Підібраний зерновий склад мінеральної частини асфальтобетону									
Пісок із відсівів подрібнення	88	88,00	83,93	57,44	37,18	20,79	10,10	3,61	0,70
Мінеральний порошок	12	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	11,99	11,76	9,98
Повні проходи через сита	100	100,00	95,93	69,44	49,18	32,79	22,09	15,37	10,69
Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119 (повні проходи)	100	100	100–95	83–68	67–45	50–28	35–18	11–24	8–16

Приготування епоксифальтобетонних сумішей здійснювали із дотриманням стандартної послідовності технологічних операцій згідно з ДСТУ Б В.2.7-319, але із варіативністю нижче наведених технологій [4].

*І технологія* — епоксискладові вводять безпосередньо в готову асфальтобетонну суміш. Розрідження бітуму виконували в такій послідовності:

- нагрівання вихідного бітуму до температури 140 °С;
- поступове введення дизельного палива в нагрітий бітум при постійному механічному перемішуванні;

- перемішування бітуму з дизельним паливом упродовж 60 хв за температури 140 °С.

*2 технологія* — асфальтобетонну суміш готують на епоксидбітумному в'язучому.

Модифікацію бітуму епоксискладовими виконували в наступній послідовності:

- нагрівання вихідного бітуму до температури 140 °С;
- поступове введення дизельного палива в нагрітий бітум при постійному механічному перемішуванні;

- перемішування бітуму з дизельним паливом упродовж 60 хв за температури 140 °С.

- охолодження розрідженого бітуму до температури 90 °С;

- поступове введення затверджувача при постійному механічному перемішуванні;

- перемішування в'язучого із затверджувачем упродовж 60 хв за температури 90 °С;

- поступове введення епоксидної смоли при постійному механічному перемішуванні;

- перемішування в'язучого з епоксидною смолою впродовж 10 хв за температури 90 °С.

*3 технологія* — асфальтобетонну суміш готують на двох в'язучих, перше в'язуче вміщує затверджувач, а друге — епоксидну смолу.

Підготовку в'язучих виконували у такій послідовності:

- нагрівання вихідного бітуму до температури 40 °С;
- поступове введення дизельного палива в нагрітий бітум при постійному механічному перемішуванні;

- перемішування бітуму з дизельним паливом упродовж 60 хв за температури 140 °С.

- охолодження розрідженого бітуму до температури 90 °С та його поділ на дві частини;

- поступове введення затверджувача при постійному механічному перемішуванні в одну з частин розрідженого бітуму;

- перемішування першої частини розрідженого бітуму із затверджувачем упродовж 60 хв за температури 90 °С;

- поступове введення епоксидної смоли при постійному механічному перемішуванні в другу частину розрідженого бітуму;

- перемішування другої частини розрідженого бітуму з епоксидною смолою впродовж 10 хв за температури 90 °С.

Співвідношення (епоксидна смола — затверджувач) при використанні затверджувача Л-19 та МТНРА становило 100:80, при І-6М – 150:100.

Об'єктами дослідження були:

- асфальтобетон на вихідному бітумі марки БНД 60/90;
- асфальтобетон на розрідженому бітумі;
- епоксиасфальтобетони із затверджувачем Л-19, із загальним вмістом епоксискладових 10,0 % від маси бітуму, отримані за усіма технологіями;

- епоксиасфальтобетони із затверджувачем Л-19, із загальним вмістом епоксискладових 5,0 %, 10,0 % та 20,0 % від маси бітуму, отримані за третьою технологією;

- епоксиасфальтобетони із затверджувачами Л-19, І-6М та МТНРА, із загальним вмістом епоксискладових 10,0 % від маси бітуму, отримані за третьою технологією.

### ***Визначення життєздатності епоксиасфальтобетонних сумішей***

Життєздатність суміші визначають її рухливістю та ущільнюваністю. Показником, що характеризує ущільнення асфальтобетонної суміші – є густина отриманих з неї асфальтобетонів. Із зростанням ущільнення збільшується густина асфальтобетону. За рівних умов ущільнюваність

суміші та густина асфальтобетону залежать від в'язкості в'язучого. У свою чергу збільшення в'язкості призводить до зменшення густини асфальтобетону [4].

При визначенні життєздатності епоксидасфальтобетонних сумішей в якості затверджувача було використано Л-19. Епоксидасфальтобетонні суміші отримували за трьома технологіями. Результати випробувань наведено на рис. 1 та рис. 2.

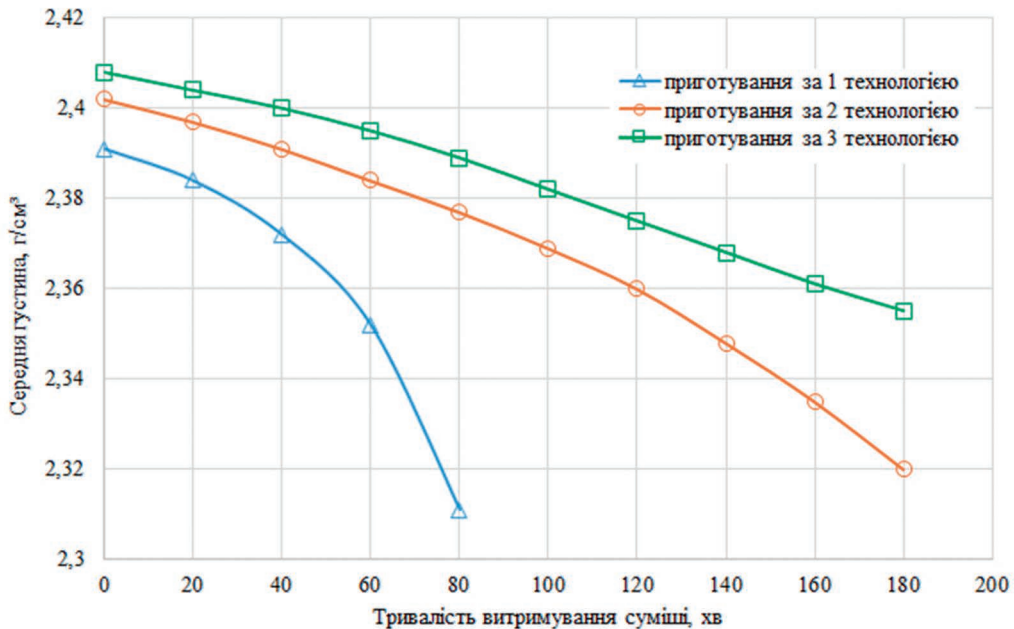


Рисунок 1 — Середня густина епоксидасфальтобетонів отриманих за різними технологіями

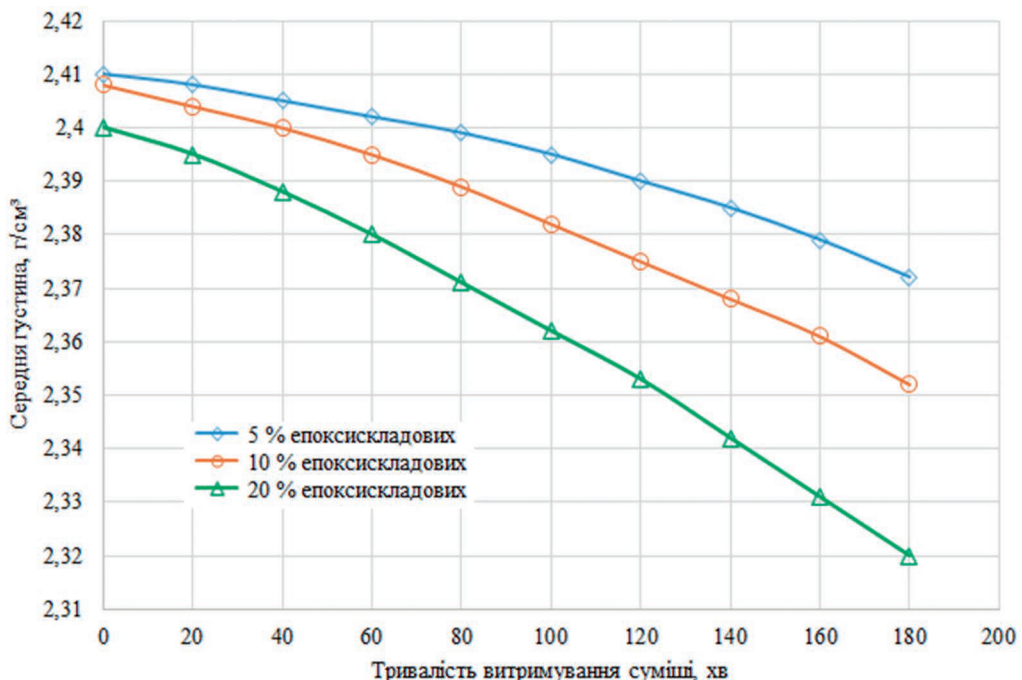


Рисунок 2 — Середня густина епоксидасфальтобетонів із різним вмістом епоксидкладових отриманих за 3 технологією

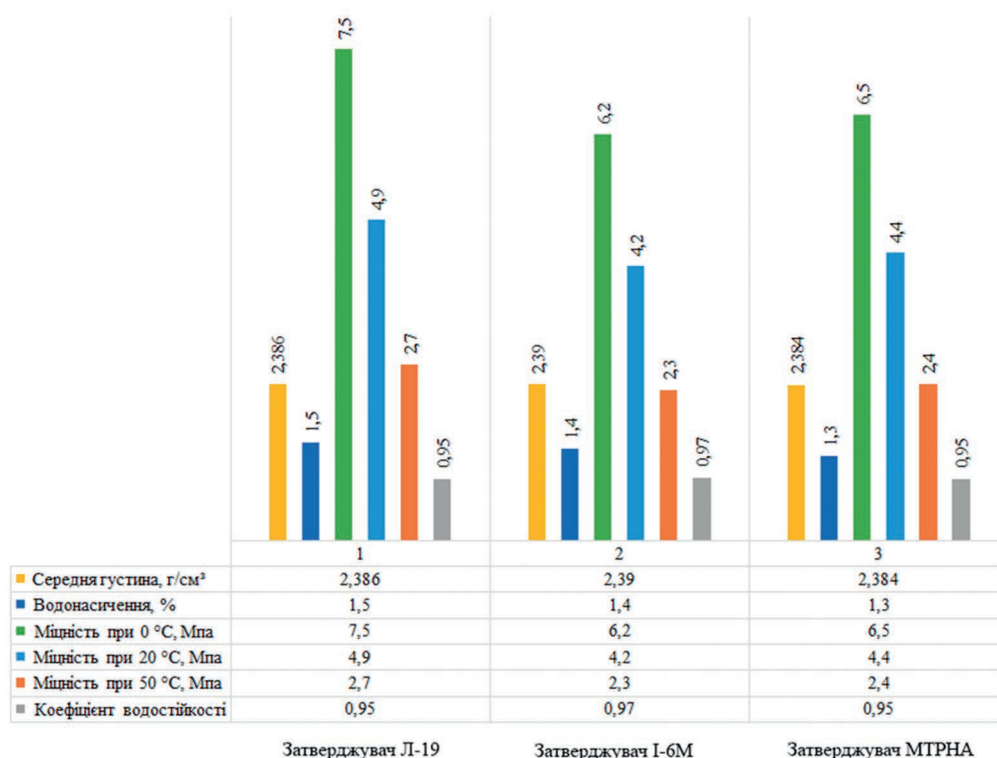
Результати випробувань свідчать, що середня густина епоксифальтобетонів отриманих за першою технологією вже після 60 хв витримування епоксифальтобетонних сумішей за температури ущільнення знижується з 2,391 г/см<sup>3</sup> до 2,352 г/см<sup>3</sup>. Збільшення тривалості витримування епоксифальтобетонних сумішей призводить до утворення в суміші грудок і неможливості її якісного ущільнення.

У той же час, епоксифальтобетони отримані за другою технологією аналогічну середню густину мають через 130 хв від їх приготування, а за третьою технологією – більше ніж через 180 хв. Таким чином, найбільш ефективною технологією приготування епоксифальтобетонних сумішей є третя. Тому в подальшому приготування епоксифальтобетонів здійснювали саме за цією технологією.

Життєздатність епоксифальтобетонних сумішей зменшується по мірі збільшення в них епоксискладових. Так, при практично однакових початкових значеннях середньої густини епоксифальтобетонів з різним вмістом епоксискладових, середня густина епоксифальтобетонів, отриманих після 180 хв витримування сумішей суттєво відрізняється. Епоксифальтобетон з 5,0 % епоксискладових має середню густину 2,372 г/см<sup>3</sup>, з 10,0 % епоксискладових — 2,355 г/см<sup>3</sup>, а з 20,0 % епоксискладових — 2,320 г/см<sup>3</sup>. У подальшому приготування епоксифальтобетонних зразків виконується впродовж часу, що не перевищує 30 хв після приготування епоксифальтобетонних сумішей.

### Вплив затверджувачів на властивості епоксифальтобетону

Для порівняльного аналізу прийняті епоксифальтобетони із затверджувачами Л-19, І-6М та МТРНА. Загальний вміст епоксискладових становив 10 %. Випробування епоксифальтобетонів виконували через 28 днів після приготування. Результати випробувань епоксифальтобетонів на рис. 3.



**Рисунок 3** — Результати випробувань епоксифальтобетонів із різними затверджувачами

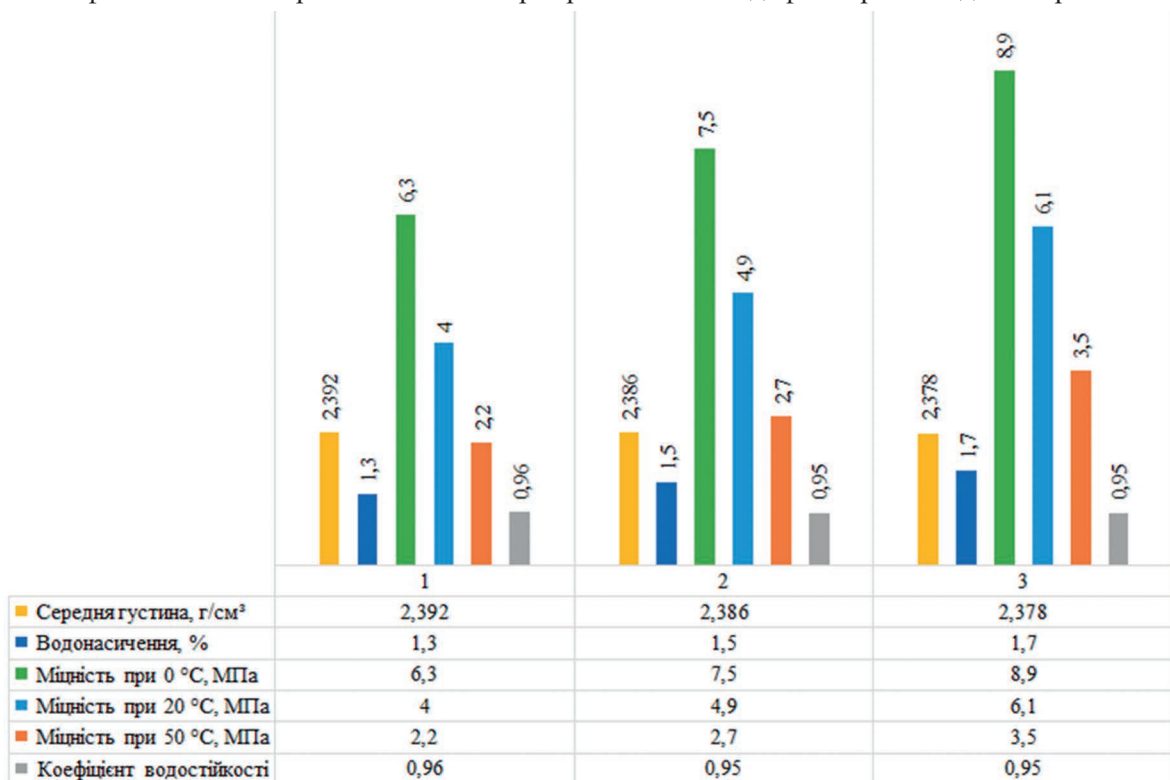


Результати випробувань показали, що усі епоксифальтобетони незалежно від марки затверджувача мають близькі значення коефіцієнта водостійкості, значення середньої густини та водонасичення.

У той же час, характеристики міцності епоксифальтобетонів суттєво відрізняються. Найбільшу міцність за всіх температур випробування має епоксифальтобетон із затверджувачем Л-19. Найменшу міцність мають епоксифальтобетони із затверджувачем І-6М, а епоксифальтобетони із затверджувачем МТРНА займають проміжне положення та є більш близькими до епоксифальтобетонів із затверджувачем І-6М.

### Вплив вмісту термореактивних модифікаторів на властивості асфальтобетону

Для дослідження впливу вмісту термореактивних модифікаторів на властивості епоксифальтобетону, в якості затверджувача було використано Л-19. Вміст епоксискладових становив 5,0 %, 10,0 % та 20,0 %. Епоксифальтобетони випробовували після їх витримування за температури навколишнього середовища впродовж 28 діб [4]. Результати випробувань епоксифальтобетонів із різним вмістом термореактивних модифікаторів наведені на рис. 4.



**Рисунок 4** — Результати випробувань епоксифальтобетонів із різним вмістом епоксискладових

Згідно з результатами випробування збільшення вмісту епоксискладових призводить до зниження середньої густини епоксифальтобетону. При вмісті 5,0 % епоксискладових середня густина епоксифальтобетону становить 2,392 г/см<sup>3</sup>. При збільшенні вмісту епоксискладових до 10 % середня густина знижується до 2,386 г/см<sup>3</sup>, а при збільшенні до 20 % знижується до 2,378 г/см<sup>3</sup>.

Поряд із зниженням середньої густини відбувається зростання водонасичення. Епоксифальтобетон з 5,0 % епоксискладових має водонасичення 1,3 %, з 10 % та 20 % відповідно 1,5 % та 1,7 %.

Зі збільшенням вмісту епоксискладових підвищується міцність епоксифальтобетону. За температури 0 °С епоксифальтобетон з 5,0 % епоксискладових має міцність 6,3 МПа. При збільшенні вмісту епоксискладових до 10 % міцність зростає до 7,5 МПа, а при 20 % епоксискладових — до 8,9 МПа. Слід зазначити, що в усьому діапазоні вмісту епоксискладових міцність за температури 0 °С відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-119.

Із збільшенням вмісту епоксискладових також спостерігається зростання міцності епоксифальтобетону за температури 20 °С. За даної температури епоксифальтобетон з 5,0 % епоксискладових має міцність 4,0 МПа. При збільшенні вмісту епоксискладових до 10 % міцність зростає до 4,9 МПа, а при 20 % — до 6,1 МПа.

Найбільш інтенсивно із збільшенням вмісту епоксискладових зростає міцність епоксифальтобетонів за температури 50 °С. Якщо міцність епоксифальтобетону з 5,0 % епоксискладових становить 2,2 МПа, то при збільшенні вмісту епоксискладових до 10 % вона зростає до 2,7 МПа, а при 20 % — до 3,5 МПа.

Вміст епоксискладових в епоксифальтобетоні практично не впливає на його водостійкість. Епоксифальтобетон з 5 % епоксискладових має коефіцієнт водостійкості 0,96, а епоксифальтобетон з 10 % та 20 % епоксискладових — 0,95.

### Висновки

На основі проведеного комплексу досліджень та аналітичного огляду світового та вітчизняного досвіду застосування епоксифальтобетонного покриття на автодорожніх мостах можна зробити впевнений висновок, що використання термореактивних добавок в якості модифікаторів бітуму дозволяє значно покращити його властивості, а отже і властивості асфальтобетонів на його основі [5]. Застосування такого покриття потребує особливої уваги при визначенні оптимального складу та технології приготування.

Методика визначення складу епоксифальтобетонного покриття базується на проведенні таких робіт:

- визначення життєздатності епоксифальтобетонної суміші;
- визначення впливу затверджувачів на властивості епоксифальтобетону;
- визначення впливу вмісту термореактивних добавок на властивості асфальтобетону.

Отримані дані проведених досліджень дозволяють виконувати оптимальний підбір складу епоксифальтобетонних сумішей із урахуванням варіації температур і вмісту епоксискладових для досягнення найкращих їх технічних характеристик.

### Список літератури

1. Постанова від 21 березня 2018 р. № 382 Про затвердження Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018 – 2022 роки. Київ, 2018. (Інформація та документація).
2. Онищенко А. М. Наукові основи підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх мостах : автореферат дис. ... док. техн. наук. Київ, 2017. 37 с. URL: <https://u.to/C785GQ> (дата звернення : 13.07.2020).
3. 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 : монографія (Підвищення довговічності автодорожніх мостів). Харків, 2016. 236 с. (Інформація та документація).

4. Кіщинський С.В., Копинець І.В. Провести дослідження та розробити енерго та ресурсозберігаючі технології влаштування довговічних дорожніх покриттів з використанням термореактивних модифікаторів асфальтобетону з епоксискладовою : Звіт про науково-дослідну роботу. Київ, 2018. 122 с.

5. Онищенко А.М. Підвищення довговічності асфальтобетонних шарів за рахунок використання полімерних латексів : автореферат дис. ... канд. тех. наук. Київ, 2008. 19 с. URL: <https://u.to/xEJhFg> (дата звернення: 13.07.2020).

6. Peijun Xu, Peiliang Cong, Huan Ye, Shuanfa Chen. Modification of Epoxy Asphalt by Hyperbranched Polyester (Модифікація епоксидного асфальту гіперрозгалуженим поліестером). *Advanced Materials Research*. Switzerland, 2013. Vol. 716. P. 379-382. URL: <https://u.to/h9ktFg> (дата звернення: 15.07.2020).

7. Невінгловський В.Ф. Методи розрахунку залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття на транспортних спорудах : автореферат дис. ... канд. тех. наук. Київ, 2015. 20 с.

8. Alabaster D., Herrington P.R., Waters J. Ultra long life low noise porous asphalt (Влаштування асфальтобетонних покриттів з низьким рівнем шуму). *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2012. Vol. 131, Issue 4. 3225 p. URL: <https://u.to/7-EtFg> (дата звернення: 22.07.2020).

9. Yang Kang, Mingyu Song, Liang Pu, Tingfu Liu. Rheological behaviors of epoxy asphalt binder in comparison of base asphalt binder and SBS modified asphalt binder (Реологічна поведінка епоксидного асфальтового в'язучого у порівнянні із звичайним асфальтовим в'язучим та модифікованим асфальтовим в'язучим SBS). *Construction and Building Materials*. Hong Kong. 2015. P. 12-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.020> (дата звернення: 20.07.2020).

10. ДСТУ 4044-2001 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. Київ, 2001. 15 с. (Інформація та документація).

11. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. Київ, 2012. 59 с. (Інформація та документація).

12. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. Київ, 2016. 64 с. (Інформація та документація).

13. СОУ 45.2-00018112-057:2010 Асфальтобетонні суміші та асфальтобетон на основі модифікованих полімерами бітумів. Київ, 2010. 15 с. (Інформація та документація).

### References

1. Postanova vid 21 bereznya 2018 r. № 382 Pro zatverdzhennya Derzhavnoyi tsilovoyi ekonomichnoyi prohramy rozvytku avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannya derzhavnoho znachennya na 2018 – 2022 roky (Resolution № 382 On approval of the State target economic program for the development of public roads of state importance for 2018 – 2022). Kyiv, 2018 (Information and documentation) [in Ukrainian].

2. Onyshchenko A. M. Scientific basis for improving the stability of asphalt concrete pavement to the formation of a track on road bridges (Naukovi osnovy pidvyshchennia stiiikosti asfaltobetonnoho pokryttia do utvorennia kolii na avtodorozhnikh mostakh) : avtoref. dys. ... Doctor of Engineering Sciences. Kyiv, 2017. 37 p. URL: <https://u.to/C785GQ> (Last accessed: 13.07.2020) [in Ukrainian].

3. Kozhushko V.P., Bylchenko A.V., Kyslov A.H., Berezhnaya E.V., Bezbabycheva O.Y., Buhaevskyy S.A., Krasnov S.N., Krasnova E.S. Povyshenye dolhovechnosti avtodorozhnykh mostov (Increasing the durability of road bridges) : Monograph. Kharkov, 2016. 236 p. [in Ukrainian].
4. Kishchinsky S. V., Kopinets I. V. Provesty doslidzhennya ta rozrobyty enerho ta resursozberihayuchi tekhnolohiyi vlashtuvannya dovhovichnykh dorozhnykh pokryttiv z vykorystannyam termoreaktyvnykh modyfikatoriv asfaltobetonu z epoksyskladovoyu (Conducting research and developing energy and resource-saving technologies for the construction of durable pavements using thermosetting modifiers of asphalt concrete with epoxy component) : Zvit pro naukovo-doslidnu robotu. Kyiv, 2018. 122 p. [in Ukrainian].
5. Onyshchenko A. N. Pidvyshchennia dovhovichnosti asfaltobetonnykh shariv za rakhunok vykorystannia polimernykh lateksiv (Increase of longevity of asphalt - concrete's layers for an account the use of polymeric latexes : dissertation for a scientific degree Candidate Engineering Sciences. Kyiv, 2008. 19 p. URL: <https://u.to/xEIlhFg> (Last accessed: 13.07.2020) [in Ukrainian].
6. Peijun Xu, Peiliang Cong, Huan Ye, Shuanfa Chen. Modification of Epoxy Asphalt by Hyperbranched Polyester. *Advanced Materials Research*. Switzerland, 2013. Vol. 716. P. 379-382. URL: <https://u.to/h9ktFg> (Last accessed: 15.07.2020) [in English].
7. Nevinhlovskyy V. F. Metody rozrakhunku zalyshkovoho resursu asfaltobetonnoho pokryttya na transportnykh sporudakh (Methods of calculation of residual resource of asphalt concrete cover on transport structures) : dissertation for a scientific degree Candidate Engineering Sciences. Kyiv, 2015. 20 p. [in Ukrainian].
8. Alabaster D., Herrington P.R., Waters J. Ultra long life low noise porous asphalt. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2012. Vol. 131, Issue 4. 3225 p. URL: <https://u.to/7-EtFg> (Last accessed: 22.07.2020) [in English].
9. Yang Kang, Mingyu Song, Liang Pu, Tingfu Liu. Rheological behaviors of epoxy asphalt binder in comparison of base asphalt binder and SBS modified asphalt binder. *Construction and Building Materials*. Hong Kong. 2015. P. 12-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.020> (Last accessed: 13.07.2020) [in English].
10. DSTU 4044-2001 Bitumy naftovi dorozhni v"yazki. Tekhnichni umovy (State Standard of Ukraine (DSTU 4044-2001) Bitumens are oil road bindings. Specifications). Kyiv, 2001. 15 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
11. DSTU B V.2.7-119:2011 Sumishi asfal'tobetonni i asfal'tobeton dorozhniy ta aerodromnyy. Tekhnichni umovy (State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-119:2011) Mixtures of asphalt and asphalt road and airfield. Specifications). Kyiv, 2012. 59 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
12. DSTU B V.2.7-319:2016 Sumishi asfal'tobetonni i asfaltobeton dorozhniy ta aerodromnyy. Metody vyprobuvan (State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-319:2016) Mixtures of asphalt and asphalt road and airfield. Test methods). Kyiv, 2016. 64 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
13. SOU 45.2-00018112-057:2010 Asfaltobetonni sumishi ta asfaltobeton na osnovi modyfikovanykh polimeramy bitumiv (Standard of organization of Ukraine (SOU 45.2-00018112-057:2010) Asphalt mixes and asphalt concrete based on polymer modified bitumen). Kyiv, 2010. 15 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Artur Onyshchenko<sup>1</sup>, D.Sc., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

Volodymyr Zelenovskiy<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-5834-5456>

<sup>1</sup> National Transport University, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

## ***DETERMINATION OF THE COMPOSITION OF EPOXY ASPHALT CONCRETE MIXTURES FOR THEIR APPLICATION AS A THIN-LAYER COATING ON ROAD BRIDGES***

### ***Abstract***

**Introduction.** This paper presents the results of the analysis of world and domestic experience, theoretical and practical research to assess the impact of thermosetting additives on the main indicators of bitumen and physical and mechanical properties of asphalt concrete. The optimal compositions of asphalt concrete with increased physical and mechanical properties for their use as thin-layer coatings on road bridges have been established. Attention is also paid to the technology of preparation of epoxy asphalt concrete with different methods of introduction of epoxy components.

**Problem Statement.** Ensuring increased track resistance, strength and crack resistance of pavements on road bridges today is one of the most important problems facing scientists and road workers in Ukraine. An urgent task is to improve the performance of these coatings in order to extend their service life and minimize the frequency of repair work, which, especially on bridges, cause great difficulties and require significant additional costs.

**Objective.** There is no doubt that when using epoxy asphalt concrete as a thin-layer pavement, we get a strong, flexible surface, resistant to cracking and rutting. However, this is not yet a sufficiently researched material for its possible wide application, as it requires a special approach to the establishment of the composition and technology of its preparation.

**Materials and methods.** Asphalt concrete mixture using thermosetting modifiers for its use as a thin-layer coating on orthotropic or reinforced concrete slab of the carriageway of the bridge.

**Results.** An analytical review of domestic experience and the experience of other countries to improve the quality of pavements on road bridges, increase their durability, as well as improve economic efficiency in the use of epoxy-asphalt mixtures. Comprehensive studies have been conducted to establish their optimal composition.

**Conclusions.** The application of a thin-layer coating on an orthotropic or reinforced concrete slab of the carriageway of the bridge made of epoxy-asphalt-concrete mixture requires special attention in establishing the optimal selection of its composition and cooking technology. Particular attention should be paid to ensure the required viability of the epoxy-asphalt mixture, the use of the desired hardener, which affects its properties, determining the required number of thermosetting modifiers, determining the duration of curing depending on temperature.

**Keywords:** asphalt, bitumen, epoxy asphalt, epoxy asphalt concrete, epoxy resin, bridge, pavement.

УДК 627.13:519.711.3

Славінська О. С.<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф., <http://orcid.org/0000-0002-9709-0078>Цинка А. О.<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-0357-2325><sup>1</sup> Національний транспортний університет, м. Київ, Україна<sup>2</sup> Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна**ПРОГНОЗУВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ НА ЗАПЛАВАХ З УРАХУВАННЯМ ОПОРУ  
ПРИ ОБТІКАННІ МОСТОВИХ ОПОР****Анотація**

**Вступ.** Розмивні процеси на заплавах суттєво відрізняються від руслових деформацій, що обумовлено не тільки їх геологічною будовою, а також наявністю рослинного покриву. З метою прогнозування розмивних процесів на заплавах ділянках в зоні впливу мостових переходів проведено велику кількість експериментальних та числових досліджень розподілу швидкісної структури та глибини. Лишається відкритим питання, щодо врахування багатьох особливостей заплавах ділянок в зоні отвору мостового переходу.

**Проблематика.** При проектуванні мостових переходів одне із найважливіших питань — величина максимального розмиву, який може відбутися у процесі експлуатації мосту при розрахунковій повені або паводку. Відповідно, при розрахунку деформацій не тільки в руслі, а і на заплаві в зоні отвору мостового переходу важливо встановити максимальні глибини, які достатньо точно визначають необхідну глибину закладання основ опор мосту.

**Мета роботи.** Прогнозування максимальних розмивів на заплавах ділянках із урахуванням сили опору при обтіканні мостових опор.

**Матеріали та методи.** Представлена робота ґрунтується на положеннях теорії механіки суцільного середовища, неоднорідних потоків та теорії мілкої води, на методах математичного моделювання, методах числового моделювання.

Розрахунок в зоні впливу мостових опор проводиться за рівнянням переносу швидкості заплавної потоку з трав'яною рослинністю з урахуванням сили опору при обтіканні мостових опор. Числова реалізація запропонованих математичних моделей за ітераційними методами розрахунку гідродинамічних характеристик заплавах з рослинністю обумовила необхідність формулювання початкових та граничних умов для врахування характерних особливостей руху заплавної потоків в зоні впливу мостових переходів.

**Результати.** Розроблена двовимірна математична модель дозволяє враховувати особливості заплавної ділянок стосовно розподілу рослинності, намулку та опір при обтіканні мостових опор.

За запропонованим методом були визначені гідродинамічні показники заплавної ділянок р. Сіверський Донець на автомобільній дорозі Т-05-14 в межах Донецької області, у тому числі, поздовжня швидкість з урахуванням сили опору від обтікання мостових опор та відмітки донної області після проходження паводку за розрахунковими сходінками. Максимальна поздовжня швидкість на початку спаду повені змінюється в межах від 2,45 м/с до 2,32 м/с, відповідно на меншій та більшій заплавах. Глибина розмиву дна змінюється в діапазоні від 0,19 м до 1,91 м на меншій заплаві та від 0,035 м до 2,75 м — на більшій заплаві.

**Висновки.** Запропонована двовимірна математична модель заплавної потоку, яка дозволяє визначити розподіл середніх швидкостей та глибин з дотриманням узгодженості з полем тиску та з урахуванням особливостей досліджуваної області з опорами на заплавах ділянках у створі

мостового переходу. За результатами її числової реалізації на ділянці р. Сіверський Донець встановлено величину максимального розмиву, що є відправним показником при призначенні глибини закладання основ опор мосту. Глибина максимального розмиву на більшій заплаві складає 2,75 м, на меншій — 1,91 м, що обумовлено врахуванням впливу опору при обтіканні мостових опор та ступенем стиснення потоку між ними.

**Ключові слова:** заплава, заплавний потік, міст, мостовий перехід, мостова опора, мостовий отвір, розмив, сила опору.

### Вступ

При розрахунку деформацій у руслі та на заплаві в зоні впливу мостового переходу важливо встановити не тільки середні глибини, але і максимальні, такі, що достатньо точно визначають необхідну глибину закладання основ опор мосту. Відповідно, при проектуванні мостових переходів одне із найважливіших питань — величина максимального розмиву, який може відбутися у процесі експлуатації мосту при розрахунковій повені або паводку.

Результати лабораторного дослідження розвитку місцевого розмиву на заплавній ділянці моделі річки наведені в роботі [1]. Запропоновано співвідношення для прогнозування максимальної глибини біля мостової опори, яке ґрунтується на таких параметрах, як ширина русла та заплави, число Фруда, розмір часток наносів. У роботі [2] представлено результати числового моделювання річкового потоку з мостовим переходом. На основі двовимірних, усереднених за глибиною, математичних моделей отримано розподіл швидкостей та глибин біля мостових опор із урахуванням стиснення руслового та заплавного потоків. Експериментальні дослідження з розвитку місцевого розмиву біля мостової опори, проведені в умовах, максимально наближених до натурних, наведені в роботі [3]. Проаналізовано час розвитку місцевих розмивів, їх конфігурації, особлива увага приділялася зонам переходу русла на заплаву.

Для визначення величин місцевих зосереджених розмивів біля ряду гідротехнічних транспортних споруд, зокрема струмененапрямних дамб мостових переходів, мостових опор, огорожувальних дамб, руслорегулюючих півзагат тощо, використовували методику [4]. У методиці [4] прийняті концептуальні схеми формування розмивів, які включають найбільш небезпечні сполучення умов і, зокрема, наявність у багатьох випадках донного вихорового вальця, що підсилює інтенсивність вимиву та виносу розмитого ґрунту на один-два порядки.

Розмивні процеси на заплавах суттєво відрізняються від руслових деформацій, що обумовлено не тільки їх геологічною будовою, а також наявністю рослинного покриву. З метою прогнозування розмивних процесів на заплавних ділянках в зоні впливу мостових переходів розроблена математична модель зависенесного потоку з трав'яною рослинністю [5]. Запропонована авторами двовимірна модель ґрунтується на рівнянні розподілу швидкісної структури та глибини заплавного потоку з урахуванням сил опору при обтіканні рослинності та опору розмиву дрібнозернистих ґрунтів. Наведений аналіз досліджень обумовлює нову, актуальну наукову проблему з визначення величини максимального розмиву на заплавних ділянках в отворі мостового переходу з урахуванням особливостей цієї зони.

Метою даної роботи є прогнозування максимальних розмивів на заплавних ділянках із урахуванням сили опору при обтіканні мостових опор.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

- проаналізувати та визначити силовий фактор, що враховує опір при обтіканні мостових опор;
- удосконалити математичну модель для зависенесного заплавного потоку з дотриманням узгодженості з полем тиску та з урахуванням сили, що враховує опір при обтіканні мостових опор;

– провести обчислення максимальних розмивів на заплавних ділянках річки в зоні отвору мостового переходу за запропонованою математичною моделлю в комплексі зі сформованими межовими умовами.

## Основна частина

Запропонована в роботі авторів [5] модельна форма рівнянь заплавного потоку ґрунтується на припущенні про мализну часток та мализну прискорень неоднорідного потоку порівняно з прискоренням сили тяжіння. У двовимірній моделі враховано закон розподілу осередненого гідростатичного тиску по вертикалі та розподілу зважених наносів, вплив сили зчеплення дрібнозернистих ґрунтів та сили опору рослинності.

На відміну від врахованих у модельних рівняннях заплавного потоку [5] складових сил опору рослинності та сили зчеплення, розподіл яких розглядається по всьому розрахунковому об'єму заплавного потоку, сила опору при обтіканні мостових опор призводить до локального порушення структури річного потоку.

При обтіканні мостової опори виникає місцеве порушення структури основного потоку, врахувати яке можна через динамічні характеристики потоку, що набігає, та безпосередні розміри споруди, шляхом включення у модельні рівняння складової сили опору при обтіканні мостових опор.

Математична модель зависенесного заплавного потоку ґрунтується на вихідних рівняннях Рейнольдса, які представлені в скалярній формі через проекції на осі декартових координат:

$$\frac{\partial \bar{V}_i}{\partial t} + \bar{V}_j \frac{\partial \bar{V}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho_{LS}} \frac{\partial p}{\partial x_i} - \frac{\partial \bar{V}_i \bar{V}_j'}{\partial x_j} - g_i - \sum \bar{f}_i, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{V}_j}{\partial x_j} = 0, \quad (2)$$

де  $x_i$  ( $i=1,2,3$ ) — координати;  
 $\rho_{LS}$  — густина води, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  — прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\sum \bar{f}_i$  — сума масових сил;

$\bar{V}$  — осереднена швидкість потоку;

$\bar{V}_j \bar{V}_i'$  — турбулентні або рейнольдсові напруження;

$p$  — тиск;

$t$  — час.

Силу опору при обтіканні мостових опор, згідно [6], визначають за залежністю:

$$\bar{f}_{pier} = \frac{1}{2V} C_{pier} S_{pier} \left( V^2 \bar{V}_i + \bar{V}_j \bar{V}_j \bar{V}_i' \right), \quad (3)$$

де  $V = \sqrt{\sum_{i=1 \div 3} \bar{V}_i^2}$  — актуальна швидкість;



$C_{pier}$  — коефіцієнт опору при обтіканні опори;  
 $S_{pier}$  — міделева площа при обтіканні опори.

У тонкому шарі потоку, певної області навколо опор, глибиною  $\Delta x_3 \approx h$  та, відповідно, об'ємом  $q_{pier} = B_{pier} L_{pier} h_{pier}$  міделева площа при обтіканні опори складає:

$$S_{pier} = \frac{K_f l_{pier} b_{pier}}{B_{pier} L_{pier} h}, \quad (4)$$

де  $K_f$  — коефіцієнти форми опори, для незатоплених мостових опор визначаються за даними [7];

$l_{pier}$  — довжина опори, при косому набіганні потоку  $l_{pier} = l_{Opier} \cos \alpha_{pier}$ ;

$b_{Opier}$  — ширина опори, при нормальному набіганні потоку  $b_{pier} = b_{Opier}$ , при косому набіганні потоку  $b_{Opier} = l_{Opier} \sin \alpha_{pier} + b_{Opier} \cos \alpha_{pier}$ ;

$\alpha_{pier}$  — кут набігання потоку на мостову опору;

$L_{pier}$  — довжина опори в поздовжньому напрямку (довжина області, що задається навколо опори);

$B_{pier}$  — ширина опори в поперечному напрямку (ширина області, що задається навколо опори).

Силу опору відриву множини часток в модельній формі рівнянь визначають за співвідношенням:

$$\bar{F}_{ch} = \frac{k_{Cp} C_{ch} \cdot \bar{S} g}{C_{\phi 1} D}, \quad (5)$$

де  $k_{Cp}$  — межа втомленості розриву зв'язних ґрунтів, за експериментами [8];

$C_{ch}$  — зчеплення ґрунту у стані повного водонасичення, кг/м<sup>2</sup>;

$\bar{S}$  — розподіл зважених наносів по вертикалі або мутність потоку, формула для визначення наведена далі;

$C_{\phi 1}$  — перший коефіцієнт форми частки наносів, дорівнює відношенню об'єму частки до діаметра рівновеликого шару у третьому ступені;

$D$  — діаметр частинок наносів, м.

Силу опору рослинності, згідно з [9], визначають за аналогічним підходом як і сила опору при обтіканні мостових опор, за залежністю:

$$\bar{f}_{Pi} = \frac{C_x s_p}{2\bar{V}} \left( \bar{V}^2 V_i + \bar{V}_j \bar{V}_j' V_i' \right), \quad (6)$$

де  $C_x$  — коефіцієнт опору, який визначають за експериментальними дослідженнями, для випадку опору рослинності;

$s_p$  — загальна міделева площа, яка розподілена в об'ємі шару.

Для отримання двовимірних рівнянь переносу необхідно проінтегрувати проєкції загальних тривимірних рівнянь гідродинаміки (1–2) по вертикалі від відмітки дна  $z_o$  до вільної поверхні  $H$ , тобто по глибині потоку  $h = H - z_o$ .

Для зручності позначимо середні за глибиною значення будь-яких змінних функцій — характеристики потоку  $\Phi(x_1, x_2, x_3, t)$ , ламаними дужками, як у роботах [6, 10],

$$\langle \Phi \rangle = \frac{1}{h} \int_{z_0}^H \Phi dx_3. \quad (7)$$

При інтегруванні за глибиною доданків, які містять похідні по горизонтальним координатам та за часом використовуємо властивості інтегралів, які залежать від параметрів [6, 11].

Прийmemo для коефіцієнта, який враховує опір впливу при обтіканні мостових опор:

$$N_{pier} = \frac{C_{pier} S_{pier}}{2}, \quad (8)$$

і коефіцієнтів, які враховують опір при обтіканні рослинності та часток ґрунту:

$$N_p = \frac{C_x S_p}{2}, \quad N_{ch} = \frac{k_{cp} C_{ch} \cdot g}{C_{\phi 1} D \rho_{LS}}. \quad (9)$$

Відповідно розподіл гідродинамічного тиску  $\bar{p}$  в заплавному потоці визначатиметься за залежністю:

$$\begin{aligned} \bar{p} = \bar{p}_H + \overline{\rho_{LS} g} (H - x_3) - \overline{\rho_{LS} V_3^2} + \overline{\rho_{LS}} \int_{x_3}^H \overline{f_{p3}} dx_3 + \overline{\rho_{LS}} \int_{x_3}^H \overline{f_{pier3}} dx_3 + \overline{\rho_{LS}} \int_{x_3}^H \overline{f_{ch}} dx_3 = \bar{p}_H + \overline{\rho_{LS} g} (H - x_3) - \\ - \overline{\rho_{LS} V_3^2} + \overline{\rho_{LS}} \frac{C_x S_p}{2} \int_{x_3}^H \frac{\overline{V_1 V_1'}}{V} dx_3 + \frac{k_{cp} C_{ch} \cdot g}{C_{\phi 1} D} \int_{x_3}^H \overline{S} dx_3 + \overline{\rho_{LS}} \frac{C_{pier} S_{pier}}{2} \int_{x_3}^H \frac{\overline{V_1 V_1'}}{V} dx_3, \end{aligned} \quad (10)$$

де  $\bar{p}_H$  — тиск на поверхні потоку.

Інтегруючи проекцію рівнянь (1) на вертикальну вісь, отримаємо закон розподілу осередненого гідростатичного тиску по вертикалі.

У випадку усталеного руху, з урахуванням положень теорії мілкої води при  $h \ll L$ , знехтуємо складовими, які мають порядок похідних величин  $\langle \bar{V}_i \rangle$  і їх квадратів та виражають турбулентні напруження. На поверхні потоку виконується очевидна умова, що  $\bar{V}'_{3H} = 0$ .

Після інтегрування:

$$\begin{aligned} \bar{p} = \bar{p}_H + \overline{\rho_{LS} g} (H - x_3) - \overline{\rho_{LS} V_3^2} + (C_x S_p + C_{pier} S_{pier}) \frac{\overline{\rho_{LS}} \langle \bar{V}_1 \rangle}{2 \langle \bar{U} \rangle} \langle \bar{V}_1 V_1' \rangle (H - x_3) - \\ - \frac{k_{cp} C_{ch} \cdot \langle \bar{S} \rangle g}{C_{\phi 1} D} (H - x_3). \end{aligned} \quad (11)$$

Розподіл тиску в потоці при спрощенні  $\bar{V} \approx \bar{V}_1$  або  $\frac{\bar{V}_1}{\bar{V}} \approx 1$  запишеться у вигляді:

$$\bar{p} = \bar{p}_H + \overline{\rho_{LS} g} (H - x_3) - \overline{\rho_{LS} V_3^2} - (C_x S_p + C_{pier} S_{pier}) \frac{\overline{\rho_{LS}} \langle \bar{V}_1 V_1' \rangle}{2} (H - x_3) - \frac{k_{cp} C_{ch} \cdot \langle \bar{S} \rangle g}{C_{\phi 1} D} (H - x_3), \quad (12)$$

де  $\langle \bar{S} \rangle$  — осереднена по вертикалі мутність потоку.

Враховуючи вираз (12), модельна форма двовимірних рівнянь матиме такий вигляд:

$$\frac{\partial \bar{V}_1}{\partial t} + \frac{\partial \bar{V}_1^2}{\partial x_1} + \frac{\partial \bar{V}_1 \bar{V}_2}{\partial x_2} + \frac{\partial \bar{V}_1 \bar{V}_3}{\partial x_3} = -\frac{\partial}{\partial x_1} (\bar{V}_1^2 - \bar{V}_3^2) - \frac{\partial \bar{V}_1 \bar{V}'_2}{\partial x_2} - \frac{\partial \bar{V}_1 \bar{V}'_3}{\partial x_3} - \frac{C_X S_p + C_{pier} S_{pier}}{2} \left( \bar{V}_1^2 + \bar{V}_1^2 + \frac{\bar{V}_2}{\bar{V}_1} \bar{V}_2 \bar{V}'_1 + \frac{\bar{V}_3}{\bar{V}_1} \bar{V}_3 \bar{V}'_1 \right) - \left( g + \frac{C_X S_p + C_{pier} S_{pier}}{2} \langle \bar{V}'_1 \bar{V}'_3 \rangle + \frac{k_{Cp} C_{Ch} \cdot g}{C_{\Phi 1} D \rho_{LS}} \langle \bar{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_1} - h \left( \frac{C_X S_p + C_{pier} S_{pier}}{2} \frac{\partial \langle \bar{V}'_1 \bar{V}'_3 \rangle}{\partial x_1} + \frac{k_{Cp} C_{Ch} \cdot g}{C_{\Phi 1} D \rho_{LS}} \frac{\partial \langle \bar{S} \rangle}{\partial x_1} \right). \quad (13)$$

$$\frac{\partial \bar{V}_2}{\partial t} + \frac{\partial \bar{V}_2 \bar{V}_1}{\partial x_1} + \frac{\partial \bar{V}_2^2}{\partial x_2} + \frac{\partial \bar{V}_2 \bar{V}_3}{\partial x_3} = -\frac{\partial \bar{V}_2 \bar{V}'_1}{\partial x_1} - \frac{\partial}{\partial x_2} (\bar{V}_2^2 - \bar{V}_3^2) - \frac{\partial \bar{V}_2 \bar{V}'_3}{\partial x_3} - \frac{C_X S_p + C_{pier} S_{pier}}{2} \left( \bar{V}_1 \bar{V}_2 + \bar{V}_1 \bar{V}'_2 + \frac{\bar{V}_2}{\bar{V}_1} \bar{V}_2^2 + \frac{\bar{V}_3}{\bar{V}_1} \bar{V}_3 \bar{V}'_2 \right) - \left( g + \frac{C_X S_p + C_{pier} S_{pier}}{2} \langle \bar{V}'_1 \bar{V}'_3 \rangle + \frac{k_{Cp} C_{Ch} \cdot g}{C_{\Phi 1} D \rho_{LS}} \langle \bar{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_2} - h \left( \frac{C_X S_p + C_{pier} S_{pier}}{2} \frac{\partial \langle \bar{V}'_1 \bar{V}'_3 \rangle}{\partial x_2} + \frac{k_{Cp} C_{Ch} \cdot g}{C_{\Phi 1} D \rho_{LS}} \frac{\partial \langle \bar{S} \rangle}{\partial x_2} \right). \quad (14)$$

Помножимо рівняння (13) і (14) на  $dx_3$  і проінтегруємо за глибиною, та оцінимо порядок доданків, користуючись способом та оцінкою наведеними в роботі [10].

Для отримання модельної форми рівнянь представимо локальну швидкість  $V_i$  у вигляді:

$$\bar{V}_i = U_i + u_i,$$

де  $u_i = \bar{V}_i - U_i \neq 0$  — відхилення локальної швидкості  $\bar{V}_i$  від осередненої за глибиною  $U_i$ .

Величина  $u_i$  повинна тотожно відповідати умові:

$$\langle u_i \rangle = \frac{1}{h} \int_{z_0}^H u_i dx_3 = 0.$$

Згідно з [10], коефіцієнт, який враховує нерівномірність розподілу швидкостей на вертикалі, приймає значення  $\alpha > 1$  та дорівнює:

$$\alpha_h = 1 + \frac{\int_{z_0}^H u_i^2 dx_3}{U_i^2 h}.$$

Рівняння кількості руху (у напрямку на вісь  $X_1$ ) можна представити у вигляді:

$$\frac{\partial U_1}{\partial t} + \alpha_h \left[ \frac{\partial U_1^2}{\partial x_1} + \frac{\partial U_1 U_2}{\partial x_2} \right] = - \left( g + (N_p + N_{pier}) \langle \bar{V}'_1 \bar{V}'_3 \rangle - N_{Ch} \langle \bar{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_1} - h \left( (N_p + N_{pier}) \frac{\partial \langle \bar{V}'_1 \bar{V}'_3 \rangle}{\partial x_1} + N_{Ch} \frac{\partial \langle \bar{S} \rangle}{\partial x_1} \right) - \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \langle \bar{V}_1^2 \rangle - \langle \bar{V}_3^2 \rangle \right) - \frac{\partial \langle \bar{V}_1 \bar{V}'_2 \rangle}{\partial x_2} - \frac{1}{h} \left[ (\bar{V}_1 \bar{V}'_3)_H - (\bar{V}_1 \bar{V}'_3)_{z_0} \right] - (N_p + N_{pier}) \left[ \alpha_h U_1^2 + \langle \bar{V}_1^2 \rangle + \frac{U_2}{U_1} \langle \bar{V}_2 \bar{V}'_1 \rangle \right]. \quad (15)$$

Рівняння кількості руху (у напрямку на вісь  $X_2$ ):

$$\frac{\partial U_2}{\partial t} + \alpha_h \left[ \frac{\partial U_1 U_2}{\partial x_1} + \frac{\partial U_2^2}{\partial x_2} \right] = - \left( g + (N_P + N_{pier}) \langle \overline{V_1 V_3'} \rangle + N_{Ch} \langle \overline{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_2} - h \left( (N_P + N_{pier}) \frac{\partial \langle \overline{V_1 V_3'} \rangle}{\partial x_2} + N_{Ch} \frac{\partial \langle \overline{S} \rangle}{\partial x_2} \right) - \frac{\partial \langle \overline{V_2 V_1'} \rangle}{\partial x_1} - \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \langle \overline{V_2^2} \rangle - \langle \overline{V_3^2} \rangle \right) - \frac{1}{h} \left[ \left( \overline{V_2 V_3'} \right)_H - \left( \overline{V_2 V_3'} \right)_{z_0} \right] - (N_P + N_{pier}) \left[ \alpha_h U_1 U_2 + \langle \overline{V_1 V_2'} \rangle + \frac{U_2}{U_1} \langle \overline{V_2^2} \rangle \right]. \quad (16)$$

При  $U_1 = U$ ,  $U_2 \approx 0$  та використати умову стаціонарності  $\frac{\partial}{\partial t} = 0$  рівняння (15) та (16) приймуть такий вид:

$$\alpha_h \frac{\partial U^2}{\partial x_1} = - \left( g + (N_P + N_{pier}) \langle \overline{V_1 V_3'} \rangle - N_{Ch} \langle \overline{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_1} - h \left( (N_P + N_{pier}) \frac{\partial \langle \overline{V_1 V_3'} \rangle}{\partial x_1} + N_{Ch} \frac{\partial \langle \overline{S} \rangle}{\partial x_1} \right) - \frac{\partial \langle \overline{V_1 V_2'} \rangle}{\partial x_2} - \frac{1}{h} \left[ \left( \overline{V_1 V_3'} \right)_H - \left( \overline{V_1 V_3'} \right)_{z_0} \right] - (N_P + N_{pier}) \left[ \alpha_h U^2 + \langle \overline{V_1^2} \rangle \right]. \quad (17)$$

$$0 = - \left( g + (N_P + N_{pier}) \langle \overline{V_1 V_3'} \rangle + N_{Ch} \langle \overline{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_2} - h \left( (N_P + N_{pier}) \frac{\partial \langle \overline{V_1 V_3'} \rangle}{\partial x_2} + N_{Ch} \frac{\partial \langle \overline{S} \rangle}{\partial x_2} \right) - \frac{\partial \langle \overline{V_2 V_1'} \rangle}{\partial x_1} - \frac{1}{h} \left[ \left( \overline{V_2 V_3'} \right)_H - \left( \overline{V_2 V_3'} \right)_{z_0} \right] - (N_P + N_{pier}) \langle \overline{V_1 V_2'} \rangle. \quad (18)$$

Враховуючи залежності для турбулентних напружень:

$$-\langle \overline{V_1 V_2'} \rangle = \Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_2}, \quad -\langle \overline{V_1 V_3'} \rangle = \Lambda \frac{U^2}{h}, \quad -\langle \overline{V_1^2} \rangle = 2\Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_1}. \quad (19)$$

А також для дотичних напружень на основі квадратичного закону тертя [1] на дні, з урахуванням  $U_1 = U$ ,  $U_2 \approx 0$  приймається:

$$\left( \overline{V_1 V_3'} \right)_{z_0} = \frac{C_f U^2}{K_\Phi}, \quad \left( \overline{V_2 V_3'} \right)_{z_0} = 0, \quad (20)$$

де  $\Lambda$  — коефіцієнт турбулентного обміну [10];  
 $C_f$  — емпіричний коефіцієнт тертя [6];  
 $K_\Phi$  — коефіцієнт, який враховує вплив форми поперечного перетину заплави.

Представимо усталені рівняння (17) і (18) двовимірних течій на заплавах з трав'яною рослинністю:

$$\alpha_h \frac{\partial U^2}{\partial x_1} = - \left( g + (N_P + N_{pier}) \Lambda \frac{U^2}{h} + N_{Ch} \langle \overline{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_1} - h \left( (N_P + N_{pier}) \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right) + N_{Ch} \frac{\partial \langle \overline{S} \rangle}{\partial x_1} \right) - \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_2} \right) - \frac{C_f U^2}{h K_\Phi} - (N_P + N_{pier}) \left[ \alpha_h U^2 + 2\Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_1} \right]. \quad (21)$$

$$0 = - \left( g + (N_p + N_{pier}) \Lambda \frac{U^2}{h} + N_{Ch} \langle \bar{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_2} - h \left[ (N_p + N_{pier}) \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right) + N_{Ch} \frac{\partial \langle \bar{S} \rangle}{\partial x_2} \right] - \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_2} \right) - (N_p + N_{pier}) \Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_2}. \quad (22)$$

Після перетворень рівняння переносу заплавного потоку з трав'яною рослинністю (21) та (22) для прогнозування розподілу глибин і швидкостей матимуть наступний вигляд:

$$\left[ \alpha_h + (N_p + N_{pier}) 2\Lambda \right] 2U \frac{\partial U}{\partial x_1} = - \left( g + (N_p + N_{pier}) \Lambda \frac{U^2}{h} + N_{Ch} \langle \bar{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_1} - h \left[ (N_p + N_{pier}) \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right) + N_{Ch} \frac{\partial \langle \bar{S} \rangle}{\partial x_1} \right] - \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_2} \right) - \left[ \frac{C_f}{h K_\Phi} + (N_p + N_{pier}) \alpha_h \right] U^2. \quad (23)$$

$$\left( g + (N_p + N_{pier}) \Lambda \frac{U^2}{h} + N_{Ch} \langle \bar{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_2} = - h \left[ (N_p + N_{pier}) \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right) + N_{Ch} \frac{\partial \langle \bar{S} \rangle}{\partial x_2} \right] - \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_2} \right) - (N_p + N_{pier}) \Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_2}. \quad (24)$$

На основі дискретних аналогів рівнянь із урахуванням сили опору при обтіканні мостових опор (23) — (24) отримаємо рівняння розподілу швидкості:

$$U_{pier\ i+1,j} = U_{i,j} - \frac{\Delta x_1}{\left[ \alpha_h + (N_p + N_{pier}) 2\Lambda \right] 2U_{i,j}} \left[ \left( g + (N_p + N_{pier}) \Lambda_{i,j} \frac{(U^2)_{i,j}}{h_{i,j}} + N_{Ch} \langle \bar{S} \rangle_{i,j} \right) \frac{h_{i+1,j} - h_{i,j}}{\Delta x_1} + h_{i,j} \left[ \frac{N_p + N_{pier}}{\Delta x_1} \left[ \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right)_{i+1,j} - \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right)_{i,j} \right] + N_{Ch} \frac{\langle \bar{S} \rangle_{i+1,j} - \langle \bar{S} \rangle_{i,j}}{\Delta x_1} \right] + \frac{1}{\Delta x_2^2} \left[ \Lambda_{i,j} (U^2)_{i,j+1} - (\Lambda_{i,j} + \Lambda_{i,j-1}) (U^2)_{i,j} + \Lambda_{i,j-1} (U^2)_{i,j-1} \right] + \left[ \frac{C_f}{h_{i,j} K_\Phi} + \alpha_h (N_p + N_{pier}) \right] (U^2)_{i,j} \right], \quad (25)$$

та рівняння розподілу глибини:

$$h_{i,j+1} = h_{i,j} - \frac{\Delta x_2}{g + (N_p + N_{pier}) \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right)_{i,j} + N_{Ch} \langle \bar{S} \rangle_{i,j}} \left[ h_{i,j} \left[ \frac{(N_p + N_{pier})}{\Delta x_2} \left[ \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right)_{i,j+1} - \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right)_{i,j} \right] + N_{Ch} \frac{\langle \bar{S} \rangle_{i,j+1} - \langle \bar{S} \rangle_{i,j}}{\Delta x_2} \right] - \frac{1}{2\Delta x_1 \Delta x_2} \left[ \Lambda_{i+1,j} \left( (U^2)_{i+1,j+1} - (U^2)_{i+1,j-1} \right) - \Lambda_{i,j} \left( (U^2)_{i,j+1} - (U^2)_{i,j-1} \right) \right] - (N_p + N_{pier}) \Lambda_{i,j} \frac{(U^2)_{i,j+1} - (U^2)_{i,j}}{\Delta x_2} \right]. \quad (26)$$

Для отримання однозначного розв'язку в роботі [5] наведені сформульовані початкові та

межові умови на заплavnих зонах річкового потоку. Основою для початкових межових умов є запропонований в роботі [11] підхід, що дозволяє в двовимірній постановці визначити параметри зони впливу мостового переходу. Метод визначення довжини зони впливу мостового переходу передбачає розрахунок таких параметрів, як питома витрата заправ, довжина впливу мостового переходу, довжина зон стиснення та розтікання. Ґрунтуючись на зміні властивостей центральної струмини визначається глибина та уклон вільної поверхні річкового потоку.

У числовій області задаються координати місцезположення мостових опор  $x_1, x_2$ , де всі величини приймаються  $\Phi_{i,j} = 0$ , відповідно задаються поперечні створи, в яких обчислення гідродинамічних характеристик проводитиметься за рівняннями переносу (25)—(26) з урахуванням сили опори при обтіканні мостових опор  $X_i$  ( $i = n$ ). По всім іншим створам обчислюють гідродинамічні параметри в межах розрахункової області заплavnих ділянок згідно методу, наведеному в роботі [5]. Цей метод передбачає визначення таких основних параметрів: витрата заплavnих потоків у зоні стиснення та розтікання, а також гідродинамічні показники, складові рівнянь (25)—(26).

У зазначених поперечних створах за формулою (4) визначають міделеву площу мостової опори, яка обтікається потоком та розраховують коефіцієнт, який враховує опір впливу мостових опор на заплavnий потік за (8). Далі проводиться перевірка умови нерозривності за рівнянням:

$$(U \cdot h)_{i,j} = \frac{(U \cdot h)_{i+1,j}}{\Delta x_1} \quad (27)$$

Перерахунок поздовжнього похилу водної поверхні заправи, згідно зі співвідношенням:

$$I_{x_1} = \frac{h_{i+1,j} - h_{i,j}}{\Delta x_1} \quad (28)$$

Більш детально перевірку умов нерозривності наведено у роботі [5]. На основі скінченно-різницевого методу визначають поздовжню швидкість в усталеному заплavnому потоці та розподіл глибини в поперечних перетинах на заправі потоку до виконання умови нерозривності. Матриця відміток поверхні рельєфу дна заправ по розрахунковим створам  $Z_{f-p}$  і матриця глибин заплavnого потоку  $h_{f-p}$  оновлюються після кожної сходинки паводка.

Для проведення розрахунку на ділянці річки в зоні впливу мостового переходу проводиться збір вихідних даних. У табл. 1 і табл. 2 наведені вихідні дані для р. Сіверський Донець на автомобільній дорозі Т-05-14 в межах Донецької області.

Таблиця 1

Вихідні дані розрахунку максимального розмиву

Ч. ч.	Назва параметра	Позначка	Вимірник	Примітки (у якому вигляді задається)
1	Поздовжній похил дна	$J$	—	0,000 18
2	Відмітки поверхні рельєфу дна заправ на розрахунковій області	$Z_{f-p}$	м	числова матриця
3	Ширина отвору мостового переходу	$B_{br}$	м	267
4	Зчеплення ґрунту у стані повного водонасичення	$C_{Ch}$	кг/м <sup>2</sup>	0,19
5	Коефіцієнт для визначення сили зчеплення	$k_{Ch}$	—	0,035

Кінець таблиці 1

Ч. ч.	Назва параметра	Позначка	Вимірник	Примітки (у якому вигляді задається)
6	Коефіцієнт опору рослинності	$C_x$	–	0,4
7	Висота рослинності	$h_{росл.}$	м	1,5
8	Кут підходу потоку до мостової споруди	$\alpha_{pier}$	град.	26°
9	Коефіцієнт форми мостової опори	$K_f$		визначається за [8]
10	Коефіцієнт опору при обтіканні опори	$C_{pier}$		1,2
11	Ширина опори в поперечному напрямку	$B_{pier}$	м	задається навколо опори, як параметр розрахункової області впливу опори
12	Ширина опори в поздовжньому напрямку	$L_{pier}$	м	задається навколо опори, як параметр розрахункової області впливу опори
13	Висота опори, яка обтікається потоком	$\Delta x_{pier}$	м	$\Delta x_{pier} \approx h_{ij}$
14	Довжина опори	$l_{pier}$	м	при косому набіганні потоку $l_{pier} = l_{0pier} \cos \alpha_{pier}$
15	Ширина опори	$b_{pier}$	м	при нормальному набіганні потоку $b_{pier} = b_{0pier}$ ; при косому набіганні потоку $b_{pier} = l_{0pier} \sin \alpha_{pier} + b_{0pier} \cos \alpha_{pier}$

Таблиця 2

Вихідні параметри розрахункової області

Доба	1,2	4	8,4	13,6	18,8	24,6
Загальна витрата річки $Q_{riv}, \text{м}^3$	448	506	864	1 193	1 658	1 992
Руслова витрата $Q_r, \text{м}^3$	207,65	215,00	293,32	368,08	465,03	534,73
Рівень поверхні річки, $H, \text{м}$	147,24	147,5	147,98	148,27	148,62	148,83
Глибина русла, $h_r, \text{м}$	3,54	3,80	4,28	4,57	4,92	5,13
Глибина заплави $h_{f-p}, \text{м}$	0,60	0,86	1,34	1,63	1,98	2,19

За розподілом у першому наближенні глибин та зміною похилу вільної поверхні за методом [11] для р. Сіверський Донець розраховані початкові умови (табл. 3), що дають можливість отримати параметри зони впливу мостового переходу.

Таблиця 3

Параметри зони впливу мостового переходу

Показники	Доба					
	1,2	4	8,4	13,6	18,8	24,6
Природна питома витрата заплав $q_{f-p}$ , м	0,589	0,713	1,398	2,021	2,923	3,57
Довжина впливу мосто-вого переходу $l_{z-br}$ , м	1 194,8	1 349,2	1 673,6	1 842,2	2 035,0	2 144,3
Довжина зони стиснення $l_{z-c}$ , м	245,7	239,5	464,4	713,7	1 090,3	1 382,0
Довжина зони розтікання $l_{z-s}$ , м	949,1	1 109,8	1 209,3	1 128,6	944,7	762,3

За запропонованим методом та з урахуванням межових умов [5] були визначені гідродинамічні показники заплавних ділянок р. Сіверський Донець, в тому числі поздовжня швидкість  $U_{ij}$  з урахуванням сили опору від обтікання мостових опор (рис. 1 та рис. 2) та відмітки донної області після проходження паводку (табл. 2) за розрахунковими сходишками (рис. 3 та рис. 4).

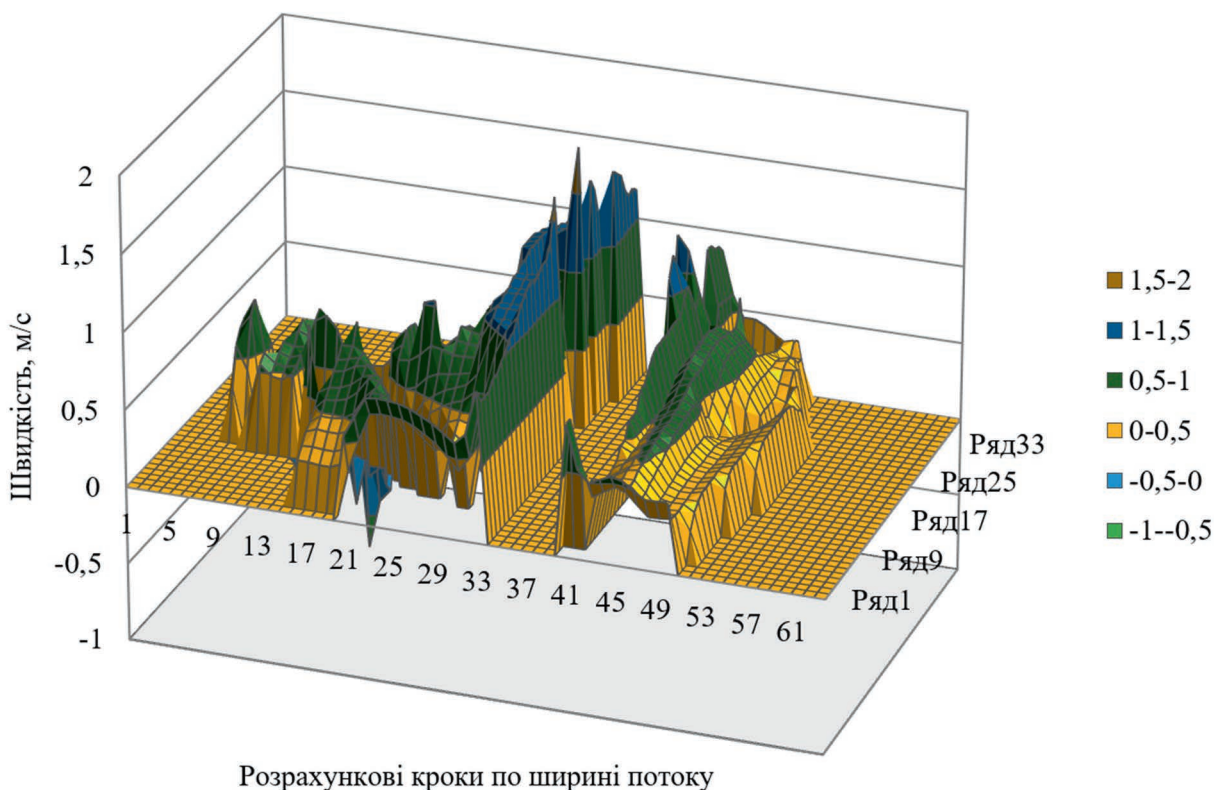
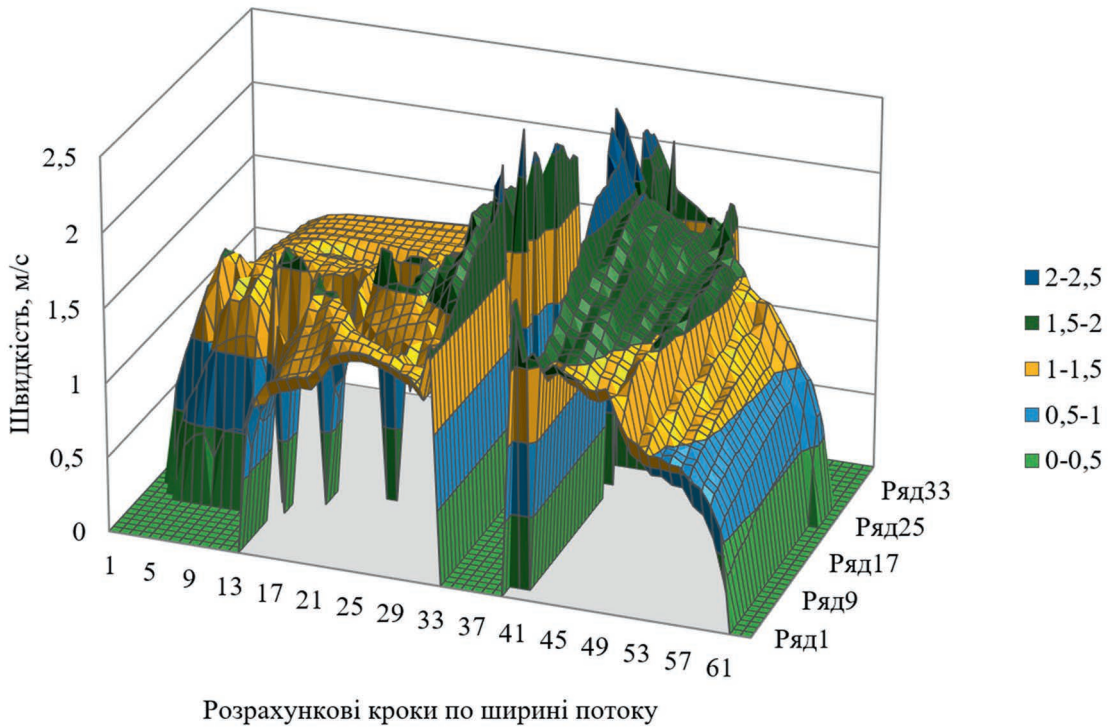
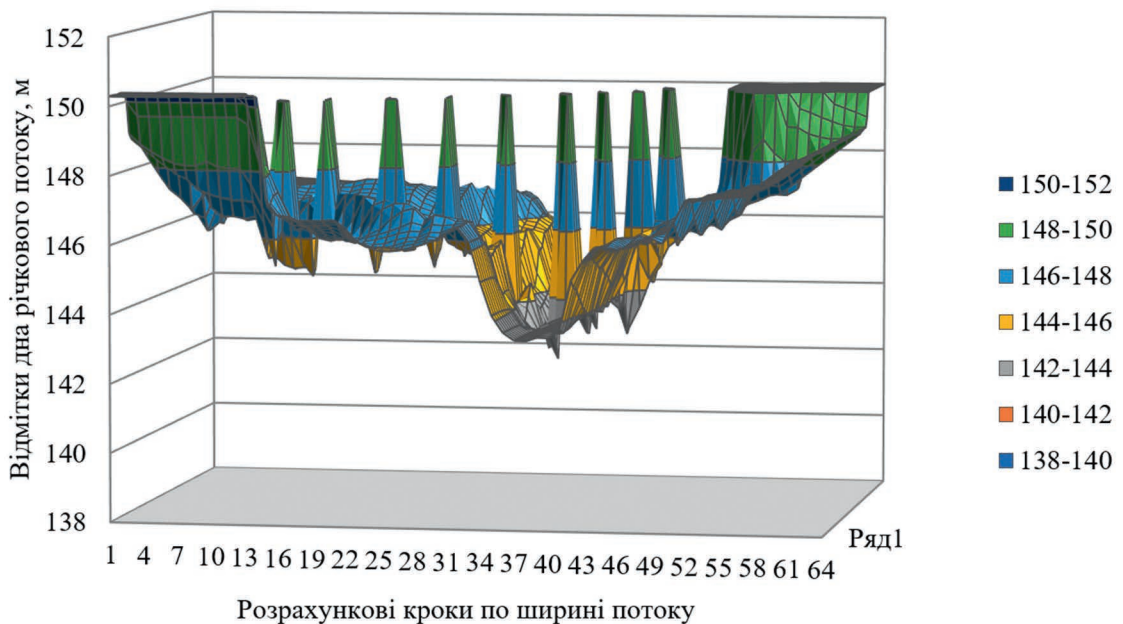


Рисунок 1 — Розрахунок поздовжньої швидкості  $U_{ij}$  на заплавах з урахуванням сили опору від мостових опор після 1-ої сходишки розрахункового паводку

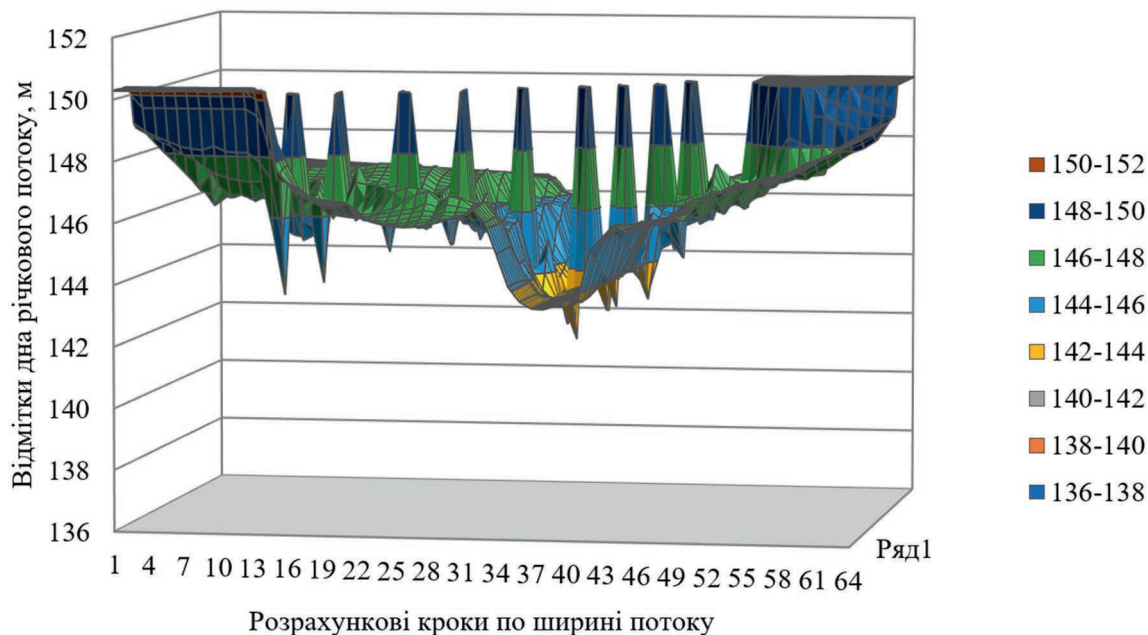




**Рисунок 2** — Розрахунок поздовжньої швидкості  $U_{ij}$  на заплавах з урахуванням сили опору від мостових опор після 6-ї сходинки розрахункового паводку



**Рисунок 3** — Відмітки поверхні рельєфу dna заплавах з урахуванням опору від впливу мостових опор після 1-ї сходинки розрахункового паводку



**Рисунок 4** — Відмітки поверхні рельєфу дна заплав з урахуванням опору від впливу мостових опор після 6-ої сходинки розрахункового паводку

Запредставленими результатами числового експерименту отримані параметри максимальних розмивів на заплавних ділянках, що дозволить визначити глибину закладання мостових опор. Максимальна поздовжня швидкість  $U_{ij}$  після 6 сходинки повені (на початку її спаду) змінюється в межах від 2,45 м/с до 2,32 м/с, відповідно на меншій та більшій заплавах. Різниця відміток дна заплав після 6 сходинки та перед початком 1-ї змінюється від 0,19 м до 1,91 м на меншій заплаві та від 0,035 м до 2,75 м — на більшій заплаві. При обтіканні потоком мостової опори особливо на заплавних ділянках з намулками та з рослинністю створюються специфічні умови переносу гідродинамічних характеристик потоку. Запропонована двовимірною математичною моделлю заплавного потоку для прогнозування розподілу максимальних глибин та швидкостей на заплаві дозволяє враховувати ці умови. Згідно з розрахунками проведеними у попередній роботі [5] розмив більшої заплави становить  $h_p = 0,96$  м, меншої заплави —  $h_p = 1,28$  м. Величина максимального розмиву, з урахуванням впливу опору мостових опор, на більшій заплаві складає  $h_p = 2,75$  м, на меншій заплаві —  $h_p = 1,91$  м. На меншій заплаві розмив перевищує попередні результати у 1,5 рази, на більшій заплаві — у 2,8 раз, що обумовлено врахуванням як і впливу опору при обтіканні мостових опор, так і ефекту стиснення між опорами та насипами підходів в створі мостового переходу.

### Висновки

1. У створі мостового переходу на заплавних ділянках додатково на опір при обтіканні потоком рослинності накладається опір при обтіканні мостових опор, що, у свою чергу впливає, на швидкісну структуру потоку та на розмивні процеси.

2. Запропонована двовимірною математичною моделлю дозволяє визначити розподіл середніх швидкостей та глибин з дотриманням узгодженості з полем тиску та з урахуванням особливостей досліджуваної області з опорами на заплавних ділянках у створі мостового переходу. Реалізація двовимірною математичною моделлю заплавного потоку з урахуванням опору при обтіканні мостових

опор дозволить встановити величину максимального розмиву, що є відправним показником при призначенні глибини закладання основ опор мосту.

3. За результатами числового розрахунку на ділянці р. Сіверський Донець визначено, що в створі мостового переходу на меншій заплаві максимальне значення поздовжньої швидкості перевищує відповідний показник на більшій заплаві на 5 %, що пояснюється її меншою пропускною здатністю. Перевищення величини максимального розмиву на більшій заплаві порівняно з розмивом на меншій на 30 % обумовлено врахуванням впливу опору при обтіканні мостових опор та ступенем стиснення потоку між ними.

## Список літератури

1. Kouchakzadeh S; Townsend R. D. Maximum scour depth at bridge abutments terminating in the floodplain zone. *Canadian Journal of Civil Engineering; Ottawa*. 1997. Vol. 24, Iss. 6, P. 996-1006. URL: <https://search.proquest.com/openview/646836c370590887cdcef54739666592/1?pq-origsite=gscholar&cbl=47617> (дата звернення: 17.08.2020).
2. Reinaldo Morales, Robert Ettema, M. ASCE Insights from Depth-Averaged Numerical Simulation of Flow at Bridge Abutments in Compound Channels. *Journal of Hydraulic Engineering*. 2013. Volume 139 Issue 5. URL: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000693](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000693) (дата звернення: 17.08.2020).
3. Cardoso A.H., Bettess R. Effects of Time and Channel Geometry on Scour at Bridge Abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*. 1999. Volume 125 Issue 4. [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1999\)125:4\(388\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)125:4(388)) (дата звернення: 17.08.2020).
4. МР 218-02070915-231-3-2003 Методика розрахунку розмивів дна та берегів перед гірських ділянок річок та місцевих розмивів біля річкових гідротехнічних споруд. Київ, 2003. 45 с. (Інформація та документація).
5. Славінська О. С., Цинка А. О. Удосконалений метод розрахунку деформацій на заплавах в зоні впливу мостового переходу. *Web of Scholar*. 2020. Vol. 5 (47), 12-22. DOI: doi.org/10.31435/rsglobal\_wos/31052020/7089 (дата звернення: 17.08.2020).
6. Славінська О.С. Метод прогнозування загальних і місцевих деформацій підмостових русел з урахуванням процесів у придонній області. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2011. Вип. 81. С. 155-161.
7. Журавлев М.М. Местный размыв у опор моста. Москва, 1984. 111 с.
8. Мирцхулава Ц. Е. Размыв русел и методика оценки их устойчивости. Москва, 1967. 179 с.
9. Гаев Е.А., Никитин И.К. Гидродинамика потока при наличии легко проницаемой шероховатости. Ламинарный режим. *Гидромеханика*. 1982. Вып. 45. С. 65-73.
10. Савенко В.Я. Математические модели и методы расчета квазитрехмерных безнапорных потоков. Киев, 1995. 184 с.
11. Ткачук С.Г. Прогнозування руслових деформацій на мостових переходах. Частина 3 і 4 : навч. посіб. Київ, 2004. 98 с.

## References

1. Kouchakzadeh S; Townsend R. D. Maximum scour depth at bridge abutments terminating in the floodplain zone. *Canadian Journal of Civil Engineering; Ottawa*. 1997. Vol. 24, Iss. 6, P. 996-1006. URL: <https://search.proquest.com/openview/646836c370590887cdcef54739666592/1?pq-origsite=gscholar&cbl=47617> (Last accessed: 17.08.2020) [in English].
2. Reinaldo Morales, Robert Ettema, M. ASCE Insights from Depth-Averaged Numerical

Simulation of Flow at Bridge Abutments in Compound Channels. *Journal of Hydraulic Engineering*. 2013. Volume 139 Issue 5. URL: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000693](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000693) (Last accessed: 17.08.2020) [in English].

3. Cardoso A.H., Bettess R. Effects of Time and Channel Geometry on Scour at Bridge Abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*. 1999. Volume 125 Issue 4. URL: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1999\)125:4\(388\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)125:4(388)) (Last accessed: 17.08.2020) [in English].

4. MR 218-02070915-231-3-2003 Metodyka rozrakhunku rozmyviv dna ta berehiv pered hirs'kykh dilyanak richok ta mistsevykh rozmyviv bilya richkovykh hidrotekhnichnykh sporud (Method of calculating erosion of the bottom and banks in front of mountain sections of rivers and local erosion near river hydraulic structures). Kyiv, 2003. 45 p. [in Ukrainian].

5. Slavinska O. S., Tsynka A. O. Udoshkalenyi metod rozrakhunku deformatsiy na zaplavakh v zoni vplyvu mostovoho perekhodu (Advanced Method of Calculation of Deformations on Floats in the Zone of Influence of the Bridge Crossing). *Web of Scholar*. 2020. Vol. 5 (47). 12-22. DOI: [doi.org/10.31435/rsglobal\\_wos/31052020/7089](https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/31052020/7089) (Last accessed: 17.08.2020) [in Ukrainian].

6. Slavinska O. S. Metod prohnozuvannya zahal'nykh i mistsevykh deformatsiy pidmostovykh rusel z urakhuvanniam protsesiv u prydonnoyi oblasti (Method for forecasting general and local deformations of sub-bridge channels taking into account processes in the bottom region). *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. Kyiv, 2011. Iss. 81. P. 155-161 [in Ukrainian].

7. Zhuravlev M.M. Mestnyy razmyv u opor mosta (Local erosion at the bridge pillars). Moscow, 1984. 111 p. [in Russian].

8. Mirskhulava TS. Ye. Razmyv rusel i metodika otsenki ikh ustoychivosti (Erosion of channels and methods for assessing their stability). Moscow, 1967. 179 p. [in Russian].

9. Gayev Ye.A., Nikitin I.K. Gidrodinamika potoka pri nalichii legkopronitsayemoy sherokhovatosti. Laminarnyy rezhim (Flow hydrodynamics in the presence of easily permeable roughness. Laminar mode). *Gidromekhanika*. 1982. V. 45. P. 65-73. [in Russian].

10. Savenko V.Ya. Matematicheskiye modeli i metody rascheta kvazitrekhnernykh beznapornykh potokov (Mathematical models and methods for calculating quasi-three-dimensional gravity flows). Kyiv, 1995. 184 p. [in Russian].

11. Tkachuk S.H. Prohnozuvannya ruslovykh deformatsiy na mostovykh perekhodakh. Chastyny 3 i 4 (Prediction of channel deformations at bridge crossings. Parts 3 and 4) : manual. Kyiv, 2004. 98 p. [in Ukrainian].

---

Olena Slavinska<sup>1</sup>, D.Sc., Prof., <http://orcid.org/0000-0002-9709-0078>

Anatolii Tsynka<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-0357-2325>

<sup>1</sup> National Transport University, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

### **PREDICTING DEFORMATIONS ON THE FLOODPLAIN WITH CONSIDERING RESISTANCE AT FLOWING OF THE BRIDGE SUPPORTS**

#### **Abstract**

**Introduction.** Eroded processes on the plains are substantially different from riverbed deformations, due not only to their geological structure but also to the presence of vegetation. A large number of experimental and numerical studies on the distribution of the high-speed structure and depth have been carried out in order to predict the blurred processes on the flood plains in the area affected by bridge crossings. The question remains as to how many features of flood plains in the area of the bridge opening should be taken into account.

Problems. In the design of bridge crossings, the most interesting value is the maximum deformation that can occur while the operation of a bridge during a design flood or flood. Accordingly, in calculating the deformations not only in the bed but also in the floodplain in the area of the opening of the bridge, it is important to establish the maximum depths, which reasonably determine the required depth of laying the foundations of the bridge supports.

The aim of the work. Forecasting of maximum swells in flood plains, taking into account the force of resistance at the fairing of bridge supports.

Materials and methods. This paper is based on the theory of mechanics of a continuous environment, heterogeneous flows and the theory of shallow water, mathematical modeling methods, numerical modeling methods.

The calculation in the zone of influence of bridge supports is carried out according to the equation of the transfer of the speed of floodplain flow with grass vegetation, taking into account the force of the resistance during the flow of bridge supports. The numerical implementation of the proposed mathematical models on iterative methods for calculating the hydrodynamic characteristics of floodplains with vegetation has necessitated the formulation of initial and boundary conditions to take into account the characteristic features of flood fluxes in the zone impact of bridge crossings.

Results. A two-dimensional mathematical model has been developed that makes it possible to take into account the features of the flood plains concerning the distribution of vegetation, the winding and the resistance when the bridge supports are rounded.

According to the proposed method, the hydrodynamic indicators of the flood plains of Severskiy Donets on the T-05-14 road in the Donetsk region were determined, including the longitudinal velocity, taking into account the resistance force of the fairing of the bridge supports and the marking of the bottom region after the passage of the flood down the design staircase. The maximum longitudinal velocity at the beginning of the dip varies between 2.45 m / from 2.32 m / s, respectively, on smaller and larger plains. The depth of the bottom erosion varies from 0.19 m to 1.91 m in the lower floodplain and from 0.035 m to 2.75 m in the greater floodplain.

Conclusions. The proposed two-dimensional mathematical model of the floodplain flow makes it possible to determine the distribution of average velocities and depths in accordance with the consistency with the pressure field and taking into account the characteristics of the area under investigation with supports on the floodplain sections in the bridge bridge bridge tail. On the basis of the results of its numerical implementation in the section of r. Severskiy Donets, the value of the maximum dilution has been established, which is the starting point for the determination of the depth of laying the foundations of the bridge supports. The maximum melting depth at the higher floodplain is 2.75 m, and at the lower plain is 1.91 m, which is due to the effect of the drag on the fairing of bridge supports and the compression of the flow between them.

**Keywords:** floodplain, flood stream, bridge, bridge crossing, bridge support, bridge hole, blurring, resistance force.

УДК 625.7

Нагребельна Л. П., <https://orsid.org/0000-0002-5615-9075>

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

## **ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ УТВОРЕННЯ ЗАТОРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ТА ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ**

### **Анотація**

**Вступ.** Обґрунтовано доцільність застосування основної діаграми транспортного потоку, як основи транспортного моделювання та визначено послідовність розрахунків параметрів потоку для побудови діаграми у вигляді залежностей транспортного потоку.

**Проблематика.** Описано дослідження відомих фахівців у галузі математичного моделювання дорожнього руху, які продовжують інтенсивно працювати в цьому напрямку. Доведено, що проблема предзаторового і заторового режимів руху ще до кінця не вивчена і є основною при управлінні дорожнім рухом у великих містах [1, 2].

Вибір типу технології управління залежить від постановки завдання і цілі управління дорожнім рухом. Проведений аналіз математичного забезпечення відомих у світі систем управління [3], показав, що воно засноване на реалізації макро та мікро моделей взаємозалежності основних параметрів транспортного потоку та параметрів руху окремих транспортних засобів.

Основу моделювання транспортного потоку становлять макро і мікромоделі: перші макроскопічні моделі (гідродинамічні), в яких транспортний потік розглядається подібним потоку стисливої рідини (М. Лайтхілл і Дж. Уїзем, П. Річардс (LWR)) [4] і перші мікроскопічні моделі (слідування за лідером), які описують рух кожного автомобіля (А. Решель, Л. Пайнс) [5].

**Мета.** Підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст за рахунок визначення балансу між параметрами дорожнього руху. Визначення місць утворення заторів за допомогою гідродинамічної моделі та залежностей транспортного потоку.

**Матеріали та методи.** Наведено основні залежності транспортного потоку із урахуванням кількості смуг руху. За методом гідродинамічної моделі розраховано і визначено місця де можуть утворитися заторові стани. Графічно показано основні залежності транспортного потоку. Методом порівняння й ототожнення показано як буде змінюватися щільність, інтенсивність, швидкість залежно від зміни кількості смуг руху.

Методом гідродинамічної моделі розраховано та визначено місця, де може утворитися затор. Графічно показано основні залежності транспортного потоку, як буде змінюватися щільність, інтенсивність, швидкість залежно від зміни кількості смуг руху.

**Результати.** Інтенсивність змінюється залежно від швидкості руху. Чим більша швидкість руху, тим менша інтенсивність. Із залежності «Інтенсивність — щільність» видно, що чим більша інтенсивність тим менша щільність потоку. Із залежності «Щільність — довжина черги» випливає, що чим більша щільність потоку, тим більшою буде довжина черги.

**Висновки.** Оскільки затор виникає у тому випадку, коли в транспортній мережі з'являються перегони «вузькі місця», тому, управління у вимушеному режимі руху, у першу чергу, має бути спрямоване на створення таких умов руху, при яких задовольняються обмеження для усіх перегонів вулично-дорожньої мережі.

Затор, сконцентрований у межах малої зони, чинить вплив на інші транспортні потоки і у випадку, якщо інтенсивність руху перевищує пропускну спроможність, затор поширюється на великі відстані. Щоб уникнути подібної ситуації, необхідно розосереджувати затори з метою зменшення впливу на інші транспортні потоки.

**Ключові слова:** гідродинамічна модель, затор, моделювання, пропускна здатність, транспортний потік.

### Вступ

Досить тривалий час проблема автомобільного руху є головною для великих міст нашої країни. Транспортні затори на дорогах стають причиною не тільки часових, а й економічних і народногосподарських витрат. Тому питання управління дорожнім рухом (ДР) стає досить актуальним у дійсний час. Вирішенню цієї проблеми сприяє розвиток систем управління дорожнім рухом, що впливає на комунікаційну функцію сталого розвитку міста. Дорожній рух розглядаємо як сукупність транспортного потоку (ТП), пішохідного потоку (ПП) та вулично-дорожньої мережі (ВДМ).

Ефективне управління ДР у таких складних умовах повинно забезпечувати завантаження ВДМ із урахуванням її пропускної спроможності на підставі організації рівномірного руху ТП, тоді, як саме при цьому режимі руху соціальні, екологічні та економічні критерії ефективності мають оптимальне значення.

Незважаючи на те, що розрахункова величина пропускної спроможності вулиць і доріг є нормативним параметром, при проектуванні ВДМ у процесі ДР вона стає величиною змінною і залежить від кліматичних умов, ремонтних робіт та від інших надзвичайних ситуацій (наприклад, ДТП), також як і нерівномірність інтенсивності ТП. На підставі цього, мета управління і завдання збільшення пропускної здатності зводиться до забезпечення балансу між реальною пропускною спроможністю ВДМ та інтенсивністю ТП.

На сьогоднішній день складності формалізації процесу руху транспортного потоку стали серйозною причиною відставання результатів наукового дослідження від вимог практики.

Тому, головною задачею математичного моделювання є визначення та прогнозування усіх параметрів функціонування вулично-дорожньої мережі. Сюди відноситься інтенсивність руху, швидкість, затримки та втрати часу. Існуючі математичні моделі дуже різноманітні за математичним апаратом, вирішенням задач, за ступенем деталізації опису руху.

Для управління ДР на транспортній мережі міст в усьому світі використовуються системи управління, алгоритми функціонування яких засновані на моделях транспортних потоків. При цьому вимоги до точності й адекватності моделей досить високі. Транспортне моделювання дозволяє вирішувати завдання проектування нових і модернізації існуючих систем управління і схем організації дорожнього руху, а також усувати надзвичайні ситуації на ВДМ.

Вибір типу технології управління залежить від постановки завдання і цілі управління ДР. Проведений аналіз математичного забезпечення відомих у світі систем управління [3] показав, що воно засноване на реалізації макро- та мікромоделей взаємозалежності основних параметрів ТП та параметрів руху окремих транспортних засобів.

На даний момент часу накопичилася величезна кількість матеріалів, присвячених транспортній проблемі, які реферуються в таких відомих наукових журналах як: «Transportation Research», «Physical Review E», «Review of modern physics», «Transportation Science».

Незважаючи на те, що понад півстоліття провідні відомі фахівці в галузі математичного моделювання ДР інтенсивно працюють у цьому напрямку, проблема предзаторового і заторового режимів руху ще до кінця не вивчена [6] і є основною при управлінні ДР у великих містах.

Основу моделювання ТП становлять макро- та мікромоделі: перші макроскопічні моделі (гідродинамічні), в яких транспортний потік розглядають подібним потоку стисливої рідини (М. Лайтхілл і Дж. Візем, П. Річардс (LWR)) [4] і перші мікроскопічні моделі (слідування за лідером), які описують рух кожного автомобіля (А. Решель, Л. Пайнс) [5]. У моделі наводиться опис функціональної залежності (рівняння стану) між інтенсивністю потоку ( $N$ ), швидкістю ( $v$ ) та щільністю ( $q$ ).

Цю залежність називають основною діаграмою транспортного потоку, так як вона дозволяє не тільки визначати параметри ТП, а й межі переходу ТП з одного стану в інший (вільний-синхронізований-стислий), що дозволило обґрунтувати та визначити рівні завантаження ВДМ [7]: вільний рух (автомобілі рухаються у вільних умовах, взаємодія між автомобілями відсутня); частково зв'язаний рух (автомобілі рухаються групами, виникає багато обгонів); зв'язаний рух (у потоці ще існують великі інтервали між автомобілями, обгони ускладнені); насичений рух (суцільний потік автомобілів, що рухається з малими швидкостями); щільний рух, насичений (потік рухається з зупинками, виникають затори).

### Основна частина

Затор виникає за умови, коли інтенсивність близька до пропускної здатності, коли автомобільна дорога з якихось причин не справляється зі своєю функцією.

За методом гідродинамічної моделі розрахуємо та визначимо місця, де може утворитися затор. Графічно покажемо основні залежності транспортного потоку, як буде змінюватися щільність, інтенсивність, швидкість залежно від зміни кількості смуг руху.

Максимальна інтенсивність смуги руху при швидкості  $v$  знаходиться:

$$Nv = \frac{1000v}{(d_{\min} + L)E^{v/v_0}}, \quad (1)$$

де  $d_{\min}$  — мінімальна дистанція в заторовій ситуації, м ( $d_{\min} = 1$  м);

$E = 2,718$ ;

$L$  — середня довжина автомобіля в транспортному потоці, яку обчислюють за формулою:

$$L = \frac{4,2a + 7,0b + 10,5c + 12,0d}{100}. \quad (2)$$

$$L = \frac{4,2 \cdot 30 + 7,0 \cdot 55 + 10,5 \cdot 5 + 12,0 \cdot 10}{100} = 6,84.$$

$$Nv = \frac{1000 \cdot 40}{(1 + 6,84)2,718^{40/25}} = 1030 \text{ авт/год при } v = 40 \text{ км/год.}$$

Максимальну інтенсивність для двох та для трьох смуг руху при швидкості  $v$  обчислюють відповідно за формулами (3) та (4):

– для двох смуг:

$$Nv = \frac{2000v}{(d_{\min} + L)E^{v/v_0}}, \quad (3)$$

– для трьох смуг:

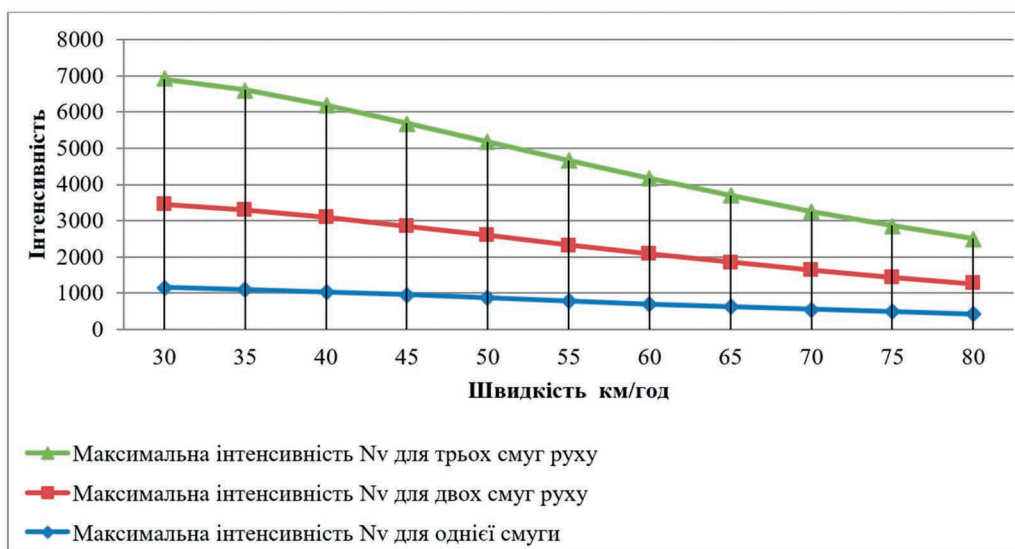
$$Nv = \frac{3000v}{(d_{\min} + L)E^{v/v_0}}. \quad (4)$$

Інтенсивність змінюється залежно від швидкості руху. Чим більша швидкість руху, тим менша інтенсивність. Це пояснюється залежністю «Інтенсивність – швидкість». Результати розрахунку для однієї смуги руху для двох та для трьох смуг руху показано на рис. 1.

З розрахунку видно, що інтенсивність залежить від швидкості. Чим більша швидкість, тим менша інтенсивність. А значить, при утворенні затору, черга збільшується за рахунок інтенсивності. Чим більша інтенсивність, тим більша довжина черги. Якщо процес надходження автомобілів



рівномірний, то черга буде меншою, ніж тоді коли транспортний потік буде рухатися по типу «ударна хвиля».



**Рисунок 1** — Залежність «Інтенсивність – швидкість»

Для визначення довжини черги, слід визначити щільність транспортного потоку. З рівняння стану транспортного потоку, знайдемо щільність:

$$N = g \cdot v, \tag{5}$$

$$g = \frac{N}{v}, \tag{6}$$

де  $N$  — інтенсивність руху, авт./год;  
 $g$  — щільність руху, авт./км;  
 $v$  — швидкість руху, км/год.

Розрахунки щільності транспортного потоку зведено у табл. 1 та зображено на рис. 2, рис. 3 та рис. 4.

**Таблиця 1**

**Залежність «Щільність – інтенсивність»**

Швидкість, км/год	для однієї смуги		для двох смуг руху		для трьох смуг руху	
	Максимальна інтенсивність Nv	Щільність потоку g, авт./км	Максимальна інтенсивність Nv	Щільність потоку g, авт./км	Максимальна інтенсивність Nv	Щільність потоку g, авт./км
1	2	3	4	5	6	7
30	1 153	38	2 305	77	3 458	115
35	1 101	31	2 202	63	3 303	94
40	1 030	26	2 061	52	3 091	77

Кінець таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7
45	949	21	1 898	42	2 847	63
50	863	17	1 727	35	2 590	52
55	777	14	1 555	28	2 332	42
60	694	12	1 389	23	2 083	35
65	616	9	1 232	19	1 848	28
70	543	8	1 086	16	1 629	23
75	476	6	953	13	1 429	19
80	416	5	832	10	1 248	16

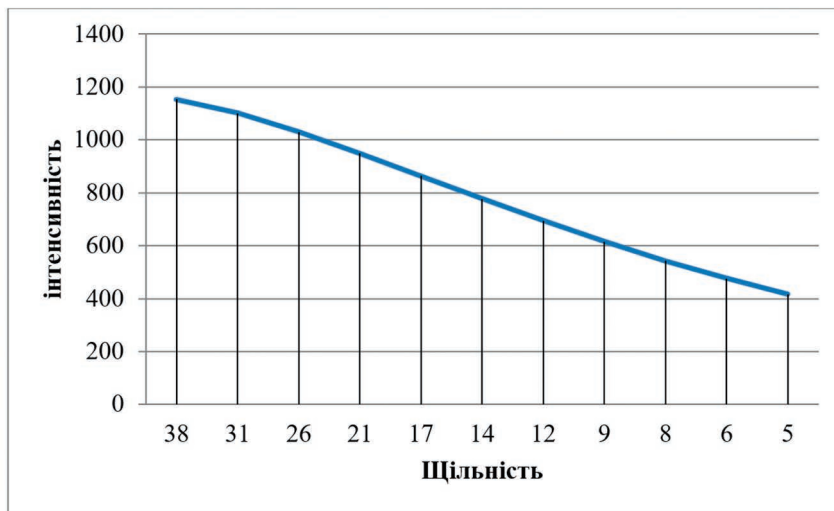


Рисунок 2 — Залежність «Інтенсивність – щільність» для однієї смуги руху

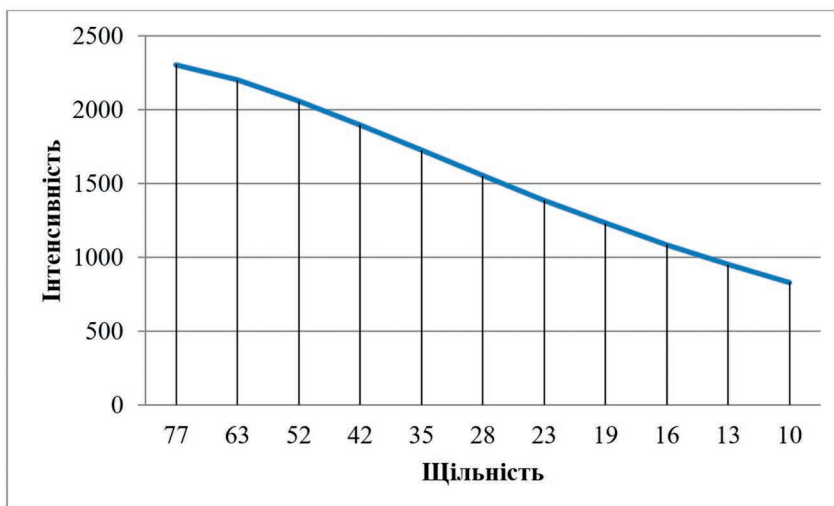


Рисунок 3 — Залежність «Інтенсивність – щільність» для двох смуг руху

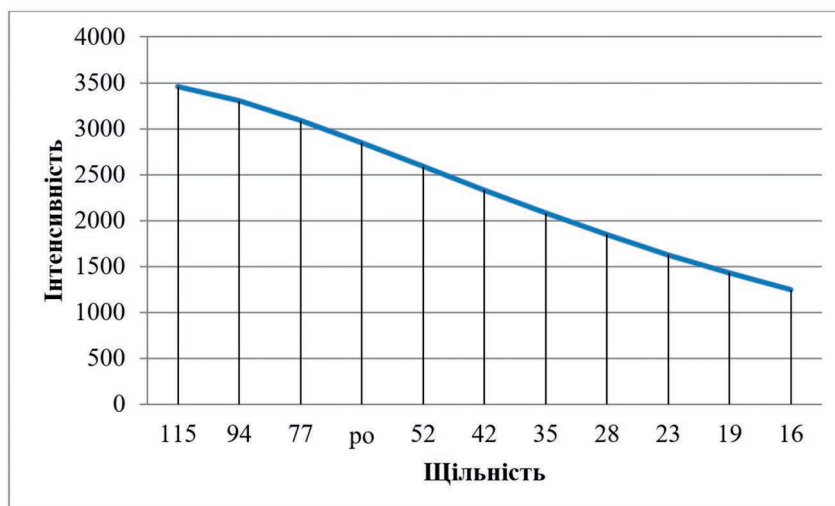


Рисунок 4 — Залежність «Інтенсивність – щільність» для трьох смуг руху

Із залежності «Інтенсивність – щільність» видно, що чим більша інтенсивність тим менша щільність потоку.

Оскільки щільність потоку визначили, можна визначити довжину черги. Довжину черги визначимо за формулою (7):

$$L_{\text{черги}} = \frac{(l_c + d_{\text{min}}) \cdot g}{1}, \quad (7)$$

де  $l_c$  — середня довжина автомобіля;  
 $d_{\text{min}}$  — мінімальна дистанція між автомобілями.

Розрахунок зведено у табл. 3 та показано на рис. 5, рис. 6 та рис. 7

Таблиця 2

Розрахунок довжини черги для однієї, двох, трьох смуг руху

Дистанція між автомобілями $d_{\text{min}}$	Середня довжина автомобіля $L$	Швидкість $v$	для однієї смуги		для двох смуг		для трьох смуг	
			Щільність потоку $g$ , авт./км	Довжина черги	Щільність потоку $g$ , авт./км	Довжина черги	Щільність потоку $g$ , авт./км	Довжина черги
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	6,84	30	38	301	77	602	115	904
1	6,84	35	31	247	63	493	94	740
1	6,84	40	26	202	52	404	77	606
1	6,84	45	21	165	42	331	63	496
1	6,84	50	17	135	35	271	52	406
1	6,84	55	14	111	28	222	42	332
1	6,84	60	12	91	23	181	35	272
1	6,84	65	9	74	19	149	28	223

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	6,84	70	8	61	16	122	23	182
1	6,84	75	6	50	13	100	19	149
1	6,84	80	5	41	10	82	16	122

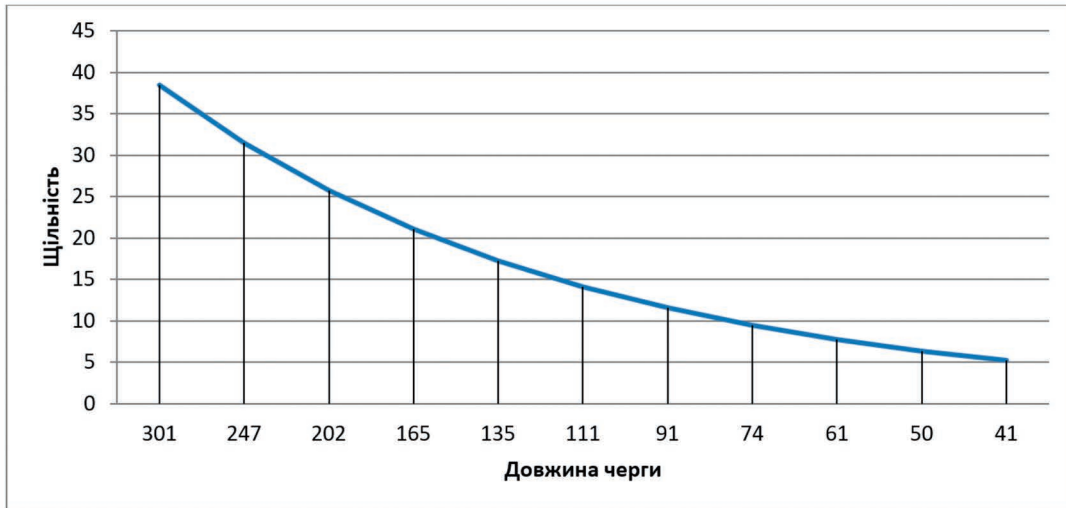


Рисунок 5 — Довжина черги для однієї смуги руху

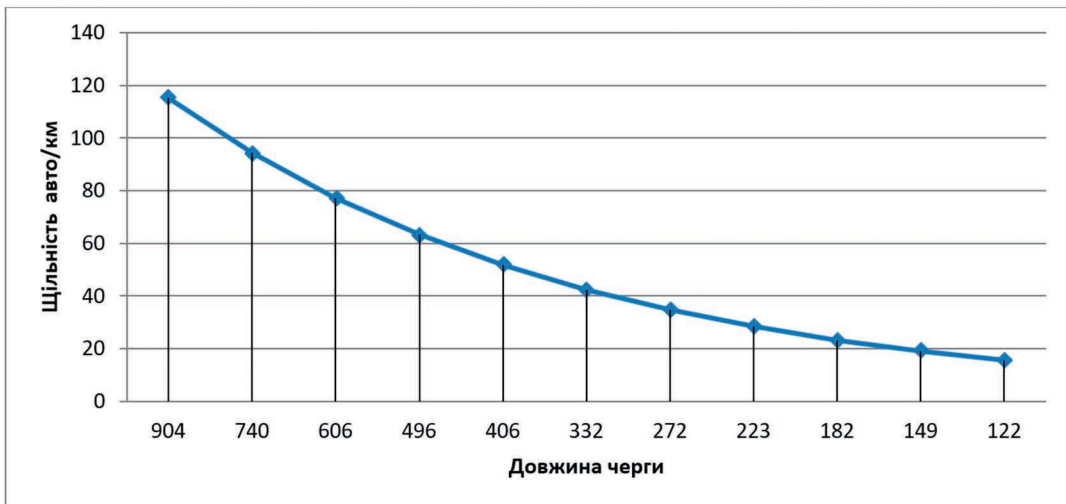


Рисунок 6 — Довжина черги для двох смуг руху

Отже, чим більша щільність потоку, тим більшою буде довжина черги. Якщо вулично-дорожня мережа має три смуги руху з максимальною інтенсивністю 3 458 авт./год, то при зменшенні швидкості руху, утвориться затор і довжина черги буде сягати майже 1 км. Такі затори будуть створюватися при закритті смуги руху, утворення так званого « вузького місця», це змусить водіїв зменшувати швидкість руху. Тому потрібно визначити такі «вузькі місця» для розроблення заходів для швидкої ліквідації заторів.

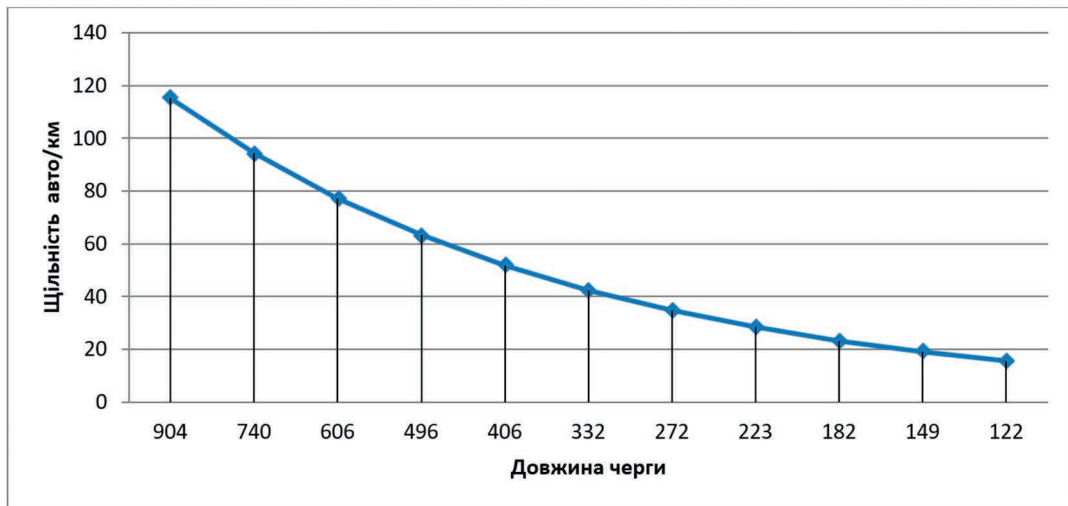


Рисунок 7 — Довжина черги для трьох смуг руху

Як відомо, рівень завантаженості окремої ділянки вулично-дорожньої мережі автотранспортними засобами визначається відношенням інтенсивності руху на ділянці до пропускної здатності проїзної частини відповідної ділянки. За різних рівнів завантаженості, забезпечуються різні рівні зручності та безпеки дорожнього руху.

Пропускную здатність однієї смуги руху обчислюють за формулою:

$$P = \frac{1\,000v_0}{(d_{\min} + L)E} \tag{8}$$

Для двох смуг руху:

$$P = \frac{2\,000v_0}{(d_{\min} + L)E} \tag{9}$$

Для трьох смуг руху:

$$P = \frac{3\,000v_0}{(d_{\min} + L)E} \tag{10}$$

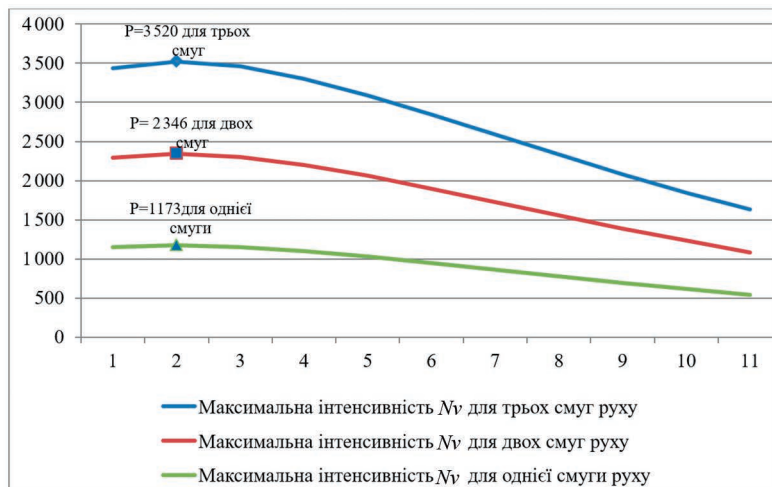


Рисунок 8 — Пропускна здатність для однієї, двох, трьох смуг руху

Для розрахунку довжини черги, щільності транспортного потоку використано метод гідродинамічної моделі. Результат графічно показано на основній діаграмі транспортного потоку для різної кількості смуг руху.

### Висновок

Транспортні потоки характеризуються: інтенсивністю, складом, швидкістю, інтервалами між автомобілями, щільністю потоку. Внаслідок взаємодії автомобілів у потоці всі ці характеристики функціонально зв'язані одна з одною.

Розроблення та впровадження заходів, пов'язаних із удосконаленням управління дорожнім рухом повинні бути спрямовані, у першу чергу, на підвищення пропускної здатності головних транспортних артерій міста — магістральної вулично-дорожньої мережі з найбільш інтенсивним рухом і завантаженістю.

Разом з тим, слід зазначити, що одним із важливих аспектів задачі з удосконалення управління дорожнім рухом є її розгляд із позиції забезпечення гнучкості щодо врахування станів потоків та їх можливих змін на ділянках вулично-дорожньої мережі, і лише потім, з огляду на це, необхідно орієнтуватися на доцільності впровадження тих чи інших заходів.

Найбільш ефективні заходи — ті, які можуть зберігати свою ефективність за різних рівнів завантаженості доріг.

Оскільки затор виникає в тому випадку, коли в транспортній мережі з'являються перегони «вузькі місця», тому, управління у вимушеному режимі руху, у першу чергу, має бути спрямоване на створення таких умов руху, за яких задовольняються обмеження для усіх перегонів вулично-дорожньої мережі.

Затор, сконцентрований у межах малої зони, чинить вплив на інші транспортні потоки та у випадку, якщо інтенсивність руху перевищує пропускну спроможність, затор поширюється на великі відстані. Щоб уникнути подібної ситуації, необхідно розосереджувати затори з метою зменшення впливу на інші транспортні потоки.

### Список літератури

1. Нагребельна Л.П. Поліщук В.П. До питання про затори на вулично-дорожній мережі міст. *LXXIV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. Київ, 2018. 564 с.
2. Нагребельна Л.П. Поліщук В.П. Використання теорії масового обслуговування для удосконалення управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі міст. *Web of Scholar*. Вип. 4 (46). С. 8-12. DOI: 10.31435/rsglobal\_wos/30042020/7039 (дата звернення 15.07.2020).
3. Абрамова Л.С., Нагорний Є.В. Концептуальний підхід до проектування систем управління дорожнім рухом. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. Харків, 2017. № 12. С. 94-100.
4. Lighthill M.J., Whitham G.B. On kinematic waves. II. Theory of traffic flow on long crowded roads. *Proceedings of the Royal Society of London*. London, 1955. Vol. 229 (1178). P. 281-345. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspa.1955.0089> (дата звернення 8.06.2020).
5. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. Москва, 1977. 627 с.
6. Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А., Холодов Я.А., Шамрай Н.Б. Введение в математическое моделирование транспортных потоков : учеб. пособ. Москва, 2013. Издание 2-е. 428 с.
7. Семенов В.В. Смена парадигмы в теории транспортных потоков. Москва, 2006. 32 с.

URL: [https://www.keldysh.ru/papers/2006/prep46/prep2006\\_46.html](https://www.keldysh.ru/papers/2006/prep46/prep2006_46.html) (дата звернення: 15.07.2020).

## References

1. Nahrebelna L., Polishchuk V. Do pytannia pro zatory na vulychno-dorozhniy mrezhi mist. LXXIV naukova konferentsiia profesorsko-vykladatskoho skladu, aspirantiv, studentiv ta spivrobotnykiv vidokremlyenykh strukturnykh pidrozdiliv universytetu. Kyiv, 2018. 564 p. [in Ukrainian].
2. Nahrebelna L., Polishchuk V. Use of Queuing Theory for Improvement of Traffic Management on the Main Street and Road Network of Cities. *Web of Scholar*. 2020. Vol. 4 (46). P. 8-12. DOI: 10.31435/rsglobal\_wos/30042020/7039 (Last accessed: 15.07.2020) [in Ukrainian].
3. Abramova L.S., & Nahorni, Ye.V. Kontseptualnyi pidkhid do proektuvannia system upravlinnia dorozhnim rukhom (Conceptual approach to the traffic control systems design). *Avtomobil' i elektronika. Sučasni tehnologii*. Kharkiv, 2017. N 12. P. 94-100 [in Ukrainian].
4. Lighthill, M.J., Whitham, G.B. On kinematic waves. II. Theory of traffic flow on long crowded roads. *Proceedings of the Royal Society of London*. London, 1955. Vol. 229 (1178). P. 281-345. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspa.1955.0089> (Last accessed: 8.06.2020) [in English].
5. Uizem Dzh. Lineynye i nelineynye volny (Linear and nonlinear waves). Moscow, 1977. [in Russian].
6. Gasnikov A.V., Klenov S.L., Nurminskij E.A., Holodov Ya.A., Shamraj N.B. Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnykh potokov (Introduction to the mathematical modeling of traffic flows) : tutorial. Moscow, 2013. 2nd ed., rev. 428 p. [in Russian].
7. Semyonov, V.V. (2006). Smena paradigmy v teorii transportnykh potokov (Change of the Paradigm in the Traffic Flow Theory). Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science. URL: [https://www.keldysh.ru/papers/2006/prep46/prep2006\\_46.html](https://www.keldysh.ru/papers/2006/prep46/prep2006_46.html) (Last accessed: 15.07.2020) [in Russian].

---

**Liudmyla Nahrebelna**, <https://orsid.org/0000-0002-5615-9075>

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

## **DETERMINATION OF PLACES OF CONGESTION OCCURRENCE BY HYDRODYNAMIC MODEL AND DEPENDENCES OF TRAFFIC FLOW**

### **Abstract**

**Introduction.** The expediency of using the main traffic flow diagrams as the basis of transport modeling is substantiated and the sequence of calculations of traffic flow parameters for construction of the diagram in the form of traffic flow dependences is determined.

**Issue Statement.** The research of well-known specialists in the field of mathematical modeling of road traffic, who continue to work intensively in this direction, is described. It is proved that the problem of pre-traffic congestion and traffic congestion modes has not been fully studied and is the base for traffic management in large cities [1–2].

The selection of the control technology type depends on the task and purpose of traffic management. The analysis of mathematical support of world-famous control systems [3] showed that it is based on the implementation of macro and micro models of interdependence of the main parameters of the traffic flow and the parameters of movement of individual vehicles.

The basis of traffic flow modeling are macro and micromodels: the first macroscopic models (hydrodynamic), in which the traffic flow is considered similar to the flow of compressible fluid

(M. Lighthill and J. Wisem, P. Richards (LWR)) [4] and the first microscopic models (following by the leader), which describe the movement of each car (A. Rochelle, L. Pines) [5].

Purpose. Improving the efficiency of the street and road city network operation by determining the balance between road traffic parameters. Determination of places of congestion occurrence by hydrodynamic model and dependences of traffic flow.

Materials and methods. The main dependences of the traffic flow taking into account the number of traffic lanes are given. According to the method of hydrodynamic model, the places where congestion can be occurred are calculated and determined. The main dependences of the traffic flow are graphically shown. The method of comparison and identification shows how the density, intensity and speed will be changed depending on the change in the number of traffic lanes.

The places where congestion can be occurred are calculated and determined using the method of hydrodynamic model. The main dependences of the traffic flow, the change in the density, intensity and speed depending on the change in the number of traffic lanes are graphically shown.

Results. The intensity is varied depending on the traffic speed. The higher is the speed, the lower is the intensity. From the dependence «Intensity – density» it is seen that the bigger is the intensity, the lower is the traffic flow density. From the dependence «Density – traffic queue length» it follows that the bigger is the density of the traffic flow, the greater is the length of the traffic queue.

Conclusions. Since congestion occurs when there are "bottlenecks" in the transport network, therefore, traffic management in a forced mode, in the first place, should be aimed at creating such traffic conditions that meet the restrictions for all the road sections located between the intersections in the road network.

Congestion concentrated within a small area affects other traffic flows and if the traffic volume exceeds the road capacity, the congestion spreads over long distances. To avoid this situation, it is necessary to disperse traffic jams in order to reduce the impact on other traffic flows.

**Keywords:** hydrodynamic model, congestion, modeling, carrying capacity, traffic flows.



УДК 625.72

Пальчик А. М.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-7658-6066>Соколенко Т. В.<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-1485-2717><sup>1</sup> Національний транспортний університет, м. Київ, Україна<sup>2</sup> Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПЕРЕХРЕЩЕНЬ І ПРИМИКАНЬ  
В ОДНОМУ РІВНІ БЕЗ ЗМІНИ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ****Анотація**

**Вступ.** Для забезпечення ефективної роботи всіх транспортних вузлів дорожньої мережі необхідною умовою є безперервний та безперешкодний рух всіх транспортних потоків. Правильне визначення втрат часу транспортних засобів на перехрещеннях і примиканнях автомобільних доріг дасть можливість підвищити ефективність їх функціонування без виконання реконструкції та дозволить точно обґрунтувати необхідність зміни їх геометричних параметрів.

**Проблематика.** Дослідження основних видів маневрів на пересіченнях і примиканнях автомобільних доріг в одному рівні є важливим із точки зору підвищення ефективності їх функціонування. Перехрещення та примикання — є основними елементами дороги, які напряму впливають на пропускну здатність всієї дороги, так як перерозподіл транспортних потоків відбувається саме в цих вузлах дорожньої мережі.

Питанню дослідження руху транспортних потоків, маневрування під час руху та, зокрема, втрат часу транспортними засобами на перехрещеннях і примиканнях автомобільних доріг присвячено чимало наукових праць діячів науки, таких як: Лобанов В. М., Гохман В.А., Хейт Ф., Дрю Д. Проте всі відомі дослідження дають узагальнене середнє значення затримки транспортних засобів при виконанні маневру з другорядної дороги на головну і навпаки, або при перетині і зовсім не враховують такого важливого моменту як зупинка й очікування можливості проїзду.

**Мета.** Удосконалення методики проектування перехрещень автомобільних доріг в одному рівні з урахуванням особливостей руху транспорту на цих перехрещеннях залежно від інтенсивності, швидкості, радіусу з'їзду та складу транспортного потоку.

**Матеріали та методи.** В основу існуючих методів із визначення затримок автомобілів на перехрещеннях і примиканнях закладено зменшення швидкості на під'їзді до перехрещення або примикання, перетин автомобільної дороги або виконання різних маневрів з розгоном або гальмуванням, враховуючи часткове зменшення швидкості руху на головній дорозі. Затримка автомобільного транспорту, що рухається по другорядній дорозі, враховується тільки на тій ділянці довжина якої дорівнює необхідній відстані для розгону автомобіля із швидкості на перехрещенні до швидкості на основній дорозі. Аналіз методів підвищення ефективності функціонування перехрещень і примикань в одному рівні дозволить знайти вирішення такого питання як доцільність зміни геометричних параметрів транспортних розв'язок в одному рівні шляхом реконструкції.

**Результати.** У статті проаналізовано імовірність безперешкодного вливання автомобіля з другорядної дороги на головну і навпаки, з урахуванням середньої тривалості вільного інтервалу між автомобілями основного потоку та між групами автомобілів. Знайдено залежність тривалості вільних інтервалів, та їх кількості, від інтенсивності руху, складу транспортного потоку, швидкості

руху транспортних засобів. Отримано ряд рівнянь для визначення загальної затримки транспорту при виконанні різних видів маневрів залежно від типу пересічення чи примикання.

Використання отриманих формул для розрахунку затримки буде цілком доцільно при вирішенні проблем зі зменшення перевантаження перехрещень і примикань автомобільних доріг в одному і більше рівнях.

**Висновки.** За результатами дослідження запропоновано метод із визначення ефективності функціонування перехрещення або примикання у даних умовах, що в подальшому дає можливість обґрунтувати необхідність реконструкції на основі затримок автомобілів. Робота може бути використана в проектних інститутах при розробленні проектів автомобільних доріг.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, вільний інтервал, затримка транспорту, маневр, перехрещення, примикання, транспортний засіб.

### Вступ

Загальна кількість автомобільних доріг на кінець ХХ століття в Україні складала 172 тис км, у тому числі з твердим покриттям 163 тис км. Дорожня мережа з твердим покриттям має густину 0,27 км/км<sup>2</sup>. Унаслідок взаємодії всіх видів транспорту та всіх ланок транспортного процесу створено єдину транспортну систему. Сукупність усіх шляхів сполучення, побудованих з урахуванням вимог єдиної транспортної системи, є єдиною комплексною мережею шляхів сполучення.

Автомобільні дороги проектували та будували з 1936 року відповідно до різних нормативних документів в яких зазначено, що радіуси з'їздів до 1974 року були рівними 5 м. Збільшення радіусу з'їзду  $R$  до 15 м, 20 м, 25 м відбувається після 1974 року. Потрібно розробити заходи з реконструкції існуючих перехрещень залежно від сучасної існуючої інтенсивності руху транспортного потоку.

Рекомендації щодо геометричних параметрів перехрещень і примикань залежать від:

1. Сумарної інтенсивності на двох дорогах (головній та другорядній);
2. Від кількості автомобілів, що виходять або входять у транспортний потік головної дороги.

На перехрещенні або примиканні автомобілі виконують такі маневри:

- поворот ліворуч;
- поворот праворуч;
- переїзд дороги (для перехрещення).

Автомобільні дороги будували в різні часи з різними параметрами з'їздів, що безпосередньо впливало на безпеку руху. Наразі виникла необхідність розроблення рекомендацій із реконструкції з'їздів і проектування нових із урахуванням сучасних показників інтенсивності, швидкості, радіуса повороту та виду маневру автомобіля.

У дійсності всі існуючі методики не враховують кількість автомобілів, які проходять без затримки, та кількість автомобілів, які затримуються на перехрещенні або примиканні. Можливість в'їзду автомобілів на головну дорогу або виконання маневру на головній дорозі залежить від наявності вільних інтервалів. Час затримки транспортних засобів залежить не тільки від наявності вільного інтервалу, але і від інтервалу проходження групи автомобілів на головній дорозі.

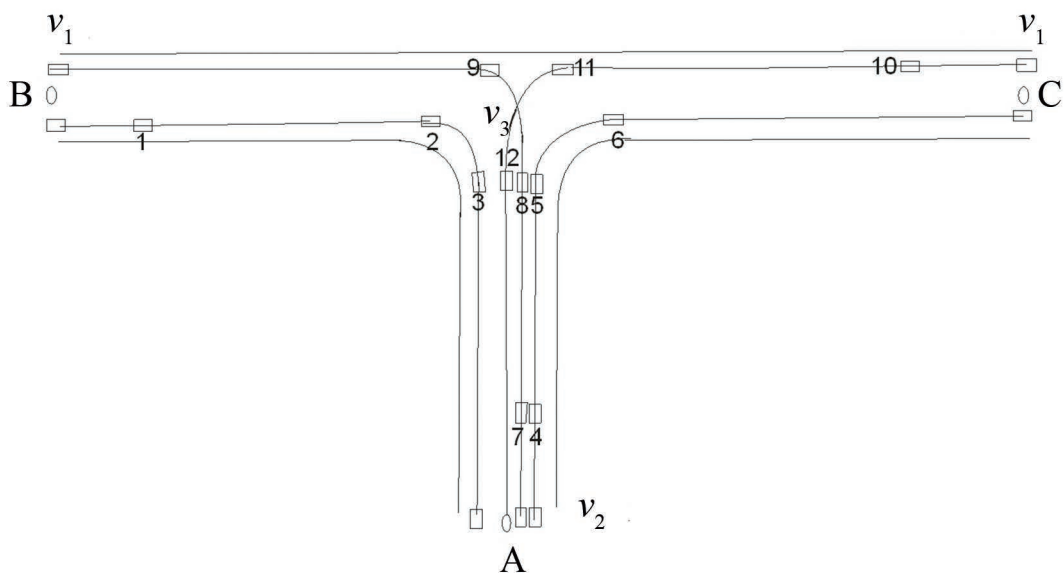
На закономірність руху транспортних засобів впливає поведінка водіїв. Окремий водій, намагаючись досягти власного оптимального рішення, вступає в конфлікт з іншими, які взаємодіють з ним за допомогою обгонів, перестроювання, зміни смуги руху на прямій ділянці дороги. Виконуючи маневр на перехрещенні чи примиканні автомобільних доріг основною проблемою взаємодії водіїв є очікування транспортним засобом можливості виконання маневру.

Таким чином виникає необхідність дослідження взаємодії транспортних потоків, що рухаються головною та другорядною дорогами для вирішення проблем, пов'язаних із втратою часу та тривалим очікуванням.

### Основна частина

Проектування перехрещень та примикань автомобільних доріг виконують на основі інтенсивності руху по головній та другорядній дорогах без урахування розподілу інтенсивності руху за напрямками.

Для обґрунтування параметрів перехрещень і примикань двосмугових автомобільних доріг є один критерій, це сумарні затримки автомобілів. Затримки автомобільного транспорту повинні бути враховані на конкретних ділянках дороги. Такі ділянки дають можливість врахувати зниження швидкості руху при виконанні маневру, що характеризується часом проїзду. Відстань від перехрещення або примикання потрібно розраховувати з урахуванням шляху гальмування та шляху розгону. На рис. 1 наведено основні показники при виборі зон зміни швидкостей руху.



$v_1$  — швидкість на головній дорозі;  $v_2$  — швидкість на другорядній дорозі;  $v_3$  — швидкість на з'їзді

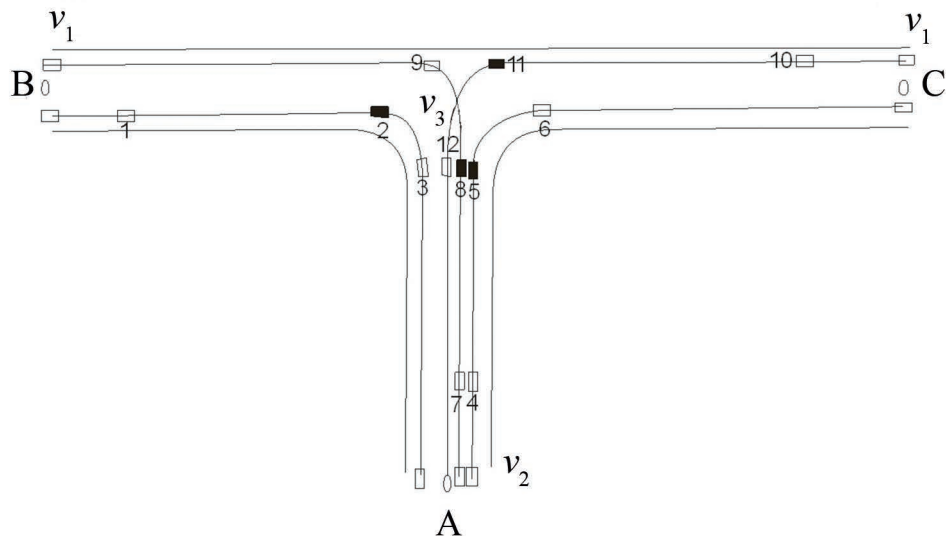
**Рисунок 1** — Маневри автомобілів на примиканні

Точки А, В, С розташовані на відстані розгону як на головній дорозі, так і на другорядній.

Маневр ВА складається із декількох ділянок: ділянка В-1 — проїзд із швидкістю  $v_1$ ; ділянка 1-2 — гальмування автомобіля від  $v_1$  до  $v_3$ ; ділянка 2-3 — проїзд заокруглення зі швидкістю  $v_3$ ; ділянка 3-А — розгін від  $v_3$  до  $v_2$ . Маневр АС: ділянка А-4 — проїзд зі швидкістю  $v_2$ ; ділянка 4-5 — гальмування автомобіля від  $v_2$  до  $v_3$ ; ділянка 5-6 — проїзд заокруглення зі швидкістю  $v_3$ ; ділянка 6-С — розгін від  $v_3$  до  $v_1$ . Маневр СА ділянка С-10 — проїзд із швидкістю  $v_1$ ; ділянка 10-11 — гальмування автомобіля від  $v_1$  до  $v_3$ ; ділянка 11-12 — проїзд заокруглення із швидкістю  $v_3$ ; ділянка 12-А розгін від  $v_3$  до  $v_2$ .

Маневр АВ: ділянка А-7 — проїзд із швидкістю  $v_2$ ; ділянка 7-8 — гальмування автомобіля від  $v_2$  до  $v_3$ ; ділянка 8-9 — проїзд заокруглення із швидкістю  $v_3$ ; ділянка 9-В — розгін від  $v_3$  до  $v_1$ .

У зв'язку з тим, що у випадку непопадання автомобіля з другорядної дороги на вільний інтервал, виникає затримка автомобіля (рис. 2).



- – автомобілі, що рухаються безперешкодно;
- – автомобілі, які змушені очікувати.

**Рисунок 2** — Маневри автомобілів із затримкою

У цьому випадку гальмування виконують до зупинки автомобіля. На ділянках проїзду кривої швидкість автомобіля збільшується до швидкості на з'їзді.

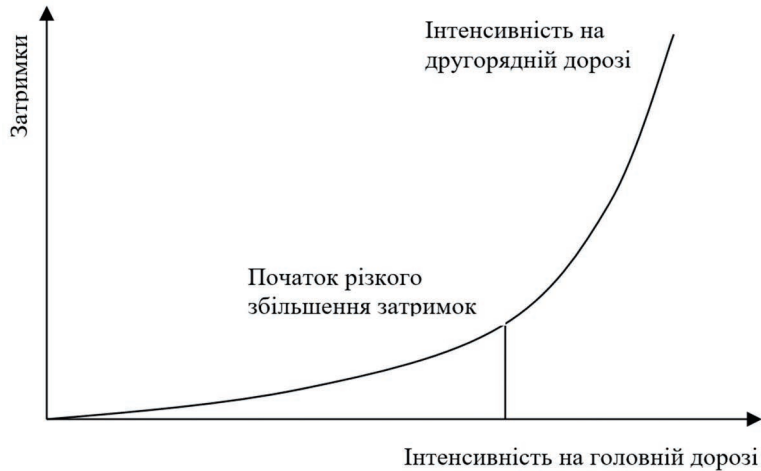
Визначення напрямків недостатньо для розрахунку затримок автомобільного транспорту. Затримки виникають при виконанні маневрів автомобілями на примиканнях і перехрещеннях у результаті недостатньої тривалості вільного інтервалу між автомобілями що рухаються по головній дорозі. Основною умовою вільного проїзду автомобілів без затримки є наявність вільних інтервалів між групами автомобілів, що рухаються по основній дорозі. Рух автомобілів по головній дорозі характеризують інтенсивністю, швидкістю та складом транспортного потоку. Цьому руху відповідає розподіл вільних інтервалів на головній дорозі.

Зі збільшенням значення інтенсивності руху на дорогах, що перетинаються, збільшується затримка під час виконання маневру (рис. 3).

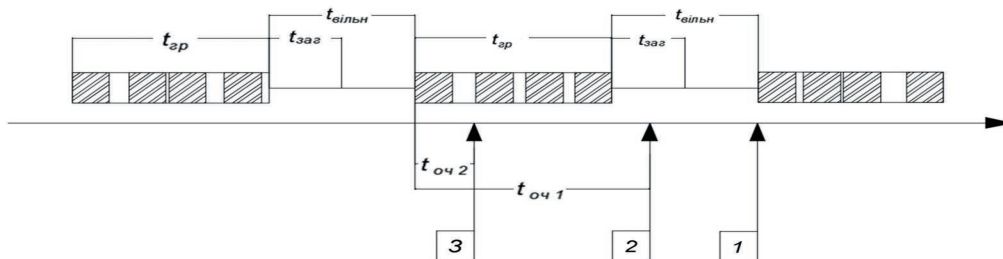
Під час обчислення затримок для кожного маневру вільні інтервали між групами автомобілів, тривалість яких менше ніж тривалість виконання маневру, входять у час проїзду групи автомобілів. На рис. 3 зображено інтервали між автомобілями в групі автомобілів.

Проектування перехрещень і примикань автомобільних доріг виконується на основі інтенсивності руху по головній і другорядній дорогах без урахування розподілення інтенсивності руху за напрямками.

Затримки виникають при виконанні маневрів, автомобілями, на примиканнях і перехрещеннях у результаті недостатньої тривалості вільного інтервалу. Основною умовою вільного проїзду без затримки є наявність вільних інтервалів між групами автомобілів, що рухаються по головній дорозі. Вільні інтервали повинні бути достатніми для виконання маневру.



**Рисунок 3** — Зміна значення затримки на другорядній дорозі при зростанні інтенсивності на головній дорозі



$t_{гр}$  — час проїзду групи автомобілів, с;  $t_{заг}$  — час необхідний для виконання маневру, с;  $t_{вільн}$  — тривалість вільного інтервалу, с;  $t_{оч1}$  — час очікування виконання маневру автомобіля № 2, с;  $t_{оч2}$  — час очікування виконання маневру автомобіля № 3; 1 — автомобіль № 1; 2 — автомобіль № 2; 3 — автомобіль № 3

**Рисунок 4** — Схема вливання автомобілів з другорядної дороги в основний потік головної дороги

На рис. 4 зображено три випадки вливання автомобілів з другорядної дороги в основний потік головної дороги. У першому випадку автомобіль № 1 має достатньо часу для виконання маневру і проїжджає без затримки. У другому випадку, часу для виконання маневру автомобілем № 2, недостатньо, тому час очікування автомобіля буде складати  $t_{оч1}$ . У третьому випадку для автомобіля № 3 час очікування автомобіля на виконання маневру складає  $t_{оч2}$ .

Час очікування для автомобіля складається частково із  $t_{заг}$  та часу проїзду групи автомобілів  $t_{гр}$ . У 3 варіанті час очікування  $t_{оч}$  буде складати частинку часу від  $t_{гр}$ .

Автомобіль, який під'їжджає до примикання, чекає, щоб інтервал часу на головній дорозі був достатній для виконання маневру ( $t_{вільн} > (t_{заг} + t_{гр})$ ). У випадку, коли умова ( $t_{вільн} > (t_{заг} + t_{гр})$ ) не виконується, виникає затримка транспортних засобів та утворюється черга. Відношення  $(t_{заг} + t_{гр}) / t_{оч}$  показує частку долі від кількості автомобілів на другорядній дорозі ( $N_2$ ), які можуть чекати моменту виконання маневру.

У сумарну затримку входить як час на виконання маневру, так і час, витрачений на

гальмування перед маневром. Тоді як час виконання маневру, у свою чергу, складається безпосередньо із самого маневру і подальшого розгону автомобіля до необхідної швидкості руху.

Ефективність функціонування характеризується забезпеченням проїзду автомобілів на перехрещенні або примиканні при мінімальній затримці без накопичення автомобілів для виконання маневру. Рух автомобілів по головній дорозі характеризують наявністю вільних інтервалів, які забезпечують виконання маневрів автомобілів на перехрещенні або примиканні. Тривалість вільних інтервалів повинна бути достатньою та безпечною. Виходячи із цього, інтенсивність руху з можливими маневрами не повинна бути більша від наявності вільних інтервалів на головній дорозі. На рис. 5 показано маневри руху на примиканні.

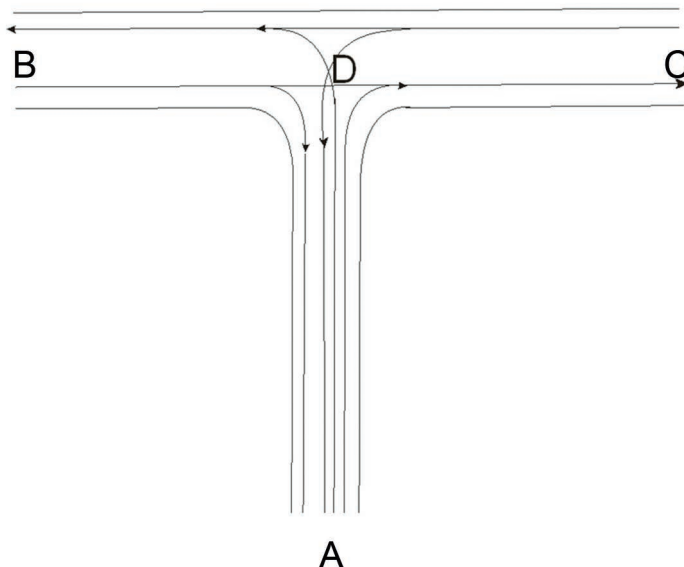


Рисунок 5 — Поява додаткових вільних інтервалів на головній дорозі

Напрямок ВС має  $\Pi$  вільних інтервалів.

Напрямок ВА — інтенсивність  $N_{ва}$ . При виконанні цього маневру звільняється  $\Pi_{ва}$ , що дорівнює інтенсивності  $N_{ва}$ . На відрізку DC буде  $\Pi_{dc} = \Pi + \Pi_{ва}$ , у випадку, коли величина інтервалів на головній дорозі буде більша інтервалу для виконання маневру. Якщо ця умова не виконується то на ділянці DC кількість вільних інтервалів не збільшується. У такому разі, сума інтенсивностей  $N_{ав} + N_{ас} = \Pi + \Pi_{ва}$ .

Те ж саме можна сказати і про напрямки ДВ.

$$N_{са} = \Pi + \Pi_{са}$$

У разі збільшення інтенсивності руху за рахунок маневрів автомобілів, затримки будуть різко зростати та не буде забезпечена ефективність функціонування примикання. Реальне значення затримок автомобілів необхідно для обґрунтування доцільності проведення реконструкції.

Нижче описано рекомендований метод із визначення затримок автомобілів на перехрещенні або примиканні з урахуванням автомобілів, які виконують маневр без затримок, а тільки зі зниженням швидкості руху.

Кількість автомобілів, що проїжджають без зупинки обчислюють за формулою:

$$n_{б.з.} = N_2 - n_{затр}, \quad (1)$$

де  $N_2$  — інтенсивність руху на другорядній дорозі, авт/год;  
 $n_{затр}$  — кількість автомобілів, які очікують виконання маневру, шт.

Загальна затримка транспорту, під час виконання будь-якого маневру, буде дорівнювати:

$$t_{\text{затр}} = n_{\text{затр}} \frac{t_{\text{заг}} + t_{\text{гр}}}{2} = \frac{n_{\text{гр}} N_2 (t_{\text{заг}} + \bar{t}_{\text{групи}}) t_{\text{заг}} + \bar{t}_{\text{гр}}}{3\,600 - \bar{t}_{\text{групи}} \cdot n_{\text{гр}}} = \frac{n_{\text{гр}} N_2 (t_{\text{заг}} + \bar{t}_{\text{групи}})^2}{7\,200 - 2\bar{t}_{\text{групи}} \cdot n_{\text{гр}}}, \quad (2)$$

де  $\frac{t_{\text{заг}} + t_{\text{гр}}}{2}$  — середня тривалість затримки, с;

$n_{\text{затр}}$  — кількість автомобілів, які чекають моменту виконання маневру, шт;

$N_2$  — інтенсивність руху на другорядній дорозі, авт/год;

$t_{\text{заг}}$  — час, необхідний для виконання маневру, с;

$\bar{t}_{\text{гр}}$  — середня тривалість проїзду 1 групи автомобілів, с.

### Висновки

Рух автомобільного транспорту є складним процесом, через багато факторів, які впливають на нього. До таких факторів належать: дорожні умови; інтенсивність і склад руху; психофізіологічний стан водія; стан автомобіля; засоби регулювання руху. Сумісний вплив усіх факторів, що діють на транспортний потік і які весь час змінюються в просторі та часі, значно ускладнює розуміння закономірностей руху транспортних потоків і зв'язок характеристик транспортного потоку між собою. Вирішення цієї проблеми лежить у використанні методів математичного моделювання.

У статті проаналізовано імовірність безперешкодного впливання автомобіля з другорядної дороги на головну та навпаки, з урахуванням середньої тривалості вільного інтервалу між автомобілями основного потоку та між групами автомобілів. Знайдено залежність тривалості вільних інтервалів, і їх кількості, від інтенсивності руху, складу транспортного потоку, швидкості руху транспортних засобів. Отримано ряд рівнянь для визначення загальної затримки транспорту при виконанні різних видів маневрів залежно від типу пересічення чи примикання. Знаючи склад транспортного потоку, його інтенсивність і закономірність розподілу вільних інтервалів між автомобілями та групами автомобілів, за допомогою запропонованого методу можливо буде розрахувати як час затримки автомобілів, що очікують можливості виконання маневру, так і їх кількість.

У результаті проведеного дослідження запропоновано метод із визначення ефективності функціонування перехрещення або примикання у реальних умовах із врахуванням усіх факторів, які впливають на безперервний рух транспортного потоку в межах перехрещень і примикань.

### Список літератури

1. ВБН В.2.3-218-192:2005 Перехрещення та примикання доріг в одному рівні. Методи проектування та організації дорожнього руху. Київ, 2005. 31 с. (Інформація та документація).
2. Гофман В. А., Визгалов В. М., Поляков М. П. Пересечения и примыкания автомобильных дорог. Москва, 1989. 319 с.
3. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. Москва, 1966. 288 с.
4. Поліщук В.П., Дзюба О.П. Теорія транспортного потоку : методи та моделі організації дорожнього руху : навч. посіб. Київ, 2008. 175 с.
5. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. Москва, 1972. 424 с.
6. Лобанов Е.М., Шемяков В.М., Гохман В.А. Проектирование и изыскание пересечений автомобильных дорог. Москва, 1972. С. 40-84.
7. Пальчик А.М. Транспортні потоки. Київ, 2010. 172 с.
8. Савчук С.О., Соколенко Т.В. Застосування супутникових геодезичних карт при

вишукуванні та паспортизації автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип. 93. Київ, 2015. С. 26–38.

9. Соколенко Т.В. Визначення наявності вільних інтервалів для виконання маневрів на пересіченнях та примиканнях автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип. 106. Київ, 2018. С. 100-107.

10. Соколенко Т.В. Затримки транспортних засобів на перехрещеннях та примиканнях автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип. 108. Київ, 2019. С. 110-116.

11. Соколенко Т.В., Пальчик А.М. Розподіл вільних інтервалів у транспортному потоці залежно від інтенсивності та швидкості руху. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науковотехнічний збірник*. Вип. 109. Київ, 2019. С. 114-120.

### References

1. VBN V.2.3-218-192:2005 Perekhreshchennia ta prymykannia dorih v odnomu rivni. Metody proektuvannia ta orhanizatsii dorozhnoho rukhu (Federal building regulations (VBN V.2.3-218-192:2005) Intersection and adjacency of highways in one level. Methods of designing and organizing traffic). Kyiv, 2005. 31 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

2. Hofman A., Vyzghalov V. M., Poliakov M. P. Peresechenyia y prymykanyia avtomobylnykh doroh (Highway crossings and junctions). Moscow, 1989. 319 p. [in Russian].

3. Khejt F. Matematycheskaia teoriia transportnykh potokov (Mathematical theory of transport flows). Moscow, 1966. 288 p. [in Russian].

4. Polischuk V.P., Dziuba O.P. Teoriia transportnoho potoku: metody ta modeli orhanizatsii dorozhn'oho rukhu (Traffic flow theory: methods and models of traffic organization). Kyiv, 2008. 175 p. [in Russian].

5. Driu D. Teoriia transportnykh potokov y upravlenye ymy (Theory and management of transport flows). Moscow, 1972. 424 p. [in Russian].

6. Lobanov E.M., Sheviakov V.M., Hokhman V.A. & oth. Proektyrovanye y yzyskanye peresechenyj avtomobil'nykh doroh (Designing and surveying of motorway intersections). Moscow, 1972. P. 40-84 [in Russian].

7. Palchuk A.M. Transportni potoky (Traffic flows). Kyiv, 2010. 172 p. [in Ukrainian].

8. Savchuk S.O., Sokolenko T.V. Zastosuvannia suputnykovykh heodezychnykh kart pry vyshukuvanni ta pasportyzatsii avtomobil'nykh dorih (Application of satellite geodetic maps in the search and certification of roads). *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. Vol. 93. Kyiv, 2015. P. 26-38 [in Ukrainian].

9. Sokolenko T.V. Vyznachennia naiavnosti vilnykh intervaliv dlia vykonannia manevriv na peresichenniakh ta prymykanniakh avtomobil'nykh dorih (Determining the availability of free intervals for maneuvers at intersections and junctions of roads). *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. Vol. 106. Kyiv, 2018. P. 100-107 [in Ukrainian].

10. Sokolenko T.V. Zatrymky transportnykh zasobiv na perekhreshchenniakh ta prymykanniakh avtomobil'nykh dorih (Delays of vehicles at intersections and adjacent roads). *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. Kyiv, 2019. Vol. 108. P. 110-116 [in Ukrainian].

11. Sokolenko T.V., Palchuk A.M. Rozpodil vilnykh intervaliv u transportnomu pototsi zalezno vid intensyvnosti ta shvydkosti rukhu (Distribution of free intervals in the traffic flow depending on the intensity and speed of movement). *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. Kyiv, 2019. Vol. 109. P. 114-120 [in Ukrainian].



Anatoliy Palchyk<sup>1</sup>, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-7658-6066>  
Tetiana Sokolenko<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-1485-2717>

<sup>1</sup> National Transport University, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

### **INCREASE THE EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING OF INTERSECTIONS AND ROAD JUNCTIONS WITHOUT CHANGING THE GEOMETRIC PARAMETERS**

#### **Abstract**

Introduction. A prerequisite for ensuring efficient operation of all transport nodes of the road network is a continuous, barrier-free traffic flow. Correct determination of vehicle time losses at intersections and junctions of roads will make it possible to increase the efficiency of their operation without reconstruction and will allow to accurately justify the need for changing their geometric parameters.

Problem Statement. Research on the main types of maneuvers at intersections and junctions of roads at the same level is important in order to increase the efficiency of their functioning. Intersections and road junctions are the main elements of the road that have a direct impact on the capacity of the entire road, as the distribution of traffic flows takes place at these points on the road network.

A lot of scientific works are devoted to the study of traffic flows, manoeuvres and especially time losses of vehicles at intersections and junctions of roads, such as those of Lobanov, V.M, Hoxhman V.A., Khejt F., Driu D. But all known studies provide a general average of the delay of vehicles when maneuvering from a secondary road to the main one and vice versa or do not even include such an important moment as stopping and waiting time during the road crossing.

Objective. Improve the design of intersections and road junctions at the same level, taking into account the peculiarities of traffic at intersections and road junctions at the same level, depending on the intensity of traffic, speed, radius of descent and composition of traffic flow.

Materials and methods. Existing methods for determining vehicle delays at intersections and junctions of roads are based on slowing down before approaching an intersection or junction, crossing a road or performing various maneuvers by accelerating or slowing down while only partially reducing speed on the main road. Delay on a secondary road is only considered on a section whose length equals the necessary distance of car acceleration from intersection speed to the speed on the main road. The analysis of methods to increase the efficiency of intersections and junctions functioning at one level will allow finding a solution to such a question as expediency of changing geometrical parameters of transport interchanges at one level by means of reconstruction.

Results. The article analyzes the possibility of free inflow of the car from the secondary road to the main road and vice versa, taking into account the average duration of the free interval between the cars of the main traffic flow and between groups of cars. Dependence of the duration of free intervals as well as their number on the speed, traffic intensity and composition of the transport flow was found. Several equations are obtained to determine the total delay of transport at the moment of performing different types of maneuvers depending on the type of intersection or junction.

The use of the received formulas when calculating the delay will be useful in solving problems to reduce congestion at intersections and road junctions at one or more levels.

Conclusions. As a result, the study proposes a method for determining the performance of intersections or road junctions under the present conditions, which makes it possible to justify the need for reconstruction based on vehicle delays in the future. This work can be used in project institutes during road project development.

**Keywords:** motor road, free interval, transport delay, intersection, junction, vehicle.

УДК 624.21/.8:504.055

Медведєв К. В., канд. фіз-мат. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-0704-7093>

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

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

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

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

Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

## ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ПРИНЦИПИ ПРОЕКТУВАННЯ БІОПЕРЕХОДІВ

### Анотація

**Вступ.** Забезпечення подальшого економічного зростання та соціальних змін в Україні передбачають розвиток дорожньо-транспортної мережі та її інфраструктури за європейськими вимогами. Інфраструктура, яка забезпечує ефективне функціонування автодорожньої індустрії, включає безпосередньо дорожню мережу та споруди на ній, у тому числі мости, естакади, ландшафтні мости, екодуки та тощо). Кожна із зазначених складових локально негативно впливає на довкілля, водночас вплив інфраструктури у цілому носить регіональний, а іноді й глобальний характер.

**Проблематика.** Оцінити вплив окремих складових транспортної інфраструктури на тваринний світ досить складно, оскільки транспортна мережа створює для тварин нові чинники впливу, нерідко вони не можуть до них адаптуватися. При прокладанні автошляхів, зазвичай вилучається з обігу більша площа земельних ресурсів, ніж це потрібно. При цьому знищуються та руйнуються природні оселища тварин (за рахунок вирубування дерев, чагарників, осушення боліт, засипання водойм). При обґрунтуванні проектних рішень базовими є оцінки можливого збитку мисливським і зникаючим видам, промисловим і цінним видам риб, сільськогосподарському виробництву.

Прокладання дороги через міграційні шляхи є також питанням безпеки руху, адже масові міграції можуть перешкоджати руху на дорозі і створювати загрозу для життя людей. Це важливо не тільки для великих тварин (небезпека зіткнення), а й для дрібних представників фауни (втрата керованості, збільшення гальмівного шляху). Характерною особливістю зіткнень транспортних засобів з тваринами є зосередження їх на невеликих за протяжністю ділянках доріг (0,6–0,8 км). Місця найчастіших зіткнень збігаються з ділянками, що проходять в нульових відмітках, насипах висотою 2,0–2,5 м та виїмках такої ж глибини, мають пологі схили. За оцінками фахівців, число наїздів на тварин у загальній кількості ДТП не перевищує (2–4) %. Число поранених пасажирів складає 20–25, загиблих — 2–3 на 100 зіткнень із тваринами, для яких зіткнення є смертельними (Рубцов, 2017). Для забезпечення збереження біорізноманіття та безпеки учасників дорожнього руху є запобігання зіткнень із тваринами, а у нашому випадку — уникнення дорожньо-транспортного будівництва чи реконструкції там, де це можливо. Коли ж такої можливості немає, необхідно передбачати створення конструкцій для перетину тваринами доріг (Гавриленко, 2017). Таким чином, проблема мінімізації ризиків як для представників фауни, так і для дорожнього руху за рахунок спорудження біопереходів та огорож по периметру для пересування представників фауни через автодороги є актуальною.

**Мета.** Надати основні технічні характеристики для проектування біопереходів та огорож по периметру, які полегшать пересування представників фауни через автодороги з мінімізацією ризику як для фауни, так і для дорожнього руху.

**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 небезпек впливу дорожньої інфраструктури на біорізноманіття і визначення цінності природного ландшафту території побудови біопереходу.

**Результати.** Результатом роботи є систематизація основних технічних принципів проектування біопереходів, методичних підходів і практичних рекомендацій, які, з урахуванням вимог до інтеграції дикої природи на етапі планування розвитку дорожньої інфраструктури, є підґрунтям для вибору способу розроблення найкращого та найпростішого еколого-економічного рішення, що забезпечить збереження біорізноманіття шляхом дефрагментації ареалів.

**Висновки.** Заходи щодо дефрагментації середовища існування спрямовані на зниження перенавантаження функціонуючої інфраструктури, зокрема бар'єрного ефекту. Здійснений нами аналіз дає змогу виявити кращі приклади будівництва біопереходів і застосувати прогресивний вітчизняний та міжнародний досвід для вдосконалення існуючих проектів із використанням досвіду розробок ЄС. Систематизація основних технічних принципів проектування біопереходів є основою для розроблення національного стандарту щодо вимог до проектування біопереходів на автомобільних дорогах для визначення чітких вимог до проектування, будівництва, ремонту і утримання біопереходів для диких тварин на автомобільних дорогах.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, біоперехід, біорізноманіття, дорожня інфраструктура, фрагментація ландшафту.

### Вступ

Забезпечення подальшого економічного зростання та соціальних змін в Україні передбачають розвиток дорожньо-транспортної мережі та її інфраструктури за європейськими вимогами. Інфраструктура, забезпечує ефективне функціонування автодорожньої індустрії, включає безпосередньо дорожню мережу та споруди на ній, у тому числі мости, естакади, ландшафтні мости, екодуки тощо). Кожна із зазначених складових локально негативно впливає на довкілля, водночас вплив інфраструктури у цілому носить регіональний, а іноді й глобальний характер. Це обумовлюється комплексним характером впливу на ландшафти, зокрема, спричиняється фрагментація середовища (бар'єрний ефект лінійних структур), що призводить до деградації та втрати місця існування фауни, ізоляції популяцій, порушення екологічних процесів, збільшується смертність тварин. Автомобільні шляхи виступають штучними бар'єрами, фрагментуючи природне середовище та ізолюючи деякі ділянки. Виникає ефект «бумерангу», що створює перешкоди для тварин у реалізації їх життєвих циклів, оскільки, зазвичай їм притаманні щорічні міграції, масштаби яких перевищують розміри фрагментованих ділянок ландшафту. Невідворотний конфлікт «тварина – дорога» ускладнює перебіг їх життєвого циклу, що у решті-решт, негативно позначається на популяціях. Це спричиняє генетичну ізоляцію тварин та значно зменшує чисельність локальних популяцій. Ефект «бумеранга» тісно корелює з такими законами Б. Коммонера «все пов'язане з усім» та «за все потрібно платити».

Оцінити вплив окремих складових транспортної інфраструктури на тваринний світ досить складно, оскільки транспортна мережа створює для тварин нові чинники впливу, нерідко вони не можуть до них адаптуватися. При прокладанні автошляхів, зазвичай вилучається з обігу більша площа земельних ресурсів, ніж це потрібно. При цьому знищуються та руйнуються природні оселища тварин (за рахунок вирубування дерев, чагарників, осушення боліт, засипання водойм).

При обґрунтуванні проектних рішень базовими є оцінки можливого збитку мисливським і зникаючим видам, промисловим і цінним видам риби, сільськогосподарському виробництву.

Прокладання дороги через міграційні шляхи є також питанням безпеки руху, адже масові міграції можуть перешкоджати руху на дорозі і створювати загрозу для життя людей. Це важливо не тільки для великих тварин (небезпека зіткнення), а й для дрібних представників фауни (втрата керованості, збільшення гальмівного шляху). Характерною особливістю зіткнень транспортних засобів із тваринами є зосередження їх на невеликих за протяжністю ділянках доріг (0,6–0,8 км). Місця найчастіших зіткнень збігаються з ділянками, що проходять в нульових відмітках, насипах висотою 2,0–2,5 м та виїмках такої ж глибини, мають пологі схили. За оцінками фахівців, число наїздів на тварин у загальній кількості ДТП не перевищує 2–4 %. Число поранених пасажирів складає 20–25, загиблих — 2–3 на 100 зіткнень з тваринами, для яких зіткнення є смертельними (Рубцов, 2017). Для забезпечення збереження біорізноманіття та безпеки учасників дорожнього руху є запобігання зіткнень із тваринами, а у нашому випадку – уникнення дорожньо-транспортного будівництва чи реконструкції там, де це можливо. Коли ж такої можливості немає, необхідно передбачати створення конструкцій для перетину тваринами доріг (Гавриленко, 2017).

Одним із заходів вирішення цієї проблеми є спорудження дорожніх огорожень та екодуків, або біопереходів — безпечних переходів для диких тварин. Згідно з ДСТУ 8751:2017, який регулює дорожні огороження, дорожні огороження першої групи, огороження для запобігання виходу тварин на дорогу, «до огорожень другої групи належать сітки, конструкції поручневого типу тощо, призначені для упорядкування руху пішоходів та запобігання виходу на проїзну частину доріг диких і свійських тварин». Згідно ДСТУ 8814:2018, біоперехід — спеціальна транспортна споруда у вигляді мосту або труби, що призначена для проходу диких або свійських тварин. У ДБН В.2.3-22:2009 крім поняття «біоперехід» визначається також поняття «віадук», під яким розуміють транспортну споруду, що перетинає ущелину або іншу природну западину. В ОДМ 218.6.023-2017 визначено поняття «екодук» як штучної споруди над дорогою, яка призначена для проходу по ньому не тільки тварин. В СП 461.1325800.2019 розрізняють *біоперехід*, як комплекс інженерних споруд для безпечного перетину мігруючими тваринами лінійних об'єктів транспортної інфраструктури; *біоперехід мостового типу*, як штучна споруда, яка забезпечує безпечний перетин мігруючими тваринами над автомобільною дорогою, залізницею або іншими лінійними об'єктами транспортної інфраструктури; *біоперехід пандусного типу* є штучною спорудою з пологими ґрунтовими укосами (1:5–1:12) та полотном переходу на рівні проїзної частини автомобільної дороги, верхньої споруди шляху залізниці або поверхні захисного покриття трубопроводів.

Найбільш поширені види біопереходів представлені мостом (естакадою) або підземним переходом, але існують і інші їх варіації, залежно від призначення і локації: тунелі, водопропускні труби, наземні і підземні переходи. Зведення біопереходів може бути корисним не лише при будівництві доріг, але й для інших аспектів територіальної організації, зокрема, для розвитку збалансованих міст, планування та управління заповідними територіями. Це ключові моменти «зеленої інфраструктури», стратегічно спланованої мережі високоякісних природних і напівприродних територій у тісній взаємодії з елементами довкілля, що, у свою чергу, забезпечує широкий спектр екосистемних послуг та збереження біорізноманіття.

У багатьох країнах практика впровадження біопереходів вже давно успішно використовується. В Україні, наразі, лише розпочали монтаж металевих гофрованих конструкцій (біопереходів) на трасі Н-31 Дніпро – Царичанка – Кобеляки – Решетилівка, які призначені як для пропуску води, так і вільного пересування диких та свійських тварин і навіть для невеликих транспортних засобів (Звіт з ОВД, 2018).

Незважаючи на те, що наразі в Європі помітний прогрес у питаннях вивчення та запобігання фрагментації ландшафту, загальні висновки ще не сформовані та не визначені пороги впливу, які могли б однозначно оцінити масштаби навантаження. Продовжується дослідження транспортної мережі з метою мінімізації впливу на довкілля, розроблення необхідних для цього механізмів і заходів. В Україні відсутні достовірні дані щодо смертності тварин, особливо диких, на автошляхах і не вживаються заходи їх захисту. Це питання в Україні лише набуває актуальності, а наявні дані носять локальний несистемний характер. Відсутні систематизовані методи дослідження, недостатньо вивчені еколого-економічні аспекти цієї тематики, не розв'язано більшість прикладних завдань, найважливішими з яких є: збереження ландшафту, захист дикої природи й захист населених пунктів від шумового навантаження від дороги. Тому визначення технічних принципів і організаційних заходів екологічно-дружнього проектування автомобільних доріг є складним та багатоцільовим завданням і потребує ґрунтовних досліджень у різних напрямках. Вивчення даного питання обумовлюється необхідністю впровадження сучасних ефективних заходів щодо зниження бар'єрного ефекту і смертності представників фауни, мінімізації витрат на створення умов безпечного співіснування довкілля та дорожньої інфраструктури.

### Основна частина

У Європі точкою відліку для інтеграції знань щодо дефрагментації ландшафту є Action COST 341 (1999-2003), в якому сгенеровані технічні заходи, спрямовані на зменшення негативних наслідків транспортної інфраструктури. Інформація щодо мінімізації негативного впливу на дику природу досить детально представлена європейською комісією та організацією InfraEcoNetworkEurope в документі «Fauna y Tráfico», де на підставі експериментальних проєктів розроблено керівні принципи і рекомендації щодо виявлення конфліктів (між господарською діяльністю людини і природою) (Iuelletal., 2005). Технічні стандарти будівництва споруд для дефрагментації ландшафту висвітлені у Handbook of Road Ecology (Vander Reeetal. 2015) та Prescripciones técnicas (2015). В Росії розроблено СП «Биопереходы на объектах транспортной инфраструктуры. Правила проектирования», який буде введений у дію 17.06.2020 р. Цей стандарт містить перелік видів адаптаційної здатності фауни на різних типах переходів і конструктивних рішень для біопереходів.

В Україні питання, які стосуються біопереходів, також розглядаються в нормативних документах, зокрема, у п. 9.5. ДБН В.2.3-22:2009 вказується, що у місцях міграції диких тварин мають бути передбачені біопереходи над або під автомобільними дорогами і залізницями за спеціальними технічними вимогами місцевих природоохоронних органів. У цьому ж документі наводиться визначення терміну біоперехід – спеціальна транспортна споруда у вигляді моста або тунелю (труби), що призначена для проходу диких або домашніх тварин (ДБН В.2.3-22:2009).

Питання захисту тваринного світу від негативного впливу автомобільних доріг пропонують вирішувати шляхом будівництва біопереходів — інженерних споруд для міграції тварин (Р В.2.3-03450778-812:2013). З метою уникнення негативних впливів на біоту на перетині шляхів міграції диких тварин з автомобільними дорогами з інтенсивністю руху більше 10 000 авт/добу рекомендовано влаштовувати біопереходи та огороження висотою від 2,0 м до 2,5 м і довжиною не менше ніж 0,5 км по обидві сторони від шляху міграції тварин (ГБН В.2.3-218-007:2012). Згідно з п. 5.3. ДБН В.2.3-22:2009 габарити мостів для прогону худоби слід приймати завширшки не менше ніж 6,0 м, заввишки не менше ніж 2,5 м. Якщо споруди призначено для міграції диких тварин (біопереходи), то їх габарити призначаються за технічними вимогами природоохоронних органів. Згідно п. 4.4. ВБН В.2.3-218-198:2007, гофровані конструкції біопереходів доцільно проектувати

у вигляді півкруглої арки з радіусом не менше ніж 3 м, яка обпирається на стрічковий фундамент.

Проте в Україні наразі не розроблені правила проектування таких об'єктів в умовах сучасного будівництва та стандарти щодо облаштування такого роду конструкцій.

У Європейських стандартах зазначається при розробленні заходів щодо дефрагментації ландшафту, слід уникати тривіальності та враховувати специфіку регіону. Заходи щодо дефрагментації середовищ існування традиційно поділяють на дві групи:

- заходи, що зменшують фрагментацію, забезпечуючи зв'язок між порушеними середовищами існування (шляхопроводи, переходи тощо);
- заходи, що створюють умови для підвищення безпеки дорожнього руху та зменшення смертності тварин, пов'язаної з дорожнім рухом.

Такий поділ на групи обумовлений різними функціями, однак на практиці ця відмінність є розмитою і заходи можуть одночасно виконувати обидві функції. Крім того, слід зазначити, що конструктивні рішення забезпечення безпеки руху на дорогах мають супутні негативні наслідки (огорожі є засобом зменшення кількості зіткнень між великими ссавцями та автомобілями, але збільшують фрагментацію середовища). Отже, вони можуть розглядатися як засіб пом'якшення подрібненості лише в поєднанні з біопереходами, які компенсують негативний бар'єрний ефект. Яскравим прикладом консолідації двох груп заходів є проходи для видр, які одночасно зв'язують фрагментовані ділянки та зменшують кількість загиблих на дорозі тварин (Fauna у Tráfico, 2005).

Заходи, спрямовані на зменшення смертності тварин, включають також адаптацію інженерних споруд (водостоки, канами, водопропускні труби тощо), які можуть бути смертельними пастками, особливо для дрібних тварин. Основним завданням в регіонах призбільшенні транспортного потоку є не проектування нових лінійних транспортних структур, а удосконалення існуючих з урахуванням специфіки регіону.

Аналіз світового досвіду будівництва біопереходів, дозволяє класифікувати їх за видами: ландшафтні мости, екодуки, «зелені мости», переходи по верхівках дерев, по дорожньому покриттю, підземні проходи, тунелі та кульверти (водопропускні труби). У цілому термін «перехід для дикої природи» окреслює зв'язки на рівні популяції/субпопуляції, а «ландшафтний міст» – на рівні ландшафт/екосистема. Проте, розмежування є штучним і обумовлюється рекомендованою шириною.

Ландшафтні мости та *wildlife crossing* (естакади дикої природи) будуються через дорогу з кількома смугами та/або з високою щільністю і швидкістю руху, або з комбінацією обох складових. Це ефективні споруди для локальної мінімізації фрагментації ландшафту для багатьох видів тварин, оскільки вони з'єднують біогеоценози і не будуються лише для одного або двох цільових видів. Це вимагає проектного моделювання місць існування по обидва боки від інфраструктури з урахуванням характеристик біоценозів, кліматопу та едафотопу.

Мости є складними інженерними спорудами, які облаштовують у місцях активної міграції тварин та добре інтегруються в ландшафт. Призначені для збереження або встановлення зв'язку між біотопами за рахунок озеленення крайових зон, формування лук, деревно-чагарникової рослинності, сухих або вологих зон на мосту. Ширина, конструкція та рослинність значною мірою залежать від цільових видів. Це означає, що зв'язок між лісовими екосистемами потребує на шляхопроводі принаймні елементів типового середовища існування. Це яскраво відображено на трасі В31neu Шварцграбен на півдні Німеччини (рис. 1, а). Ширина моста 50 м, він гармонійно поєднаний з місцевою дорогою, густо покритий кущами та невеликими деревами, оскільки з'єднує лісові екосистеми (Prescripciones técnicas, 2015). Мости також виступають орієнтирами для птахів, кажанів та метеликів, і зменшують їх побоювання перетинати відкриті поверхні.

На рис. 1, б зображено екологічний міст (Eco-Link@BKE), який дозволяє тваринам перетинати шосе, що проходить між заповідниками Bukit Timah і Central Catchment (Словацька

Республіка), що сприяє взаємодії диких мешканців з двох заповідників. Покращення взаємодії, у свою чергу, запобігає генетичній ізоляції, сприяє значному поширенню генофонду, скороченню інбридингу та підвищенню виживання виду.



а)

б)

**Рисунок 1** — Приклади екодуків: а) екодук у Німеччині; б) екодук у Словаччині

Для будівництва біопереходів у світовій практиці використовують різноманітні матеріали: клеєний брус, сталь, бетон, композитні матеріали та залізобетон.

По суті екодук — той самий міст, призначений для переходу тварин. Він потребує складнішого облаштування — подовжені підходи для створення пологого підйому і спуску, що вимагає додаткового відчуження земель, додаткового озеленення, аж до створення рослинно-дернового покриття на самій естакаді, утримання цієї споруди в належному стані, у результаті чого капітальні і поточні витрати перевищують аналогічні показники для звичайної естакади, призначеної для автомобільного транспорту. Варіант улаштування тунелю під автомобільною дорогою, який був би привабливим не тільки для дрібних, а й великих тварин стикається з тією ж проблемою: облаштування й експлуатація такого тунелю дорожче аналогічної споруди для автотранспорту.

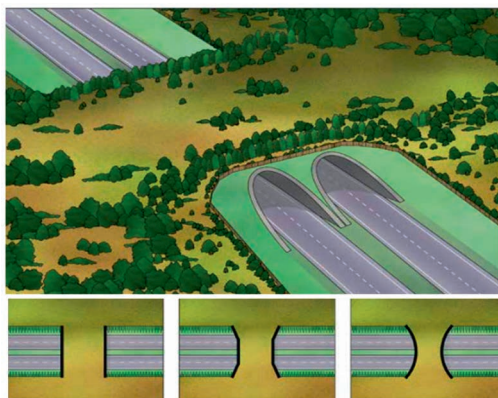
Архітектура споруд різноманітна і має створювати комфортні умови як для людей, так і для тварин. Наприклад, екодук у формі аркової споруди створює відчуття природного середовища для тварин (цільної ділянки лісу), але і забезпечує достатню освітленість проїзної частини для водіїв. Також розробляють проекти екодуків з оглядовими майданчиками (можна проводити моніторинг дикої природи в наукових цілях або просто спостерігати за природою).

Конструкція у вигляді параболічної труби, хоча і дорожча, ніж прямокутна, полегшує тваринам пошук точок перетину дороги (рис. 2). Фітоценози на поверхні конструкції повинні бути різноманітними, об'єднувати відкриті простори центральної частини з поздовжніми полосами дерев та кущів щільнішими і вищими у секціях. Найкраще планувати будівництво так, щоб місця входу були на одному рівні з поверхнею землі та забезпечити подібність з довкіллям. Також дуже важливо мінімізувати порушення спокою тварин світлом і шумом автомобілів для цього рекомендовано по краях розміщувати непрозорі екрани або густі зарості чагарників.

Необхідно передбачити дренаж поверхні на схилі (2–3 %) його центральної поздовжньої осі до країв із шаром ізолюючого матеріалу для захисту основи і забезпечення довговічності. Зверху над прогоновою будовою розміщується монолітна плита (рис. 2), на поверхню якої наноситься гідроізоляція. Зверху насипається ґрунт, створюється дерновий шар, висаджується трава, чагарники, дерева.

Підвищений рівень шумового навантаження безпосередньо на підходах до біопереходу і на

ньому створює своєрідний «психологічний бар'єр» для тварин. Зазвичай ця проблема вирішується шляхом влаштування шумозахисних екранів, як це зроблено на автомобільній дорозі М-3 (Україна), що додатково здорожчує конструкцію. Конструкція має бути закрита для відвідування людей (решітки, попереджувальні знаки). Проектні рішення ландшафтних біопереходів повинні мінімізувати потрапляння світла з об'єктів транспортної інфраструктури. Рекомендовані параметри ландшафтного мосту (СП 461.1325800.2019): рекомендована ширина конструкції — більше ніж 100 м, мінімальна ширина — 70 м, висота огорожі — 2,4 м, товщина настилу 1,5–2,0 м (щоб забезпечити зростання дерев висотою 2,4–3,6 м, а також ефективний рівень зволоженості ґрунту), товщина шару ґрунту на мосту для чагарників – 60 см, трав'янистої рослинності — 30 см. Ґрунт необхідно використовувати з прилеглих територій, з метою використання переваг місцевого насінневого банку та мінімізації ризиків інтродукції. Зелені мости повинні мати форму пісочного годинника, тобто звужуються від контропори до центру. Іноді будують прямокутні конструкції.



*Рисунок 2* — Конструкція у вигляді параболічної труби (Prescripciones técnicas, 2015)

У випадку, якщо рівень проходу у центральній частині ландшафтного шляхопроводу вище земляного полотна, то необхідно, створити пологі підходи не більше 15 %, а закладання укосів виїмки — не крутіше ніж 1:2. Прогони центральної частини ландшафтного шляхопроводу і на підходах до нього повинні бути вкриті шаром ґрунту з фітоценозами, типовими для даного ландшафту (переважно трави та чагарники, дерева заввишки до 2,5–4,0 м), можливе розміщення каменів. Ширина переходу повинна поступово розширюватися в обидва кінці (вигляду пісочного годинника), з метою повного нівелювання споруди та плавного переходу в прилеглі екосистеми (Wansink, 2013).

Рекомендовану стандартну ширину біопереходів (між огорожами) можна зменшити до 20 м (мінімальна), за умови забезпечення коридору руху для невибагливих видів, таких як косуля (можуть використовувати воронкоподібні шляхопроводи мінімальною шириною менше ніж 20 м, але на вході не менше 40 м), або якщо споруда знаходиться безпосередньо на міграційних шляхах. Тварини, які ведуть осілий спосіб життя можуть використовувати вузьчі шляхопроводи, але частота їх використання менша, ніж більш широких. Крім того достеменно не вивчено питання як молоді тварини реагують на вузькі переходи, наприклад, під час розгону. Необхідна ширина залежить від довжини шляхопроводу, мінімальне відношення ширини до довжини повинно бути більше ніж 0,8.

Рекомендована мінімальна ширина для ландшафтних мостів не менше 80 м (Wansink, 2013; Technical prescriptions, 2016, COST 341, 2003). Це дозволяє створити різні середовища існування для забезпечення зв'язку між екосистемами. Оптимальна ширина залежить від різноманітності та значимості середовищ існування, які мають бути з'єднані. У деяких випадках, ландшафтний міст



може бути завширшки кілька сотень метрів, щоб зберегти сполучуваність ландшафту. Натомість у ОДМ 218.6.023-2017 вказується — від 20 м до 40 (50) м, залежно від крупності тварин: лось — завбільшки ніж 40 (50) м, косулі, кабани, ведмеді, рисі, вовки — від 30 м до 40 м, лисиці, куниці — менше ніж 30 м.

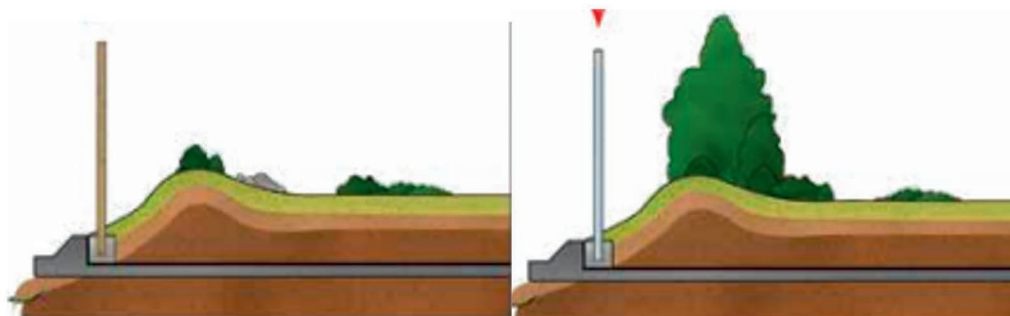
У літературі (Prescripciones técnicas, 2015) вказується, що найбільший ефект спостерігається від комплексів біопереходів, які розташовані на віддалі (1–15) км один від одного та доповнюються огорожувальними спорудами. Особливого значення набуває спеціально посаджена рослинність, яка відповідає сформованим екосистемам території і створює звичне для диких тварин середовище. Є певні особливості, які необхідно враховувати при проектуванні, зокрема, великі тварини потребують ширших шляхопроводів. Для них ширина та розташування більш важлива, ніж деталі конструкції, субстрат чи рослинність. Дрібні хребетні та безхребетні більше покладаються на особливі умови середовища існування, які можуть бути забезпечені лише на відносно широких переходах. Арки та інші типи конструкцій аналогічні тим, що використовуються під час будівництва мостів.

Важливим моментом є також розміщення такого мосту — на міграційних стежках, які можна визначити, наприклад, методом картографування доріжок на снігу/піску/пилу, фотопасток тощо, при плануванні спорудження такого мосту необхідно уникати сильно порушених зон, ділянок зі значними перепадами відміток місцевості або на насипах.

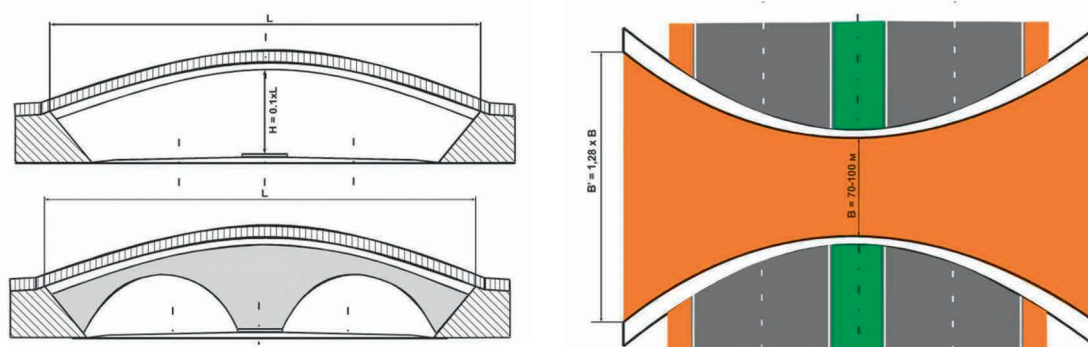
Фітоценоз повинен відображати природні місця існування зооценозу, розташовані по обидва боки інфраструктури. Рослини необхідні для спрямування як цільових, так й інших видів тварин через шляхопровід, напрямну лінію, прикриття та захист від світла і шуму від дороги, особливо для великих видів ссавців. Штучні екрани доцільніше облаштовувати на відносно вузьких шляхопроводах. При облаштуванні двометровим екраном огорожі не потрібні, крім того необхідно уникати високих екранів, оскільки вони можуть створювати негативний тунельний ефект для тварин. На мостах завширшки 50 м і більше допускається не облаштовувати штучних шумозахисних екранів. Екрани необхідні і в місцях, високого рівня впливу на тварин світла фар від автомобільного транспорту. Для збільшення робочої поверхні мосту екрани зазвичай розміщують на зовнішньому краю конструкції. Земляні насипи зовнішнього краю шляхопроводу, що простягаються вздовж транспортної інфраструктури, є хорошими екранами. Вони особливо підходять для широких шляхопроводів і ландшафтних мостів. Щільні живоплоти, що використовуються як екрани, найкраще розміщувати на низькому земляному насипі. У посушливих кліматичних умовах для зниження шумового ефекту від дороги доцільним є розміщення непрозорого екрану, а в умовах помірного клімату — сітчастої огорожі із зеленим екраном (рис. 3). Мінімальна висота екрану — 2 м, матеріал повинен гарантувати довговічність (оброблене дерево, пофарбований бетон або метал). За необхідності полегшення обслуговування конструкції, між екраном та рядом рослин можна залишити невеликий простір.

За потреби на мосту можуть розміщатися лінійні елементи — живоплоти, сухі стіни, дерев'яні огорожі, які не перешкоджають руху тварин. Крім того, рекомендується розміщення каміння або стовбурів дерев для забезпечення функціонування мікроекосистем та схованок тварин, що приманює безхребетних, рептилій та інших дрібних тварин. Особливо цінні такі елементи на початкових етапах спорудження, коли рекультиваційні механізми ще не запущені. Приклади типових конструкцій екодуків наведено на рис. 4.

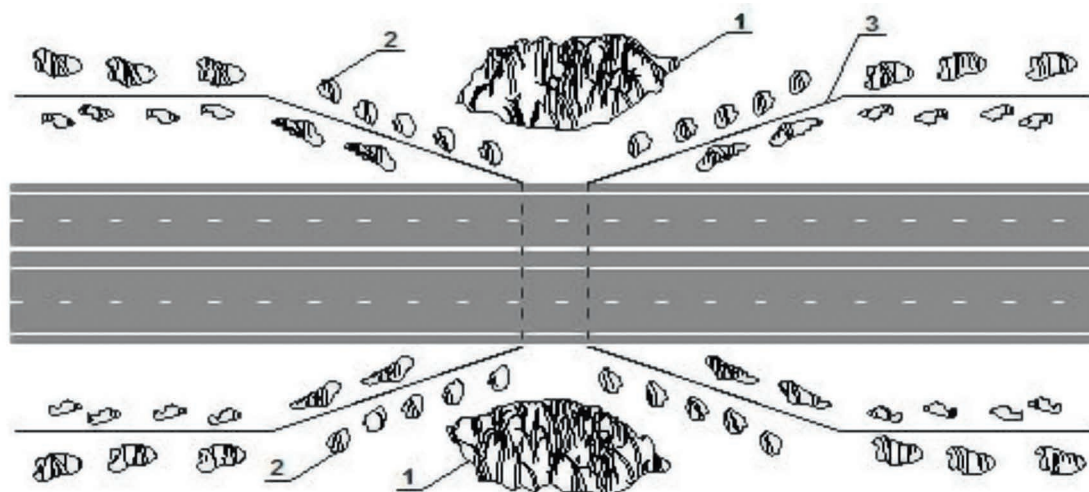
Для спрямування тварин передбачаються сітчасті огорожі, земляні насипи, зелені пояси (рис. 4) не менше ніж 500 м у кожен бік. В ОДМ218.6.023-2017 вказано, що огороження встановлюють з двох боків дороги на відстані від краю проїзної частини 20–25 м на дорогах I–III категорій і 10–15 м — на дорогах IV і V категорій (або по лінії межі смуги відведення).



**Рисунок 3** — Розміщення непрозорого екрану та сітчастої огорожі із зеленим екраном (Prescripciones técnicas, 2015)



**Рисунок 4** — Приклади типових конструкцій екодуків (ОДМ 218.6.023-2017)



1 — природні фітоценози; 2 — декоративні рослини; 3 — огорожа

**Рисунок 5** — Схема інженерного облаштування огорожі в місцях перетину шляхів міграції тварин і дороги (ОДМ 218.6.023-2017)

Біопереходи (ландшафтні шляхопроводи, екодуки, тунелі) поєднуються з огорожами без розривів, проміжків, дірок тощо, для унеможливлення виходу тварин на проїзну частину. Огородження рекомендовано встановлювати з обох боків дороги в одному створі в поперечному профілі, а в поздовжньому профілі — по одній лінії. В українських нормативних документах відсутні рекомендації щодо конструкцій огорож біопереходів, наявні рекомендації щодо облаштування огорожень другої групи (ДСТУ Б В.2.3-11-2004) для запобігання виходу тварин на дорогу. Як елементи огорожі біопереходів, як правило, використовують уніфіковані за конструкцією, матеріалами та способом монтажу. Конструкції огорожі повинні відповідати загальним технічним вимогам ДСТУ Б В.2.3-11-2004 та ДСТУ 8751:2017.

Для запобігання перетину тваринами дороги по закінченні лісової зони огорожі встановлюють 100 м від кінця узлісся. Висоту огорожі визначають залежно від виду диких тварин: олень, лось, лань — (2,4–2,8) м; косуля, кабан, борсуки — (1,6–2,4) м; лисиці, норки, ласки, куниці — (1,2–1,6) м з розміром комірки (1–2) см. Мінімальна висота огорожі з боку підходу тварин — 2,4 м. Якщо місце встановлення нижче, ніж дорога, то огорожа може бути нижче рівня бровки земляного полотна землі. Залежно від рельєфу і глибини снігового покриву висота огорожі може бути збільшена до 3,7 м. Якщо в лісовій зоні переважають норки, ласки або куниці, загальна висота огорожі над рівнем землі з відігнутою верхньою частиною (кут від 30°–45° в бік лісу) сітки повинна бути не менше (15–25) см.

У верхній (для візуального збільшення висоти огорожі) і нижній (для запобігання підкопування тварин) частині огорожі рекомендується натягувати колючий дріт. Крім того, в місцях, де присутні тварини, здатні робити підкопи (ведмеді, собачі, борсуки, кабани) огорожу заглиблюють в ґрунт (землю) на (20–40) см.

Елементи огорожі повинні бути міцними і стійкими до дії різних чинників в діапазоні температур від мінус 50 °С до плюс 50 °С, підвищеної вологості повітря — до 100 % за температури 35 °С, конструкція повинна витримувати снігове навантаження не менше ніж 1,5 кН/м, відхилення від прямолінійності поздовжніх площин елементів огорожі — не більше 3,0 см/м, колір огорожі — зелений, чорний, червоний або сірий. Контроль виконання вимог призначеності та надійності огороження здійснюється за встановленим порядком при прийманні робіт із будівництва, реконструкції, ремонту автомобільної дороги, вулиці, штучної споруди. Полотно може бути зроблено зі збірних конструктивних елементів розмірами (1,8–4,0) м. У разі застосування металевих або дерев'яних огорож віддаль між вертикальними (горизонтальними) елементами заповнення (2–12) см. У сітчастих огорожах — вічко розміром від 4 см × 4 см до 16 см × 16 см; діаметр дроту в горизонтальному напрямку — не менше ніж 2,0 мм, у вертикальному напрямку — не менше ніж 1,9 мм, на крайніх трьох вертикальних рядах — не менше ніж (2,5–3,0) мм; в місцях з великими снігопадами сітка повинна бути посилена кабелем, розташованим над нею; дріт сітчастої огорожі (оцинкований) повинен мати міцність на розрив (розтяг) — (60–120) кг/мм<sup>2</sup>. Для малих тварин, дуже важлива подібність фітоценозу звичним умовам існування. Наявність рослинного покриву сприяє привабливості для трав'янистих тварин, забезпечуючи трофічну функцію.

Рекомендовано використовувати аборигенні дерева та чагарники, адаптовані до умов поверхні екодуків (іноді дуже посушливі). Щодо трав'яного покриву, то краще спонтанне заростання (за рахунок перенесення насіннєвого банку (сіно, ґрунт) з прилеглих до шляхопроводу ділянок), що є альтернативою використанню дорогих насінневих сумішей. Необхідно також враховувати проблеми з технічним обслуговуванням на шляхопроводі, які можуть виникати через корені дерев, тому рекомендовано скрупульозно підходити до вибору порід дерев.

Отже, біопереходи дозволяють диким тваринам перетинати дороги в місцях пролягання міграційних шляхів, що мінімізує ризик автокатастроф для людей і для тварин; сприяють

генетичному оновленню, відновленню і росту окремих популяцій; пом'якшують наслідки фрагментації природного місця існування, забезпечуючи вільне переміщення особин між ареалами.

### Висновки

Заходи щодо дефрагментації середовища існування спрямовані на зниження перевантаження функціонуючої інфраструктури, зокрема бар'єрного ефекту. Здійснений аналіз дає змогу виявити кращі приклади будівництва біопереходів і застосувати прогресивний вітчизняний та міжнародний досвід для вдосконалення існуючих проєктів із використанням досвіду розроблення ЄС. Систематизація основних технічних принципів проєктування біопереходів є основою для розробки національного стандарту щодо вимог до проєктування біопереходів на автомобільних дорогах для визначення чітких вимог до проєктування, будівництва, ремонту й утримання екодуків для диких тварин на автомобільних дорогах.

### Список літератури

1. ВБН В.2.3-218-198:2007 Проєктування та будівництво споруд із металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2007. 32 с. (Інформація та документація).
2. Гавриленко О. Транспортні геотехсистеми як фактор втрати біорізноманіття. *Географія*. 3(68)/4(69)/2017. С. 35-40. URL: [http://visnyk-geo.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2018/02/68-69\\_-7.pdf](http://visnyk-geo.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2018/02/68-69_-7.pdf) (дата звернення: 27.07.2020).
3. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проєктування. Київ, 2009. 52 с. (Інформація та документація).
4. ДСТУ 8751:2017 Безпека дорожнього руху. Огородження дорожні і напрямні пристрої. Правила використання. Загальні технічні вимоги. Київ, 2019. 44 с. (Інформація та документація).
5. ДСТУ 8814:2018 Транспортні споруди. Мости автодорожні. Терміни та визначення понять. Київ, 2019. 33 с. (Інформація та документація).
6. Звіт з оцінки впливу на довкілля будівництва автомобільної дороги державного значення Н-31 Дніпро – Царичанка – Кобеляки – Решетилівка від села Лобойківка до межі Дніпропетровської області І-б технічної категорії з 4 смугами руху (по 2 смуги в кожному напрямку) в обхід населених пунктів Лобойківка, Петриківка, Могилів, Китайгород, Царичанка, Ляшківка. 459 с. URL: <http://eia.menr.gov.ua/uk/case/id-533> (дата звернення: 27.07.2020).
7. Рубцов А.А., Евгеньев Г.И. Биопереходы для животных на автомобильных дорогах I категории. *Международный студенческий научный вестник*. 2017. № 4 (7). URL: <http://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=17622> (дата звернення: 07.05.2020).
8. СП 461.1325800.2019 Биопереходы на объектах транспортной инфраструктуры. Правила проектирования. Москва, 2020. 25 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/564542857> (дата звернення: 07.05.2020).
9. ОДМ 218.6.023-2017 Методические рекомендации по обеспечению безопасности дорожного движения на участках пересечения автомобильными дорогами путей миграции животных. Москва, 2017. 39 с. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293742/4293742971.pdf> (дата звернення: 27.07.2020).
10. ДСТУ Б В.2.3-11-2004 Огородження дорожнє перильного типу. Загальні технічні умови. Київ, 2005. 12 с. (Інформація та документація).

11. Р В.2.3-03450778-812:2013 Рекомендації з влаштування біопереходів для міграції тварин через автомобільні дороги. Київ, 2013. 14 с. (Інформація та документація).
12. ГБН В.2.3-218-007:2012 Споруди транспорту. Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування. Київ, 2012. 27 с. (Інформація та документація).
13. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування. Київ, 2009. 52 с. (Інформація та документація).
14. COST 341 Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure Wildlife and traffic a European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions. 2003. URL: <https://handbookwildlifetraffic.info/handbook-wildlife-traffic/> (дата звернення: 05.05.2020).
15. Iuell B., Bekker G.J., Cuperus R., Dufek J., Fry G., Hicks C., Hlavác V., Keller V.B., Rosell C., Sangwine T., Tørsløv N. & Wandall B. le Maire. (Eds.). 2005. Fauna y Tráfico. Manual europeo para la identificación de conflictos y el diseño de soluciones. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Serietécnica. 166 p. URL: <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/conectividad-fragmentacion-de-habitats-y-restauracion/fragmentos-grupo-trabajo.aspx> (дата звернення: 02.08.2020).
16. Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallado perimetrales (segunda edición, revisada y ampliada). Madrid, 2015. URL: [https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/publicaciones/prescripciones\\_pasos\\_vallados\\_2a\\_edicion\\_tcm30-195791.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/publicaciones/prescripciones_pasos_vallados_2a_edicion_tcm30-195791.pdf) (дата звернення: 05.05.2020).
17. Technical prescriptions for wildlife crossing and fence design (second edition, revised and expanded). 2016. 123 p. URL: [https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/technical\\_prescriptions\\_wildlife\\_crossing\\_tcm30-195792.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/technical_prescriptions_wildlife_crossing_tcm30-195792.pdf) (дата звернення: 03.05.2020).
18. Vander Ree, R., Smith, D.J. and Grilo, C (eds.). Handbook of Road Ecology. John Wiley & Sons. Oxford. 2015. 552 p. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118568170> (дата звернення: 02.08.2020).

### References

1. VBN V.2.3-218-198:2007 Proektuvannia ta budivnytstvo sporud iz metalevykh hofrovanykh konstruktsii na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia (Federal building regulations (VBN V.2.3-218-198:2007) Design and construction of structures made of corrugated metal structures on public roads). Kyiv, 2007. 32 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
2. Gavrylenko O. Transportni heotekhsystemy yak faktor vtraty bioriznomanittia (Transport geotechnical systems as a factor of loss biodiversity). *Visnik. Geografiâ (Kiïvs'kij nacional'nij universitet imeni Tarasa Ševčenko*. Kyiv, 2017. Vol. 3(68)/4(69). P. 35-40. URL: [http://visnyk-geo.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2018/02/68-69\\_-7.pdf](http://visnyk-geo.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2018/02/68-69_-7.pdf) (Last accessed: 27.07.2020) [in Ukrainian].
3. ДБН В.2.3-22:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування (State Building Norms (DBN V.2.3-22:2009) Transport facilities. Bridges and pipes. Basic design requirements). Kyiv, 2009. 52 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
4. DSTU 8751:2017 Bezpeka dorozhnogo rukhu. Ohorodzhennia dorozhni i napriamni prystroi. Pravyla vykorystannia. Zahalni tekhnichni vymohy (State Standard of Ukraine (DSTU 8751:2017) Road safety road barriers and guiding device. Rules of using. General technical requirements). Kyiv, 2019. 44 p. [in Ukrainian].
5. DSTU 8814:2018 Transportni sporudy. Mosti avtodorozhni. Terminy ta vyznachennia

poniat (State Standard of Ukraine (DSTU 8814:2018) Transport structures. Highways bridges. Terms and determinations of concepts). Kyiv, 2019. 33 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

6. Zvit z otsinky vplyvu na dovkillia budivnytstva avtomobilnoi dorohy derzhavnogo znachennia N-31 Dnipro – Tsarychanka – Kobeliaky – Reshetylivka vid sela Loboikivka do mezhi Dnipropetrovskoi oblasti I-b tekhnichnoi katehorii z 4 smuhamy rukhu (po 2 smuhy v kozhnomu napriamku) v obkhid naselenykh punktiv Loboikivka, Petrykivka, Mohyliv, Kytaihorod, Tsarychanka, Liashkivka. 459 p. URL: <http://eia.menr.gov.ua/uk/case/id-533> (Last accessed: 27.07.2020) [in Ukrainian].

7. Rubczov A.A., Yevgenev H.I. Bioperekhody dlya zhivotnykh na avtomobilnykh dorogakh I kategorii (Biological transitions for animals on the I category roads). *Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik*. Moscow, 2017. N 4 (7). URL: <http://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=17622> (Last accessed: 07.05.2020) [in Russian].

8. SP 461.1325800.2019 Bioperekhody na obyektakh transportnoy infrastruktury. Pravila proyektirovaniya (Set of rules (SP 461.1325800.2019) Wildlife crossings on transport infrastructure objects. Design rules). Moscow, 2020. 25 p. [in Russian].

9. ODM 218.6.023-2017 Metodicheskiye rekomendatsii po obespecheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na uchastkakh peresecheniya avtomobilnymi dorogami putey migratsii zhivotnykh (Methodological recommendations for ensuring road safety at sections of road crossing of animal migration routes). Moscow, 2017. 39 p. (Information and documentation) [in Russian].

10. DSTU B V.2.3-11-2004 Sporudy transportu. Ohorodzhennia dorozhnie perylnoho typu. Zahalni tekhnichni umovy (State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.3-11-2004) Road safety. Railing. General specifications). Kyiv, 2005. 12 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

11. R V.2.3-03450778-812:2013 Rekomendatsii z vlashtuvannia bioperekhodiv dlia mihratsii tvaryn cherez avtomobilni dorohy (Rekomendatsii (R V.2.3-03450778-812:2013) Recommendations for the arrangement of biotransitions for the migration of animals across highways). Kyiv, 2013. 14 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

12. HBN V.2.3-218-007:2012 Sporudy transportu. Ekolohichni vymohy do avtomobilnykh dorih. Proektuvannia (Departmental Building Norms (HBN V.2.3-218-007:2012) Transport facilities. Environmental requirements for roads. Designing). Kyiv, 2012. 27 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

13. DBN V.2.3-22:2009 Sporudy transportu. Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannia (State Building Norms (DBN V.2.3-22:2009) Transport facilities. Bridges and pipes. Basic design requirements). Kyiv, 2009. 52 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

14. COST 341 Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure Wildlife and traffic a European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions URL: <https://handbookwildlifetraffic.info/handbook-wildlife-traffic/> (Last accessed: 05.05.2020) [in English].

15. Iuell B., Bekker G.J., Cuperus R., Dufek J., Fry G., Hicks C., Hlavác V., Keller V.B., Rosell C., Sangwine T., Tørsløv N. & Wandall B. le Maire. (Eds.). 2005. Fauna y Tráfico. Manual europeo para identificación de conflictos y el diseño de soluciones. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Serietécnica. 166 p. URL: <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/conectividad-fragmentacion-de-habitats-y-restauracion/fragm-documentos-grupo-trabajo.aspx> (Last accessed: 02.08.2020) [in Spanish].

16. Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallado perimetrales (segunda edición, revisada y ampliada). Madrid, 2015. URL: [https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/publicaciones/prescripciones\\_pasos\\_vallados\\_2a\\_edicion\\_tcm30-195791.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/publicaciones/prescripciones_pasos_vallados_2a_edicion_tcm30-195791.pdf) (Last accessed: 05.05.2020) [in Spanish].

17. Technical prescriptions for wildlife crossing and fence design (second edition, revised and expanded). 2016. 123 p. URL: [https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/technical\\_prescriptions\\_wildlife\\_crossing\\_tcm30-195792.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/technical_prescriptions_wildlife_crossing_tcm30-195792.pdf) (Last accessed: 03.05.2020) [in English].

18. Vander Ree, R., Smith, D.J. and Grilo, C (eds.). Handbook of Road Ecology. John Wiley & Sons. Oxford. 2015. 552 p. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118568170> (Last accessed: 02.08.2020) [in English].

---

**Kostiantyn Medvediev**, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-0704-7093>

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

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

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

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

National Transport University, Kyiv, Ukraine

### **BASIC TECHNICAL PRINCIPLES OF WILDLIFE CROSSINGS**

#### **Abstract**

**Introduction.** Ensuring further economic growth and social change in Ukraine involves the development of the road network and its infrastructure in accordance with European requirements. Infrastructure that ensures the efficient functioning of the road industry includes directly the road network and structures on it, including bridges, overpasses, landscape bridges, wildlife crossings, etc.). Each of these components has a local negative impact on the environment, while the impact of infrastructure as a whole is regional and sometimes global.

**Problem Statement.** It is difficult to assess the impact of individual components of transport infrastructure on wildlife, as the transport network creates new factors of influence for animals, often they can not adapt to them. When laying roads, usually a larger area of land resources is withdrawn from circulation than is required for the roadway itself. At the same time, natural habitats of animals are destroyed (due to the felling of trees, shrubs, drainage of swamps, backfilling of reservoirs). When substantiating design decisions, the basic estimates are possible damage to hunting and endangered species, industrial and valuable fish species, and agricultural production. Laying the road through migration routes is also a matter of traffic safety, as mass migration can impede traffic and endanger people's lives. This is important not only for large animals (danger of collision), but also for small members of the fauna (loss of control, increased braking distance). A characteristic feature of vehicle collisions with animals is their concentration on small sections of roads (0.6–0.8 km). The places of the most frequent collisions coincide with the sections passing in zero marks, embankments 2.0–2.5 m high and excavations of the same depth, have gentle slopes. According to experts, the number of collisions with animals in the total number of accidents does not exceed 2–4 %. The number of injured passengers is 20–25, deaths — 2–3 per 100 collisions with animals for which the collisions are fatal (Rubtsov, 2017). To ensure the conservation of biodiversity and the safety of road users, it is to prevent collisions with animals and, in our case, to avoid road construction or reconstruction where possible. When this is not possible, it is necessary to provide for the creation of structures for animals to cross roads (Gavrilenko, 2017). Thus, the problem of minimizing risks for both fauna and traffic through the construction of wildlife crossings and fences around the perimeter for the movement of fauna across highways is relevant.

**Purpose.** Provide basic technical characteristics for the design of wildlife crossings and perimeter fences that will facilitate the movement of fauna across roads with risk minimization for both fauna and traffic.

**Materials and methods.** The main research methods are the application of theoretical general scientific approaches to the study of urban objects: analysis and synthesis of international and domestic scientific and theoretical works, EU documentation (charters, design requirements), Ukrainian legal framework, literature sources; collection and analysis of statistical data to identify the dangers of the impact of road infrastructure on biodiversity and determine the value of the natural landscape of wildlife crossings.

**Results.** The result is a systematization of the basic technical principles of wildlife crossing design, methodological approaches and practical recommendations, which, taking into account the requirements for integration of wildlife at the planning stage of road infrastructure development, are the basis for choosing the best and simplest environmental solution that will preserve biodiversity. by defragmentation of habitats.

**Conclusion.** Habitat defragmentation measures are aimed at reducing the overload of existing infrastructure, including the barrier effect. Our analysis allows us to identify the best examples of the construction of wildlife crossings and apply progressive domestic and international experience to improve existing projects using the experience of EU developments. Systematization of the basic technical principles of designing of biotransitions is the basis for the development of a national standard on requirements for the design of wildlife crossings on highways to define clear requirements for the design, construction, repair and maintenance of wildlife crossings for wild animals on highways.

**Keywords:** highway (*road*)ecoducts, biodiversity, (*wildlifecrossing*), transport infrastructure, landscape fragmentation.



УДК 625.168

Миколаєнко О. А., <https://orcid.org/0000-0001-9732-1684>

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

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

## ПЕРСПЕКТИВА ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ПРОМИСЛОВОСТІ В КОНСТРУКТИВНИХ ШАРАХ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

### Анотація

**Вступ.** Зростаючі об'єми дорожнього будівництва збільшують необхідність розширення та раціонального використання сировинних ресурсів. У конструкції дорожнього одягу шари основи мають найбільшу товщину. Тому їх улаштування пов'язане з великою витратою будівельних матеріалів. У той же час, шари основи працюють у більш сприятливих умовах порівняно з покриттями, що дозволяє широко використовувати для їх будівництва місцеві матеріали і відходи промисловості. Особливістю дорожнього будівництва є споживання значних обсягів мінеральних ресурсів, в основному продуктів літосфери: монолітних та уламкових гірських порід, піску, граніту, гравію. Ці матеріали відносяться до не відновлюваних природних ресурсів. Нестача таких матеріалів в районі будівництва спричиняє необхідність їх транспортування на великі відстані, що збільшує вартість будівництва і призводить до значних витрат енергоресурсів, особливо — паливно-мастильних матеріалів.

Альтернативним вирішенням даної проблеми є використання місцевих матеріалів і відходів виробництва.

**Проблематика.** В умовах розвитку багатогалузевої промисловості України, й особливо видобутку корисних копалин, доквілля зазнає значних техногенних навантажень. За останні два століття було накопичено колосальну кількість промислових відходів, що займають гектари родючих земель і негативно впливають на стан навколишнього середовища.

Також на сьогоднішній день гостро стоїть питання використання вичерпаних природних ресурсів. Використання відходів промисловості в якості вторинної сировини може зменшити споживання природних будівельних матеріалів і набуває все більшої актуальності.

**Мета.** Метою роботи є аналіз світового та вітчизняного досвіду використання відходів промисловості у дорожньому будівництві.

**Матеріали і метод.** Аналіз інформаційних джерел щодо досвіду використання відходів промисловості в дорожньому будівництві за кордоном і дослідження можливості застосування відходів промисловості у вітчизняному дорожньому будівництві.

**Результати.** За результатами проведеного аналізу визначено та описано доцільність використання відходів промисловості в якості вторинної сировини для застосування у дорожньому будівництві.

**Висновки.** Запропоновано основні шляхи застосування відходів промисловості в дорожньому будівництві. Зазначено перспективи використання відходів промисловості при дорожньому будівництві.

**Ключові слова:** будівельні відходи, відходи вугільної промисловості, зола-винесення, шлак.

## Вступ

Потребу в кам'яних матеріалах для шарів дорожнього одягу можливо задовольнити за рахунок широкого використання вторинних продуктів промисловості, що призведе до зменшення обсягів використання природних будівельних матеріалів, шляхом їх заміни альтернативними. Доцільність їх використання обґрунтовують техніко-економічними розрахунками з урахуванням можливого зменшення терміну строку дорожнього одягу.

У зв'язку із зростанням кількості відходів промисловості відбувається збільшення числа місць складування їх на поверхні землі, що є причиною зростання міграції забруднюючих речовин в природне середовище: поверхня ґрунту — атмосфера (вивітрювання, перенесення пилу), атмосфера — атмосфера (перенесення забруднювачів в атмосфері), атмосфера — поверхня землі (осадження атмосферних забруднювачів), поверхня ґрунту — поверхня ґрунту (проникнення забруднювачів на різні глибини).

Крім техніко-економічної доцільності, використання при будівництві доріг відходів промисловості та вторинних ресурсів допомагає вирішувати екологічні проблеми регіону, вивільняючи займані відходами значні території, у тому числі, сільськогосподарські землі.

Різноманіття технічних і технологічних рішень, характерних для дорожньої галузі, дозволяє використовувати під час будівництва, ремонту та експлуатації доріг практично всі відходи промисловості. Виняток становлять відходи, що мають підвищений вміст канцерогенів і радіонуклідів.

Характерною особливістю відходів промисловості є неоднорідність, що проявляється в нестабільності фізико-механічних і хімічних властивостей. У зв'язку із цим, можливість використання конкретного відходу або вторинного продукту необхідно виявляти шляхом проведення лабораторних досліджень. Номенклатура відходів промисловості надзвичайно велика і різноманітна. Залежно від спеціалізації виробництва розрізняють металургійні шлаки (МШ) і відходи металургійного і ливарного виробництва, паливні шлаки і золи-винесення, відходи гірничорудної промисловості, побічні продукти коксохімічних підприємств, нафтогазової промисловості, різних підприємств хімічної та деревообробної промисловості, відходи будівництва.

У більшості країн доменні шлаки переважно переробляють на щебінь. У Франції та Чехії шлаки гранулюють. Також у країнах Європи широко набули застосування шлаки з електричної дугової печі (ЕАФ), доменної печі (BF) та киснево-конвертерні сталеплавильні шлаки, які використовують в шарах дорожнього покриття. Доменні шлаки США високо магнезійні (до 16 % MgO) тому є малопридатними для виробництва. Шлаки у Франції та Китаї низько основні і не схильні до силікатного розпаду. В Англії, Чехії частина шлаків має високу основність і використання їх обмежена [8]. Одними з найбільш широко відомих видів відходів, застосування яких впроваджене в дорожнє будівництво на теренах нашої держави є шлаки чорної, кольорової металургії та відходи гірничорудної промисловості. Їх утилізація є важливим джерелом отримання високоякісних матеріалів для дорожнього будівництва.

## Основна частина

### *Використання відходів вугільної промисловості*

У результаті вуглевидобувних і вуглепереробних робіт на території України геоекологічне середовище зазнало істотних змін. Це, насамперед, пов'язано із зміною природних ландшафтів під впливом накопичених відходів об'єктів вугільної промисловості, зміною геохімічних показників ґрунтів внаслідок додаткового надходження хімічних і мінеральних сполук [1].

Загальна площа відведених вугільним підприємствам земель становить близько 22 тис. га [2]. Загалом на підприємствах галузі було накопичено 2 989 млн т відходів II—IV класів небезпечності.



*Рисунок 1* — Породні відвали шахт



*Рисунок 2* — Свіжа порода в териконі

Перспективним та економічно доцільним є використання шахтних порід для спорудження земляного полотна, для будівництва конструктивних шарів дорожнього одягу, для вирівнювання територій і будівельних майданчиків тощо. Особливої уваги набуває проблема розширення сфери використання шахтних відвальних порід в умовах дефіциту місцевих природних кам'яних матеріалів. Досвід застосування цих порід дає змогу прогнозувати, що за дотримання належної підготовки та укладання, шахтні горілі породи можна успішно використовувати і в конструктивних шарах дорожнього одягу.



*Рисунок 3* — Відходи вугільної промисловості

### *Використання шлаків чорної металургії*

Металургійне виробництво відноситься до сфери, що у виробничому процесі утворює значну кількість відходів. На території України накопичено більше 30 млрд т промислових відходів, величина яких відноситься до найвищих показників у світі. Одним з основних джерел забруднення навколишнього середовища є вторинне забруднення в результаті вивезення важких металів із відвалів металургійних підприємств водними або повітряними потоками [3].

У період ХХ століття у дорожньому господарстві України накопичено досвід використання шлаків чорної металургії. Їх застосування дає можливість подовжувати будівельний сезон, збільшує міцність та надійність дорожніх конструкцій за рахунок своїх фізико-механічних властивостей, суттєво знижує енергоємність дорожнього одягу, спрощує технологію робіт та знижує кошторисну вартість будівництва дороги. При цьому встановлено, що конструктивні шари дорожнього одягу, влаштовані з відвальних шлаків мають високу несну здатність, тобто наявна тенденція до підвищення міцнісних показників, навіть під дією експлуатаційних навантажень і природно-кліматичних факторів. При повному дотриманні проектних, технологічних і експлуатаційних вимог шлакові конструкції через 5–10 років твердіння не поступаються, а через 10–20 років перевершують цементобетонні за міцнісними показниками і деформаційною стійкістю [4].

Властивості доменного шлаку у відвалах залежать від властивостей вихідних матеріалів, режиму доменного процесу і від умов його охолодження після зливу. Тому відвальний доменний шлак у відвалах різних заводів, та, навіть, у відвалі одного комбінату, відрізняється за зовнішнім виглядом, складом, будовою, фізичним та механічним властивостями. З часом під дією вологи і вуглекислоти відбуваються тривалі фізичні та хімічні процеси вапняного і залізного розпаду.

За даними Г. М. Каненко, А. Г. Злобина на металургійних підприємствах України накопичено 240 млн т шлаків, 128 млн т з яких є сталеплавильні [5].

Дослідження С. В. Арестова, Т. П. Галушкіна показують, що шлаковий щебінь в 1,5–2 рази дешевше природного і потребує в 4,5 рази менше питомих капітальних вкладень. Авторами розраховано нормативно-технічні характеристики для основних українських шлаків, які для доменних і гранульованих доменних в 1,5–2,0 рази вищі за нормативні показники на продукцію із природних кам'яних матеріалів. Важливим фактором, який стимулює використання шлаків, є постійне загострення енергетичної кризи, так як виробництво продукції із вторинних матеріалів потребує в 2–4 рази менше енергії, ніж для виробництва рівноцінної продукції із природної сировини [6].

Перше місце за обсягом та значенням для дорожньо-будівельної галузі належить доменним шлакам, отриманим як побічний продукт при виплавці чавуну із залізних руд. Його особливістю є неоднорідність за розмірами, фізико-хімічними властивостями та міцністю, що спричинило недовіру до цього матеріалу і обмежувало його застосування.

Хімічний склад металургійних шлаків та їх фізичні властивості дозволяють застосувати шлаки як компонент для виробництва будівельних матеріалів (шлакобетону і цементу) в дорожньому будівництві [7]. Використання шлакових матеріалів є найбільш технічно та економічно вигідними для використання в будь-яких будівельно-ремонтних роботах при будівництві автомобільних доріг. Щебінь та суміші з МШ застосовують в шарах дорожнього одягу, при укріпленні узбіччя, влаштуванні шорстких поверхневих обробок покриттів та приготуванні асфальтобетонних сумішей [8, 13, 15].

У більшості країн світу, як вже зазначалось, доменні шлаки переважно переробляють на щебінь [9].

У результаті діяльності теплоелектростанцій (ТЕС) утворюється значна кількість великотонажних відходів — золошлакових матеріалів (ЗШМ). Зола-винесення суха —

тонкодисперсний матеріал, розміром часток від мікрона до 0,315 мм. Це вторинний продукт, що залишається після згоряння вугілля на тепловій електростанції і у пиловидному стані вловлюється фільтрами.



*Рисунок 4* — Зразки шлаку чорної металургії

### ***Використання золи-винесення***

В Україні утворюється близько 7,5 млн т золошлакових відходів на рік. На золовідвалах ТЕС ДТЕК накопичено 240 млн т золошлаків.

Золошлакові відвали займають тисячі гектарів земель, придатних для використання в сільському господарстві. Ними забруднюються ґрунти, поверхневі, підземні води й особливо повітряний басейн.

В європейських країнах відсоток утилізації золошлакових відходів становить близько 92 %, у США — 41%, Індії — 50 %, Китаї — 65 %. Показник, якого вдалося досягти Україні на одній зі станцій — 43 %. Із застосуванням золошлакових матеріалів, у нашій країні уже освоєно виробництво цементу, бетону, сухих будівельних сумішей, цегли.

Використання золошлакових відходів значно знижує собівартість виробництва будматеріалів — не менше ніж на (15–20) %, а вартість робіт з будівництва доріг — у середньому, на 30 %. У світовій практиці золошлакові відходи використовували при будівництві швидкісної дороги Ейзенхауер у Чикаго, вежі Пікассо в Мадриді, найдовшого мосту в Данії, а також у бетоні при будівництві самого високого будови в світі — Burj Dubai в Дубаї.

У статті [11] досліджено можливість використання матеріалу в дорожньому покритті та проаналізовано оцінку впливу на навколишнє середовище. Тому разом з визначенням фізико-механічних властивостей дуже важливо враховувати екологічні аспекти.



*Рисунок 5* — Зразок золи-винесення, підготовлений до випробування

### Висновки

Відходи промисловості завдають шкоди здоров'ю населення, займають величезні площі, забруднюють токсичними з'єднаннями ґрунти, атмосферу та водойми, підвищують собівартість готової продукції підприємств через значні витрати на їх транспортування, розміщення та зберігання [12].

Виробнича діяльність підприємств вугільної та металургійної промисловості негативно впливає на довкілля регіонів і поширюється на суміжні з ними території, що призводить до порушення природно екологічного балансу. Окрім ґрунтів, що знаходяться безпосередньо під відвалами металургійної промисловості, під токсичний вплив підпадають території в радіусі 200 км від місця захоронення металургійних відходів [10, 14].

Але при утилізації відходів промисловості можна вирішити одразу дві взаємозв'язані задачі: попередження негативного впливу на навколишнє середовище та забезпечення будівельної промисловості матеріалами вторинної сировини. Враховуючи всі переваги, використання відходів виробництва в будівництві дорожнього одягу та земляного полотна автомобільних доріг сприятиме вирішенню наступних задач:

- збереження природних ресурсів;
- утилізація відходів виробництва;
- зниження вартості будівництва, реконструкції, капітального чи поточного середнього ремонту.

Хоча в таких країнах як Польща, Японія, Китай, США, Чехія, Франція, Англія, Італія вже давно застосовують відходи промисловості. В Україні спостерігається поступове зростання використання металургійних шлаків та золи-винесення в дорожніх роботах. Цьому також сприяє розпорядження Кабінету Міністрів України «Про застосування відходів промисловості в дорожньому будівництві» від 04.12.19 №1420-р.

### Список літератури

1. Новицький І.Ю., Перов М.О., Макортецький М.М. Оцінка впливу підприємств вугільної промисловості на довкілля. *Проблеми загальної енергетики*. 2019. Вип. 1. С. 59-63. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/PZE\\_2019\\_1\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/PZE_2019_1_11) (дата звернення: 27.07.2020).
2. Сургай Н.С., Вовк Г.Т. Экологическое положение в угольных регионах и пути решения природоохраннх проблем : доклад на семинаре «Экологическая безопасность объектов ТЭК». 2003. С.39-44.

3. Макарова В.Н. Влияние отвалов металлургического производства на состояние атмосферного воздуха. *Территория новых возможностей*. Владивосток, 2020. Т. 12. № 1. С. 115-120. DOI: [dx.doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2020-1/115-120](https://doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2020-1/115-120) (дата звернення: 27.07.2020).
4. Крюковська Л.І. До еколого-економічної оцінки заміни природних матеріалів металургійними шлаками при будівництві доріг. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2013. Вип. 27. С. 359-364. URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP\\_meta&C21COM=S&S21P03=FILE=&S21STR=Vntu\\_2013\\_27\\_54](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&S21P03=FILE=&S21STR=Vntu_2013_27_54) (дата звернення: 27.07.2020).
5. Каненко Г. М., Злобин А. Г. и др. Использование отходов металлургических предприятий в строительной индустрии. *Экология и промышленность*. Харьков, 2005. Вып. 1 (2). С. 41.
6. Арестов С. В., Галушкина Т. П. Основные направления современных экономических механизмов природопользования в Украине. *Экономические инновации*. Одесса, 1998. С. 23-30.
7. Крюковська Л. І., Скорченко В. Ф. Методи дослідження технічних характеристик шлаків для дорожнього будівництва. *Праці міжнародної науково-технічної конференції «Екологія промислових підприємств. Проблема утилізації відходів»* (13-17 вересня 2004 р., м. Ялта). Київ, 2004. 116 с.
8. ДСТУ Б В.2.7-149:2008 Будівельні матеріали. Щебінь і щебенево-піщані суміші із шлаків металургійних для дорожніх робіт. Технічні умови. Київ, 2009. 18 с. (Інформація та документація).
9. Рекус И.Г., Шорина О.С. Основы экологии и рационального природопользования : учеб. пособ. Москва, 2001. 146 с.
10. Романов П.С., Романова И.П. Рециклинг отходов металлургической промышленности как способ сбережения природных ресурсов и снижения экологической напряженности. *Синергия*. Воронеж, 2016. № 2.
11. Forteza R., Far M., Seguí C., Cerdá V. Characterization of bottom ash in municipal solid waste incinerators for its use in road base. *Waste Management*. 2004. Vol. 24 (9). P. 899-909. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.07.004> (дата звернення: 27.07.2020).
12. Susanna Olssona, Erik Kärrmanb and Jon Petter Gustafssona, Environmental systems analysis of the use of bottom ash from incineration of municipal waste for road construction. *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 48, Iss. 1. 2006. P. 26-40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.11.004> (дата звернення: 27.07.2020).
13. Rashad A.M., Sadek D.M., Hassan, H.A. An investigation on blast-furnace slag as fine aggregate in alkali-activated slag mortars subjected to elevated temperatures. *Journal of Cleaner Production*. 2016, 112. P. 1086-1096. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.127> (дата звернення: 27.07.2020).
14. Paldyna J., Krasnodebska-Ostrega B., Kregielewska K., Kowalska J., Jedynek L., Golimowski J., Grobelski T., Farbiszewska-Kiczma J., Farbiszewska T. The assessment of environmental pollution caused by mining and metallurgy wastes from highly polluted post-industrial regions in Southern Poland. *Environmental Earth Sciences*. Germany, 2013. 68. P. 439-450. DOI: 10.1007/s12665-012-1750-8 (дата звернення: 28.07.2020).

### References

1. Novytskyi I.Yu., Petrov M.O., Makortetskyi M.M. Otsinka vplyvu pidpriemstv vuhilnoi promyslovosti na dovkillia (Assessment of the impact of coal industry enterprises on the

environment). *Problemi zagal'noi energetiki*. Kyiv, 2019. 1 (56). P. 59-63. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/PZE\\_2019\\_1\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/PZE_2019_1_11) (Last accessed: 28.07.2020) [in Ukrainian].

2. Surhai H.S., Vovk H.T. Ekologicheskoye polozheniye v ugolnykh regionakh i puti resheniya prirodookhrannykh problem (Environmental situation in coal regions and ways of solving environmental problems) : report at the seminar «Environmental safety of Fuel and Energy Complex facilities». 2003. P. 39-44 [in Russian].

3. Makarova V.N. Vliyaniye otvalov metallurgicheskogo proizvodstva na sostoyaniye atmosfernogo vozdukha (The influence to dumps of metallurgical production of on the state of air). *Territoriâ novykh vozmozhnostej*. Vladivostok, 2020. T. 12, N 1. P. 115–120. DOI: [dx.doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2020-1/115-120](https://doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2020-1/115-120) (Last accessed: 27.07.2020) [in Russian].

4. Kriukovska L.I. Do ekoloho-ekonomichnoi otsinky zaminy pryrodnikh materialiv metalurhiiny my shlakamy pry budivnytstvi dorih (The ecological and economic evaluation of the substitution of natural materials, and metallurgical slag for road construction). *Vіsник (Nacіonal'nij transportnij unіversitet)*. Kyiv, 2013. Iss. 27. P. 359-364. URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP\\_meta&C21COM=S&2\\_S21P03=FILE=&2\\_S21STR=Vntu\\_2013\\_27\\_54](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILE=&2_S21STR=Vntu_2013_27_54) (Last accessed: 27.07.2020) [in Ukrainian].

5. Каненко Г. М., Злобин А. Г. и др. Ispolzovaniye otkhodov metallurgicheskikh predpriyatiy v stroitel'noy industrii (Using of metallurgical waste in the construction industry). *Ekologiya i promyshlennost'*. Kharkov, 2005. Vol. 1 (2). P. 41 [in Russian].

6. Arestov S.V., Galushkina T.P. Osnovnyye napravleniya sovremennykh ekonomicheskikh mekhanizmov prirodopolzovaniya v Ukraine (Main directions of modern economic mechanisms of nature management in Ukraine). *Ekonomicheskije innovatsii*. Odessa, 1998. Vol. 2. P. 23-30 [in Russian].

7. Kriukovska L. I., Skorchenko V. F. Metody doslidzhennia tekhnichnykh kharakterystyk shlakiv dlia dorozhnogo budivnytstva. Pratsi mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Ekologiya promyshlennykh predpriyatiy. Problema utilizatsii otkhodov» (Methods of research of technical characteristics of slags for road construction. Proceedings of the international scientific and technical conference «Ecology of industrial enterprises. The problem of waste disposal»). Yalta 2004. 116 p. [in Ukrainian].

8. DSTU B V.2.7-149:2008 Budivelni materialy. Shchebin i shchebenevo-pishchani sumishi iz shlakiv metalurhiinykh dlia dorozhnykh robit. Tekhnichni umovy (State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-149:2008) Building materials Crushed stone and crashed stone-sand mixes from slags metallurgical for road building works Specifications). Kyiv, 2009. 18 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

9. Rekus I. G., Shorina O. S. Osnovy ekologii i ratsionalnogo prirodopolzovaniya (Basics of ecology and rational nature management) : Tutorial. Moscow, 2001. 146 p. [in Russian].

10. Romanov P.S., Romanova S.P. Retsikling otkhodov metallurgicheskoy promyshlennosti kak sposob sberezheniya prirodnykh resursov i snizheniya ekologicheskoy napryazhennosti (Recycling of metallurgical waste as a way to save natural resources and reduce environmental tensions). *Sinergiâ*. Voronezh, 2016. N 2 [in Russian].

11. Forteza R., Far M., Seguí C., Cerdá V. Characterization of bottom ash in municipal solid waste incinerators for its use in road base. *Waste Management*. 2004. Vol. 24 (9). P. 899- 909. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.07.004> (Last accessed: 27.07.2020) [in English].

12. Susanna Olsson, Erik Kärrman and Jon Petter Gustafsson, Environmental systems analysis of the use of bottom ash from incineration of municipal waste for road construction. *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 48, Iss. 1. 2006. P. 26-40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.11.004> (Last accessed: 27.07.2020) [in English].

13. Rashad A.M., Sadek D.M., Hassan, H.A. An investigation on blast-furnace slag as fine



aggregate in alkali-activated slag mortars subjected to elevated temperatures. *Journal of Cleaner Production*. 2016, 112. P. 1086 – 1096. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.127> (Last accessed: 27.07.2020) [in English].

14. Paldyna J., Krasnodebska-Ostrega B., Kregielewska K., Kowalska J., Jedynek L., Golimowski J., Grobelski T., Farbiszewski K., Farbiszewski T. The assessment of environmental pollution caused by mining and metallurgy wastes from highly polluted post-industrial regions in Southern Poland. *Environmental Earth Sciences*. Germany, 2013. Vol. 68. P. 439-450. DOI: 10.1007/s12665-012-1750-8 (Last accessed: 28.07.2020) [in English].

---

**Olha Mykolaïenko**, <https://orcid.org/0000-0001-9732-1684>

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

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

### ***PROSPECTS OF USING THE INDUSTRIAL WASTE IN CONSTRUCTIVE LAYERS OF ROAD PAVEMENT***

#### ***Abstract***

Introduction. Growing volumes of road construction increase the need for expanding and rationally using the raw materials. In the pavement design, layers of the base have the biggest thickness. Therefore, their arrangement is associated with high consumption of building materials. At the same time, the base layers work in more favorable conditions compared to pavement, which allows the widespread using the local materials and industrial waste for their construction. A feature of road construction is the consumption of significant amounts of mineral resources, mainly products of the lithosphere: monolithic and debris rocks, sand, granite, gravel. These materials are non-renewable natural resources. The lack of such materials in the construction area makes it necessary to transport them on long distances, which increases the cost of construction and leads to significant energy costs, especially — fuels and lubricants.

An alternative solution of this problem is the use of local materials and industrial waste.

Problem Statement. In the conditions of development of the diversified industry of Ukraine, and especially extraction of minerals, the environment suffers considerable technogenic loadings. Over the last two centuries, a huge amount of industrial waste has been accumulated, occupying hectares of fertile land and negatively affecting the environment.

Also today the issue of using exhaustible natural resources is acute. The use of industrial waste as a secondary raw material can reduce the consumption of natural building materials and becomes increasingly relevant.

Purpose. The purpose of the study is to analyze the world and domestic experience of using the industrial waste in road construction.

Materials and methods. Analysis of informational sources on the experience of using the industrial waste in road construction abroad and study the possibility to use industrial waste in domestic road construction.

Results. Based on the results of the analysis, the feasibility of using the industrial waste as a secondary raw material for its application in road construction was determined and described.

Conclusions. The main ways of application of industrial waste in road construction are offered. Prospects for the use of industrial waste in road construction are indicated.

**Keywords:** construction waste, waste from the coal industry, fly ash, slag.

Наукове видання

## ДОРОГИ І МОСТИ

Збірник наукових праць

Випуск 22

Головний редактор Безуглий А. О.  
Відповідальний редактор Каськів В. І.  
Технічний редактор Малій Т. С.

03113, м. Київ, просп. Перемоги, 57, ДП «ДерждорНДІ»  
тел. +38 (044) 206-98-90  
імейл: roads\_bridges@dorndi.org.ua

Підписано до друку 10.09.2020  
Формат 60x84<sup>1/8</sup>. папір офсетний. Друк цифровий.  
Умовн.-друк. арк. 17,87. Фіз. друк. арк.  
Наклад 100 прим. Замовлення № 100920  
ТОВ "САК ЛТД", м. Київ  
(044) 501-94-34