

# АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

ДП «ДержавтотрансНДІпроект»  
ДП «ДерждорНДІ»  
НТУ

Науково-виробничий журнал  
"Автошляховик України"  
Періодичність 4 рази на рік  
№ 2 (262) 2020  
(червень)

Заснований у вересні 1960 року  
Зареєстрований  
14 грудня 2016 року

Свідоцтво Міністерства юстиції  
України про державну реєстрацію  
засобу масової інформації  
№22472-12372 ПР серія КВ

Наукове фахове видання  
згідно з наказом Міністерства  
освіти і науки України  
від 10.05.2017 №693

Головний редактор:  
Дмитриченко М. Ф.

Заступники головного  
редактора:

Редзюк А. М.  
Безуглий А. О.  
Новікова А. М.

Редакційна колегія:

Агеєв В. Б.  
Белятинський А. О.  
Богомолов В. О.  
Бондар Н. М.  
Бондаренко Є. В.  
Бородіна Н. А.  
Вирожемський В. К.  
Гутаревич Ю. Ф.  
Дмитрієв М. М.  
Золотарьов В. О.  
Каськів В. І.  
Клименко О. А.  
Колесник Ю. Р.  
Криворучко О. М.  
Luty Witold  
Мержиєвський В. В.  
Мозговий В. В.  
Нагайчук В. М.  
Поліщук В. П.  
Сахно В. П.  
Sterenharz Arnold  
Туренко А. М.  
Шинкаренко В. Г.

Випусковий редактор:  
Копаниця І. В.

ISSN: 0365-8392

DOI:  
10.33868/0365-8392-2020-2-262

Передплатний індекс – 74 000

Індексується:  
Ulrichsweb  
CrossRef  
Google Scholar

|  |    |
|--|----|
| <b>В. П. Сахно, В. П. Матейчик, В. І. Каськів, В. В. Федоров</b><br>До питання щодо сертифікації шумозахисних споруд .....   | 2  |
| <b>Л. В. Савченко, А. Г. Донець</b><br>Оцінка загальноекономічних втрат суспільства<br>від заторів транспортних засобів у місті Києві .....                                  | 8  |
| <b>В. А. Войтов, О. В. Кутья, А. Е. Насіров</b><br>Моделювання витрат на транспортне обслуговування<br>міських вантажних перевезень .....                                    | 15 |
| <b>М. Г. Грубель, Л. В. Крайник, В. В. Хома</b><br>Імітаційне моделювання руху колісної військової<br>автомобільної техніки бездоріжжям<br>та оцінка його адекватності ..... | 21 |

# АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

|   |    |
|---|----|
| <b>С. М. Толмачов, С. Й. Солодкий</b><br>До питання початку експлуатації цементобетонних<br>покриттів і основ .....   | 29 |
| <b>Т. А. Терещенко, С. І. Ілляш</b><br>Стандартизація вимог до матеріалів та процесів<br>для влаштування шарів дорожнього одягу,<br>укріплених комплексним в'язучим (анг. мовою) .....  | 35 |
| <b>В. Л. Яструбінецький, П. М. Коваль, С. С. Завгородній, М. А. Борисенко</b><br>Деякі особливості визначення експлуатаційного стану<br>залізобетонних та сталезалізобетонних прогонових<br>будов мостів за показником вантажопідйомності ..... | 43 |
| <b>М. М. Стулій, Т. В. Лісніченко</b><br>Інженерно-технічний супровід будівництва об'єктів<br>дорожнього господарства .....   | 47 |
| Міжнародний Виставковий Центр та XI Спеціалізована<br>виставка ДОРТЕХЕКСПО–2020 .....   | 52 |
| Онлайн-марафон: Сучасні підходи до проектування<br>та будівництва автомобільних доріг .....   | 53 |
| Автомобілі для дорожнього будівництва з Кореї .....   | 55 |

Мови видання: українська, російська та англійська.  
Макетування: Випорхонюк М. М.

Усі статті проходять одностороннє сліпе рецензування  
або відкрите рецензування та схвалюються до друку  
рішенням редколегії.

За достовірність фактів, цифр, точність імен і прізвищ відповідають автори статей,  
за зміст рекламних матеріалів – рекламодавці.

Редакція не завжди поділяє погляди авторів публікацій.

Усі права захищені. Передрук матеріалів можливий лише з дозволу редакції.

Видавець:

ДП «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут».

Адреса: 03113, Київ–113, пр. Перемоги, 57, тел. 456-30-30.

Адреса редакції: 03113, Київ–113, пр. Перемоги, 57, к. 902

e-mail: ikoranuysya@insat.org.ua

Підписано до друку 17.06.2020.

Формат 60x84/8. Друк офсетний. Папір крейдований.

Ум. друк. арк. 6. Зам. 423.

Видавець і виготівник Кошуняльне книжково-газетне видавництво «Полісся».  
10008 Житомир, вул. Шевченка, 18а.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру: серія ЖТ № 5 від 26.02.2004 року

# АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.113/.115; 534.836.2; 534.286; 534.322.3.699.84

DOI: 10.33868/0365-8392-2020-2-262-2-7

© В. П. Сахно, докт. техн. наук, професор,  
ORCID: 0000-0002-5144-7131, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua (НТУ);  
© В. П. Матейчик, докт. техн. наук, професор,  
ORCID: 0000-0002-3683-7246, e-mail: wmate@ukr.net (НТУ);  
© В. І. Каськів, канд. техн. наук, доцент,  
ORCID: 0000-0002-8074-6798, e-mail: vi\_kas@ukr.net  
(ДП «ДерждорНДІ»);  
© В. В. Федоров, канд. техн. наук, доцент,  
ORCID: 0000-0002-1085-5112,  
e-mail: fedorov.volodymyr@gmail.com (НТУ)

© Volodymyr Sakhno, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
ORCID: 0000-0002-5144-7131, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua (NTU);  
© Vasyl Mateichyk, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
ORCID: 0000-0002-3683-7246, e-mail: wmate@ukr.net (NTU);  
© Volodymyr Kaskiv, Candidate of Technical Sciences, Docent,  
ORCID: 0000-0002-8074-6798, e-mail: vi\_kas@ukr.net  
(SE "M.P. Shulgin State Road Research Institute");  
© Volodymyr Fedorov, Candidate of Technical Sciences, Docent,  
ORCID: 0000-0002-1085-5112,  
e-mail: fedorov.volodymyr@gmail.com (NTU)

## ЩОДО ПИТАННЯ СЕРТИФІКАЦІЇ ШУМОЗАХИСНИХ СПОРУД TO THE QUESTION REGARDING CERTIFICATION OF THE NOISE PROTECTION BUILDINGS

**Анотація.** Для зниження рівня транспортного шуму, що створюють автотранспортні засоби під час руху магістралями, широко використовуються шумозахисні споруди. Дані споруди бувають багатьох видів залежно від габаритних розмірів, матеріалу, акустичних властивостей тощо. Існує чимало методик розрахунку їх акустичної ефективності. Однак, не дивлячись на світовий досвід та високу вартість, ці споруди в Україні досі не проходять обов'язкові сертифікаційні випробування. Обґрунтовано необхідність сертифікації шумозахисних споруд, що встановлюються вздовж магістралей. Запропоновано два шляхи визначення акустичної ефективності даних споруд: встановлення звукопоглинаючих та звукоізолюючих властивостей матеріалів цих споруд і випробування останніх в польових умовах, максимально наближених до реальних.

**Ключові слова:** транспортний шум, шумозахисна споруда, матеріал, звукопоглинання, звукоізоляція, акустична ефективність, сертифікація.

**Аннотация.** Для снижения уровня транспортного шума, который создают автотранспортные средства при движении по магистралям, широко используются шумозащитные сооружения. Данные сооружения бывают многих видов в зависимости от габаритных размеров, материала, акустических свойств и тому подобное. Существует немало методик расчета их акустической эффективности. Но, несмотря на мировой опыт и высокую стоимость, эти сооружения в Украине до сих пор не проходят обязательные сертификационные испытания. Обоснована необходимость сертификации шумозащитных сооружений, которые устанавливаются вдоль магистралей Украины. Предложены два пути определения акустической эффективности данных сооружений: установление звукопоглощающих и звукоизолирующих свойств этих сооружений и испытания последних в полевых условиях, максимально приближенных к реальным.

**Ключевые слова:** транспортный шум, шумозащитное сооружение, материал, звукопоглощение, звукоизоляция, акустическая эффективность, сертификация.

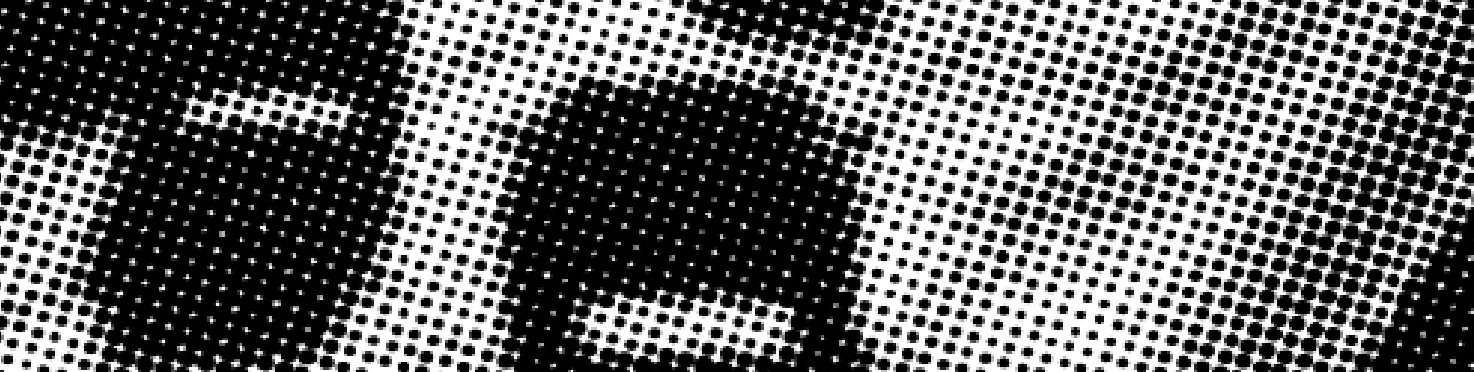
**Abstract.** Vehicle noise has a negative impact on human health. Noise can be caused by occupational diseases, increased morbidity, decreased performance, increased risk of injuries and accidents related to the violation of the perception of warning signals, impaired auditory control of the functioning of technological equipment, and reduced productivity. To reduce the level of vehicle noise generated by motor vehicles on the motorways, noise protection structures are widely used in Ukraine. These facilities are of many types, depending on overall dimensions, material, acoustic properties, etc. There are many techniques for calculating their acoustic performance. However, despite the world experience and high cost, these facilities in Ukraine are not yet subject to mandatory certification tests. The necessity of certification of noise protection facilities installed along the highways is justified. Two ways of determining the acoustic efficiency of these structures are proposed: establishing the sound-absorbing and sound-insulating properties of the materials of these facilities and testing the latter in field conditions, as close as possible to the real ones.

**Keywords:** vehicle noise, noise protection facilities, certification, sound absorption, sound insulation, material, acoustic efficiency.

### Вступ

Як відомо [1], Україна стала Договірною Стороною Женевської Угоди 1958 року згідно з Законом України від 20.02.2000 р. №1448-111 «Про приєднання України до Угоди про прийняття

єдиних технічних приписів для колісних транспортних засобів...». У 1993 р. почалося проведення робіт із сертифікації ДТЗ в Україні, зокрема перевірка транспортних засобів на рівень внутрішнього і зовнішнього шуму.



На жаль, не спостерігається аналогічних дій стосовно шумозахисних споруд (далі – ШЗС), які в останні роки десятками кілометрів вибудовуються вздовж магістралей України. Необхідність останніх неодноразово доводилась у відповідних публікаціях [2 – 4]. Вони потрібні, перш за все, з екологічної точки зору, оскільки зменшують шкідливість шуму. Оскільки вартість даних споруд для бюджету держави є чималою, вважаємо очевидним питання щодо їх сертифікації.

Оцінці та зменшенню шуму присвячено багато робіт, зокрема в [5] запропоновано оцінювати рівень шуму транспортних потоків з використанням програмного комплексу *Plant Simulation*.

Якщо автомобілі проходять сертифікацію більш як за 120 параметрами, то шумозахисні споруди, перш за все, мають бути сертифіковані за акустичною ефективністю, яка характеризується параметрами звукопоглинаючих та звукоізоляційних властивостей.

### Основна частина

Проведеними дослідженнями у роботі [6] був зроблений невтішний висновок: «*теоретична ефективність зниження транспортного шуму екраном значно вища за реально виміряну!*» Цей висновок показав, що формули та методики визначення ефективності шумозахисних споруд (далі – ШЗС) на сьогодні є недосконалими. А оскільки їх монтаж продовжується наростаючими темпами, то альтернативою недосконалим розрахункам може стати сертифікація ШЗС, яка, до речі, вже визнана у всьому цивілізованому світі.

Наше бачення стосовно сертифікації ШЗС: сертифікувати останні необхідно з двох незалежних і таких, що взаємно не виключають одна одну, позицій: як матеріали та як вироби.

#### 1. Сертифікація матеріалів ШЗС за звукопоглинальними властивостями

Визначення звукопоглинаючих властивостей матеріалів ШЗС може відбуватись у ревербераційній камері, що сертифікована на проведення відповідних робіт, наприклад, у Київському ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» [7].

План і розріз камери показані на **рис. 1**. Згідно з рекомендаціями ISO-ТК-43 [8], для досягнення достатньої дифузності звукового поля на середніх і високих частотах в камері встановлені розсіювальні елементи (18 шт.) із ледь викривлених пластин гетинаксу товщиною 2,5 мм і вініласту товщиною 3,5 мм. До стелі камери розсіювачі кріпляться за допомогою тросів і гаків. Сумарна площа розсіювачів ( $S_p \approx 24 \text{ м}^2$ ) приблизно рівна площі підлоги камери ( $S_n = 26 \text{ м}^2$ ). Рекомендована Е. Мейером [9] площа одного розсіювача визначається за формулою:

$$S_p \approx 0,4V^{2/3} \text{ м}^2,$$

де  $V$  – об'єм ревербераційної камери.

Розсіювачі розміщені хаотично в порожнині камери так, щоб площі проєкцій кожного з них на три взаємно перпендикулярні площини камери були приблизно рівними.

Камери і апаратна обладнані комплексом акустичної апаратури.

Схема включення приладів приймального і передаючого трактів ревербераційної камери наведені на **рис. 2**.

У верхніх кутах камери згідно з рекомендаціями стандарту [10] для збудження звукового поля у ревербераційній камері встановлені чотири гучномовця 4, що забезпечують отримання у камері звукових рівнів не менше 90 дБ.

У передаючому тракті (**рис. 2**) використовується генератор «білого шуму» 1, октавний фільтр 2, підсилювач 3, на вхід якого підключені чотири гучномовця 4, з'єднаних паралельно.

Приймальний тракт камери складається із конденсаторного мікрофону з підсилювачем 5, спектрометра 6 і самописця рівнів 7.

При записі часу реверберації гучномовці відключаються від підсилювача потужності за допомогою спеціального перемикача, а вхід гучномовців – закорочується.

Камери обладнані перехідними вимірювальними щитами, що забезпечують з'єднання камер з апаратною і комутацію апаратури.

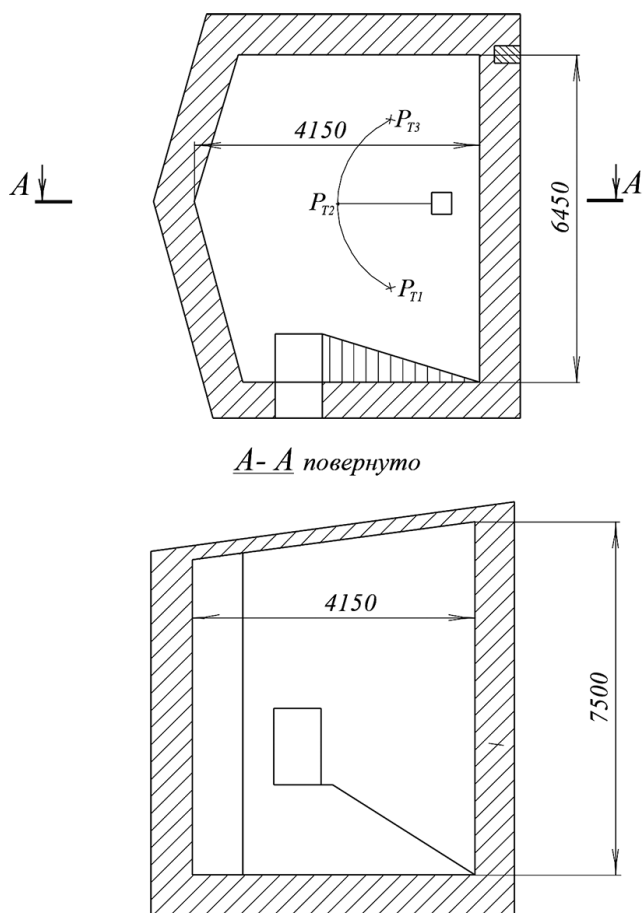


Рис. 1. Ревербераційна камера

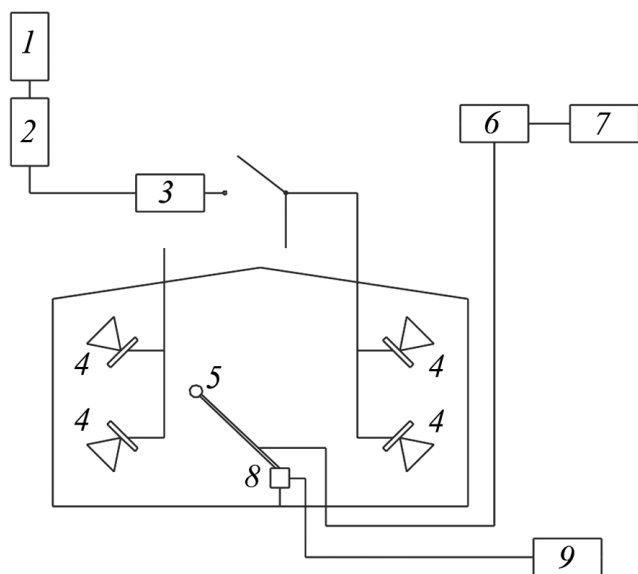


Рис. 2. Схема включення передаючого і приймального трактів ревербераційної камери (за визначення спаду реверберації): 1 – генератор «білого шуму»; 2 – октавний фільтр; 3 – підсилювач; 4 – гучномовець; 5 – мікрофон; 6 – спектрометр; 7 – самописець рівнів; 8 – поворотний пристрій; 9 – пульт керування поворотним пристроєм

Монтаж у камері та апаратній виконано екранованим багатожильним кабелем.

У комплект обладнання камери входить металева рама і дерев'яні рейки, що використовую-

ються під час випробувань звукопоглинальних матеріалів.

Розміщення гучномовця у тригранних кутах камери, у зоні пучності тиску, дає змоги досягти більш рівномірного збудження поля на всіх власних частотах приміщення і отримати максимальну віддачу потужності гучномовця (тобто збільшити звукові рівні, що отримуються). Крім того, за умови розміщення гучномовців у верхніх кутах камери легко забезпечується умова проведення вимірювань вдалині від «ближнього» звукового поля джерела.

Під час вимірювань у камері використовуються ненаправлені мікрофони, тобто при певній ступені їх направленості (наприклад, на високих частотах) поле у камері може виявитися недостатньо дифузним.

Суть експериментального визначення звукопоглинальних властивостей зразка ШЗС полягає у визначенні зміни часу реверберації, внаслідок наявності у ревербераційній камері даного зразка. Час реверберації визначається за формулою:

$$T = \frac{kv}{\alpha_{cp}S}$$

де  $V$  – це об'єм ревербераційної камери, м<sup>3</sup>;  
 $\alpha_{cp}$  – середній коефіцієнт звукопоглинання;  
 $S$  – площа всіх перешкод (стін), для даної камери це 24 м<sup>2</sup>;  
 $k$  – коефіцієнт, що залежить від форми приміщення

Величина часу реверберації змінюється залежно від зразка, що випробовується. За цією зміною за формулою знаходиться середній коефіцієнт звукопоглинання всього приміщення, а оскільки відома площа зразка, то відповідно знаходить коефіцієнт звукопоглинання самого зразка.

## 2. Сертифікація матеріалів шумозахисних споруд за звукоізоляційними властивостями

Визначення звукоізоляційних властивостей матеріалу ШЗС відбувається у камері для вимірювання звукоізоляції, що сертифікована на проведення відповідних робіт, наприклад, [7].

Комплекс звукоізоляційних камер НДІБК складається з однієї камери високого рівня (далі – КВР) і двох суміжних із нею камер низького рівня (далі – КНР). Одна з них розміщена поруч із КВР, слугує для вимірювання ізоляції перегородок та інших вертикальних огорожувальних конструкцій від повітряного шуму – КНР-1 (рис. 3),

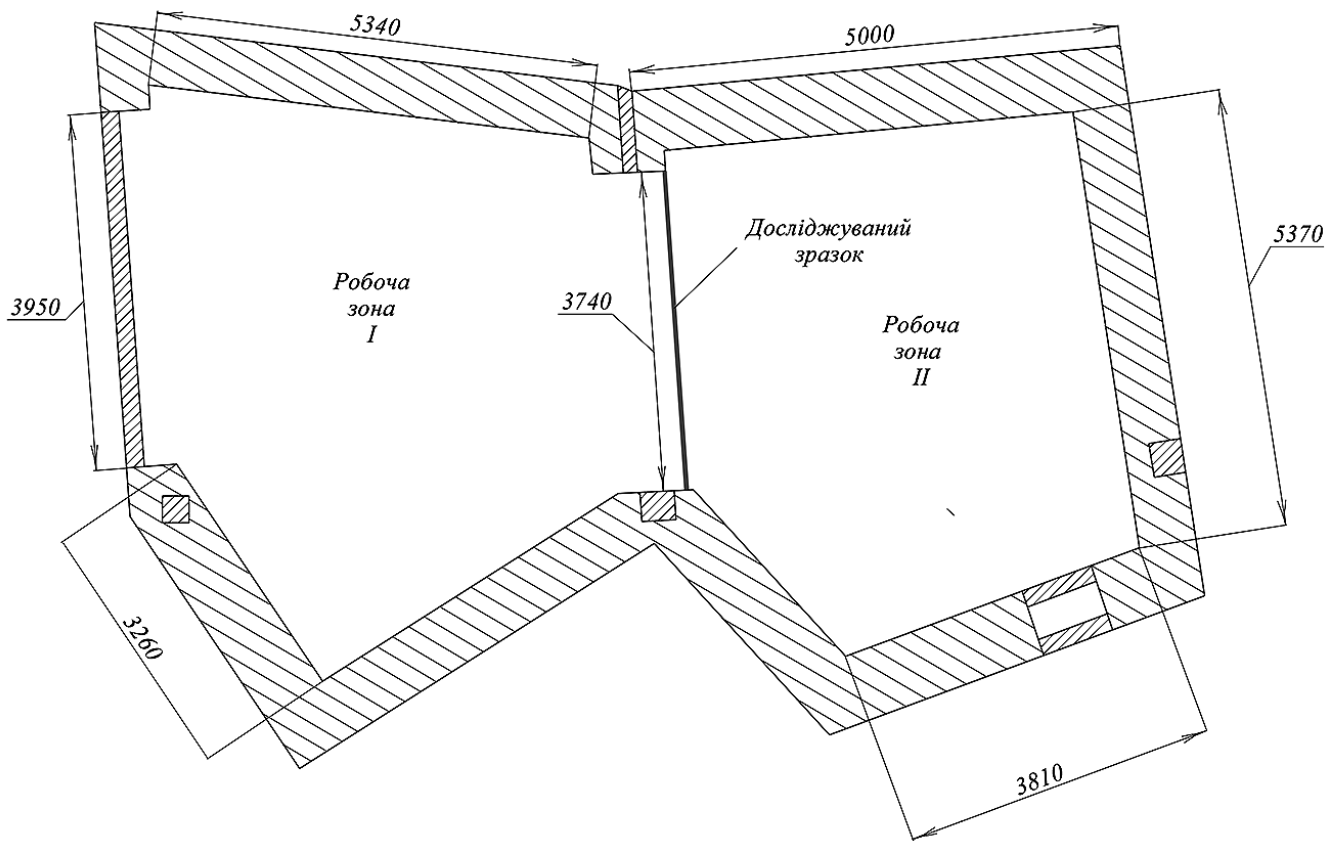


Рис. 3. Камери для вимірювання звукоізоляції: I – камера високого рівня (КВР); II – камера низького рівня для дослідження перегородок (КНР-1)

а друга, що знаходиться під камерою високого рівня, використовується для вимірювання звукоізоляції перекриттів від повітряного і ударного шуму – КНР-2.

КВР звуку, що слугує для створення інтенсивного звукового поля на одну сторону досліджуваної конструкції (перегородки або перекриття) має об'єм  $V = 158 \text{ м}^3$ . Площа підлоги КВР (з врахуванням отвору) становить  $28 \text{ м}^2$ , площа огорожувальних поверхонь  $S_{\text{огор}} \approx 172 \text{ м}^2$ . Висота камери  $H \approx 5,7 \text{ м}$ . Для встановлення досліджуваних перекриттів під час вимірювання ізоляції від повітряного шуму в стіні між КВР і КНР-1 є отвір розміром  $3,74 \times 2,68 \text{ м}$  ( $S = 10 \text{ м}^2$ ).

Досліджуваний зразок матеріалу ШЗС розміщується у перегородці між камерами (рис. 3) та за різницею звукових рівнів у камері низького рівня у двох випадках: із досліджуваним зразком та без останнього, визначаються звукоізоляційні властивості матеріалу шумозахисної споруди.

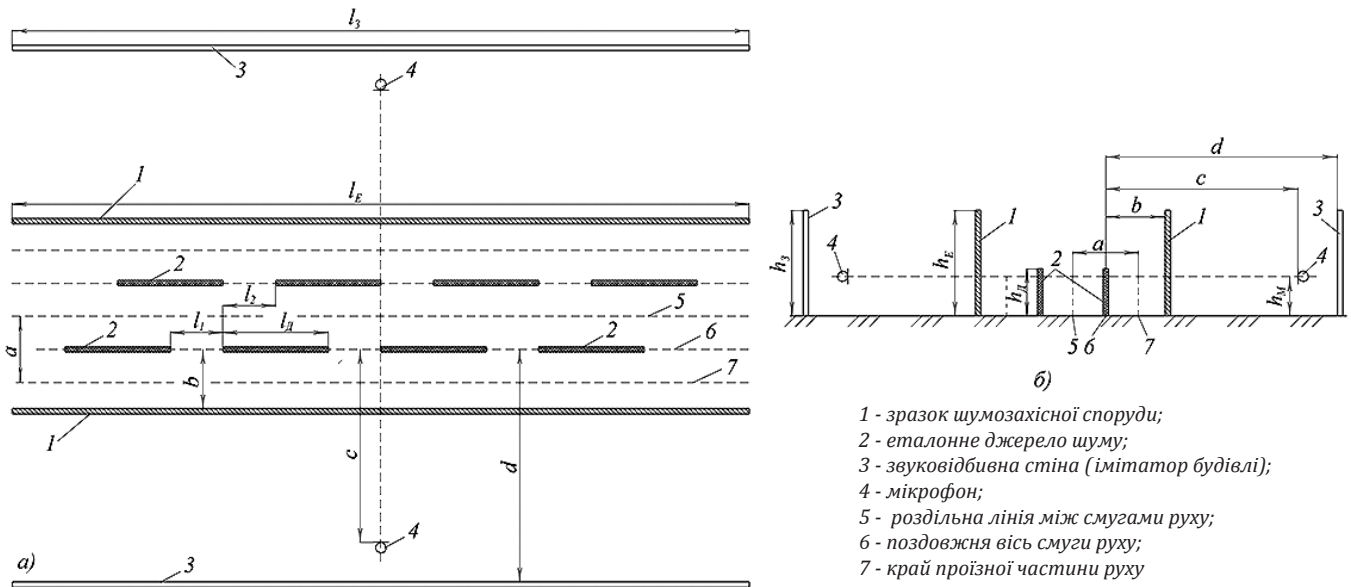
### 3. Сертифікація ШЗС у польових умовах

Сертифікація ШЗС у польових умовах необхідна, щоб максимально наблизити прогнозовану ефективність останніх до реальної. Пропонуємо під час розробки заходів щодо сертифікації

ШЗС взяти за основу вимірювання зовнішнього шуму автотранспортних засобів [11]. При цьому необхідно враховувати вимоги до експериментальних досліджень, передусім відтворюваність результатів експериментів. Очевидно, що для сертифікаційних випробувань ШЗС як джерело шуму автотранспортні засоби не підійдуть (через непостійність їх амплітудно-частотної характеристики шуму, що ними створюється).

Виходячи зі сказаного вище, нами пропонується наступний експериментальний комплекс (рис. 4). Шум автомобілів під час випробувань імітується набором еталонних джерел шуму 2 (в даному випадку їх 8), що розміщуються один за одним двома симетричними (відносно роздільної лінії 5) смугами (рис. 4, а). Довжина еталонного джерела шуму (далі – ЕДШ) становить  $l_d$ , відстань між одиночними ЕДШ –  $l_1$ , зсув двох смуг ЕДШ відносно один одного –  $l_2$ .

Ширина дорожньої смуги руху (відстань між роздільною лінією 5 і краєм проїзної частини руху 7) становить  $a$ , відстань від осі смуги руху 6 до зразка ШЗС 1 –  $b$ , відстань від осі смуги руху 6 до мікрофону 4 –  $c$ , відстань від осі смуги руху 6 до звуковідбивної стіни 3 –  $d$ . Довжина зразка ШЗС 1 становить  $l_E$ , а довжина звуковідбивної стіни 3 –  $l_3$ .



- 1 - зразок шумозахисної споруди;
- 2 - еталонне джерело шуму;
- 3 - звуковідбивна стіна (імітатор будівлі);
- 4 - мікрофон;
- 5 - роздільна лінія між смугами руху;
- 6 - поздовжня вісь смуги руху;
- 7 - край проїзної частини руху

Рис. 4. До сертифікації шумозахисних споруд у польових умовах: а - вид зверху; б - поперечний розріз:

Висота зразка ШЗС 1 становить  $h_E$  (рис. 4, б), висота ЕДШ 2 –  $h_d$ , висота звуковідбивної стіни 3 –  $h_3$ , мікрофон 4 розташований на висоті від рівня землі  $h_m$ .

На рис. 5 показана блок-схема обладнання під час проведення сертифікації шумозахисних споруд. Основними частинами необхідного обладнання є еталонне джерело шуму 1, ширококугові акустичні колонки 2 та генератор «білого шуму» 3.

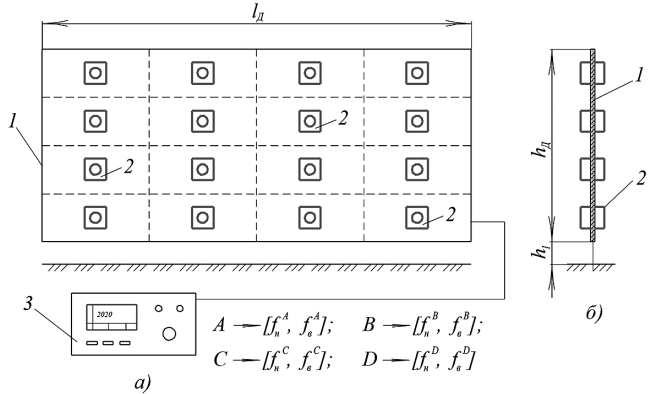


Рис. 5. Блок-схема обладнання під час проведення сертифікації ШЗС: а) основний вигляд; б) вигляд зліва; 1 – еталонне джерело шуму; 2 – ширококугові акустичні колонки; 3 – генератор «білого шуму»

ЕДШ 1 (рис. 5) – сталева панель відповідних розмірів, що розташоване на висоті  $h_1$  від рівня землі (рис. 5, б). На одиничному ЕДШ зосереджена певна кількість ширококугових акустичних колонок 2 (пропонуємо 16 з кожної сторони, виходячи із запланованих розмірів ЕДШ та рівномірності створення акустичного поля останнім). На кожну з акустичних колонок кожного окремо-

го ЕДШ за допомогою генератора «білого шуму» 3 подається стандартизований саме для неї електричний сигнал. Завдяки цьому буде здійснюватись випромінювання акустичного шуму, максимально наближеного до натурального.

Генератор «білого шуму» 3 випромінює почергово шум в різних частотних діапазонах зі стандартною амплітудою, яка відповідає конкретній частоті сигналу. Наприклад, цих діапазонів буде 4: А, В, С, D. Кожному діапазону відповідає відповідна частотна смуга з чіткими нижніми та верхніми частотами: А →  $[f_n^A, f_e^A]$ , В →  $[f_n^B, f_e^B]$ , С →  $[f_n^C, f_e^C]$ , D →  $[f_n^D, f_e^D]$ . Електричні сигнали генератор «білого шуму» подає на кожне окреме ЕДШ з певними часовими затримками та різними амплітудами, тим самим імітуючи рух автомобілів.

Для кожного частотного діапазону визначається усереднена та частотозалежна ефективність зразка ШЗС. Всі отримані результати випробувань фіксуються у паспорті відповідного зразка ШЗС.

**Висновки**

Обґрунтовано необхідність сертифікації ШЗС, що встановлюються вздовж магістралей України. Запропоновано два шляхи визначення акустичної ефективності даних споруд: встановлення звукопоглинальних і звукоізолюючих властивостей матеріалів шумозахисних споруд і випробування останніх у польових умовах, максимально наближених до реальних. Запропоновано експериментальний комплекс для випробувань ШЗС у польових умовах, до складу якого входять еталонні джерела шуму, що імітують транспортний шум.

## Література

1. Сертифікація транспортних засобів, їхніх складових (запасних) частин та обладнання [Текст. дані] / Міністерство інфраструктури України [Сайт]. – Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/content/sertifikaciya-transportnih-zasobiv-ihnih-skladovih-zapasnih-chastin-ta-obladnannya.html>.
2. Федоров В. В., Сахно В. П. До ефективності використання залізобетонних огорожуючих споруд // Автошляховик України. – 2005. – № 2. – С. 13 – 14; № 3. – С. 20–22.
3. Федоров В. В., Сахно В. П. Експериментально-аналітичні дослідження огорожуючої споруди як акустичного екрану // Вісник НТУ та ТАУ. – 2005. – № 2. – С. 89–92.
4. Федоров В. В. Пірамідальні екрани – чемпіони шумопоглинання // Автошляховик України. – 2010. – № 6. – С. 14–17.
5. Матейчик В. П. Особенности моделирования шумового загрязнения придорожной среды транспортными потоками с использования Plant Simulation / В. П. Матейчик, А. А. Лавров, В. М. Нагайчук, К. В. Комар // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2019. – Вып. 1 (43). – С. 91–99.
6. Коротченко М. В., Шевченко Ю. С. Дослідження ефективності акустичних екранів на автомобільних дорогах України // Автомобільні дороги. – 2012. – № 6. – С. 40–42.
7. ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій». – Режим доступу: <http://www.niisk.com/pro-nas/>.
8. Международная организация по стандартизации (ИСО). Рекомендации технической комиссии 43 № 477. – 1962.
9. Мейер Э. Новые исследования по архитектурной акустике в Геттингене. Доклад на IV Всесоюзной акустической конференции. – Москва, 1958. – С. 58–62.
10. Материалы звукоизоляционные и звуко-поглощающие. Методы испытаний : ГОСТ 16297-80. – [Введен с 01.01.1981]. – 12 с.
11. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження авто-транспортних засобів, що мають не менше чотирьох коліс, стосовно створюваного ними шуму (Правила ЄЕК ООН № 51-02:1996, IDT) : ДСТУ UN/ЕCE R 51-02-2002. – Москва, 2002.

## References

1. Sertyfikatsiya transportnykh zasobiv, yikhnikh skladovykh (zapasnykh) chastyn ta obladnannya [Certification of vehicles, their components (spare parts) and equipment]. Retrieved from <https://mtu.gov.ua/content/sertifikaciya-transportnih-zasobiv-ihnih-skladovih-zapasnih-chastin-ta-obladnannya.html>.

zapasnih-chastin-ta-obladnannya.html.

2. Fedorov, V. V., Sakhno V. P. (2005). Do efektyvnosti vykorystannya zalizobetonnykh ohorodzhuyuchykh sporud [To the efficiency of the use of reinforced concrete enclosures]. Kyiv, Avtoshlyahovik Ukraine, 2, 13–14: 3, 20–22.
3. Fedorov, V. V., Sakhno V. P. (2005). Eksperymental'no-analitychni doslidzhennya ohorodzhuyuchoyi sporudy yak akustychnoho ekranu [Experimental and analytical studies of the enclosure as an acoustic screen]. Kyiv, Visnyk NTU and TAU, 2, 89–92.
4. Fedorov, V. V. (2010). Piramidal'ni ekrany – chempiony shumopohlynannya [Pyramid screens are champions of noise absorption]. Kyiv, Avtoshlyahovik Ukraine, 6, 14 – 17.
5. V. P., Mateichyk, A. A., Lavrov, K. V., Nagaichuk & K.V., Komar. (2019). Osobennosti modelirovaniya shumovogo zagryazneniya pridorozhnoy srody transportnyimi potokami s ispol'zovaniya Plant Simulation [Features of modeling roadside noise pollution by traffic using Plant Simulation]. Kyiv, Vestnik Natsional'nogo transportnogo universiteta. «Tekhnicheskije nauki», 1 (43), 91–99.
6. Korotchenko, M. V., Shevchenko, Y. S. (2012). Doslidzhennya efektyvnosti akustychnykh ekraniv na avtomobil'nykh dorohakh Ukrainy [Investigation of the efficiency of acoustic screens on Ukrainian highways]. Kyiv, Avtomobil'ni dorohy, 6, 40–42.
7. DP «Derzhavnyy naukovo-doslidnyy instytut budivel'nykh konstruksiy» [State Enterprise “State Research Institute of Building Structures”]. Retrieved from <http://www.niisk.com/pro-nas/>.
8. Mezhdunarodnaya organizatsiya po standartizatsii (ISO). Rekomendatsii tekhnicheskoy komisii. (1962). [International Organization for Standardization (ISO). Recommendations of the Technical Commission]. 43, 477.
9. Meyyer E. (1958). Novyye issledovaniya po arkhitekturnoy akustike v Gettingene. Doklad na IV Vsesoyuznoy akusticheskoy konferentsii [New research on architectural acoustics in Göttingen. Report at the IV All-Union Acoustic Conference]. Moscow, 58–62.
10. GOST 16297-80. (1981). Materialy zvukoizolyatsionnyye i zvukopoglo-shchayushchiye. Metody ispytaniy [Soundproof and sound absorbing materials. Test methods]. Moscow.
11. DSTU UN/ЕCE R 51-02-2002. (2002). Yedyni tekhnichni pryypysy shchodo ofitsiynoho zatverdzhennya avtotransportnykh zasobiv, shcho mayut' ne menshe chotyry'okh kolis, stosovno stvoryuvanoho nymy shumu [Single technical records of official hardening of vehicles, just as many times as possible for them to noise (UN EEC Regulation №. 51-02: 1996, IDT)]. Moscow.

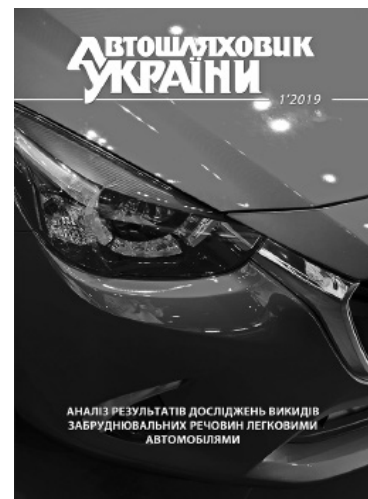
# ПРОДОВЖУЄТЬСЯ ПЕРЕДПЛАТА НА 2020 РІК (№3 (вересень), № 4 (грудень))

«Автошляховик України» – науково-виробничий журнал для фахівців автомобільного транспорту та дорожнього господарства, видається з 1960 року. На його сторінках друкуються матеріали про сучасні технології, наукові дослідження та розробки, висвітлюються питання організації та економіки виробництва, впровадження системи управління якістю транспортно-дорожнього комплексу, а також інформація про нові експлуатаційні й будівельні матеріали.

Передплатити журнал можна в усіх поштових відділеннях через Каталог періодичних видань України ДП «Преса»: передплатний індекс – 74000, а також через сайт: [www.smartpress.com.ua](http://www.smartpress.com.ua)

З питань замовлення журналів, надання публікацій, розміщення реклами звертайтеся у редакцію:

[ikoranysya@insat.org.ua](mailto:ikoranysya@insat.org.ua), (044) 201-08-69



© Л. В. Савченко, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри логістики, e-mail: lidia\_savchenko@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3581-6942;  
 © А. Г. Донець, канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри логістики, e-mail: ogurman72@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8122-051X (Національний авіаційний університет)

© Liliya Savchenko, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Associate Professor of the Logistics Department, e-mail: lidia\_savchenko@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3581-6942;  
 © Andrii Donets, Candidate of Physical and Mathematical Sciences (PhD), Associate Professor, Associate Professor of the Logistics Department, e-mail: ogurman72@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8122-051X (National Aviation University)

# ОЦІНКА ЗАГАЛЬНОЕКОНОМІЧНИХ ВТРАТ СУСПІЛЬСТВА ВІД ЗАТОРІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ У МІСТІ КИЄВІ

## ASSESSMENT OF SOCIETY GENERAL ECONOMIC LOSSES BECAUSE OF TRAFFIC JAMS IN KIEV

**Анотація.** Проблема міських заторів є постійним викликом для різних стейкхолдерів міської логістики – міської влади, відправників, перевізників та логістичних компаній, складських операторів, а також безпосередніх отримувачів (магазинів, офісів і мешканців міста). Затор на дорозі – це джерело підвищеного забруднення повітря, а також прямих втрат часу і грошей. Таким чином, проблеми, що виникають від заторів, стосуються будь-якого мешканця міста і більшою мірою належать до соціальних. Однак, будь-які соціальні втрати можна оцінити в фінансовому еквіваленті. Для оцінки втрат від міських заторів у роботі використано технологію, яку широко застосовують у Європі для оцінки зовнішніх втрат від транспорту. Показано, що ці втрати є суттєвими для міста Києва, який у 2019 році займав 12-е місце у світі за рівнем дорожніх заторів.

Отже, оператори логістики останньої милі змушені постійно шукати шляхи зниження впливу заторів на їх транспортні та сервісні потоки. Технології, що нині існують, пропонують, зокрема, зміщення часу доставки на позапікові періоди, а також на нічні години. Однак, це можливо для обмеженої кількості замовлень у логістиці останньої милі. Відповідно, інші змушені стикатися з проблемами заторів день у день. У роботі розглядаються різні альтернативи міської доставки – автомобіль, мотоцикл і велосипед. Для цих трьох варіантів визначено рейтинг, який показує пріоритетність того чи того засобу логістики останньої милі з погляду втрат від міських заторів. Такі втрати визначені для 2019 року з урахуванням складу транспортного потоку в м. Києві, середньої відстані доставки, а також різниці у поведінці транспортних засобів в умовах затору. В результаті отримано, що один легковий автомобіль, який доставляє легкі посылки в денний час, зумовлює втрати від заторів в 3,3 рази більші, ніж мотоцикл, і в 12,5 разів більші, ніж велосипед.

**Ключові слова:** міська логістика, логістика останньої милі, міські затори, втрати від міських заторів, автомобільна доставка, доставка мотоциклом, велосипедна доставка.

**Аннотация.** Проблема городских заторов является постоянным вызовом для различных стейкхолдеров городской логистики – городских властей, отправителей, перевозчиков и логистических компаний, складских операторов, а также непосредственных получателей (магазинов, офисов и жителей города). Затор на дороге – это источник повышенного загрязнения воздуха, а также прямых потерь времени и денег. Таким образом, проблемы, возникающие от заторов, касаются любого жителя города и в большей степени относятся к социальным. Однако, любые социальные потери возможно оценить в финансовом эквиваленте. Для оценки потерь от городских заторов в работе использована технология, широко применяемая в Европе для оценки внешних потерь от транспорта. Показано, что эти потери являются существенными для города Киева, который в 2019 году занимал 12-е место в мире по уровню дорожных заторов.

Как видим, операторы логистики последней мили вынуждены постоянно искать пути снижения влияния заторов на их транспортные и сервисные потоки. Технологии, существующие на данный момент, предлагают, в частности, смещение времени доставки на внепиковые периоды, в частности, на ночные часы. Однако, это возможно для ограниченного количества заказов в логистике последней мили. Таким образом, остальные вынуждены сталкиваться с проблемами заторов изо дня в день.

В работе рассматриваются различные альтернативы городской доставки – автомобиль, мотоцикл и велосипед. Для этих трех вариантов составлен рейтинг, показывающий приоритетность того или иного средства логистики последней мили с точки зрения потерь от городских заторов. Такие потери определены для 2019 года с учетом состава транспортного потока в г. Киеве, среднего расстояния доставки, а также различного поведения транспортных средств в условиях затора. В итоге получено, что один легковой автомобиль, доставляющий легкие посылки в дневное время, предопределяет потери от заторов в 3,3 раза большие, чем мотоцикл, и в 12,5 раз больше, чем велосипед.

**Ключевые слова:** городская логистика, логистика последней мили, городские заторы, потери от городских заторов, автомобильная доставка, доставка мотоциклом, велосипедная доставка.

**Abstract.** The problem of urban congestion is a constant challenge for various stakeholders in urban logistics are the city authorities, shippers, carriers and logistics companies, warehouse operators and direct recipients (shops, offices and residents). Road congestion is a source of increased air pollution, as well as direct losses of time and money. Thus, problems arising from congestion relate to any resident of the city and are more related to social issues. However, any social losses can be estimated in financial units. To estimate losses from urban congestion, the technology had been used that is widely spread in Europe to estimate external costs from transport. It is shown that these losses are significant for Kyiv, which in 2019 occupied 12th place in the world in terms of traffic congestion.



As you can see, the last mile logistics operators have to constantly look for ways to reduce the impact of road congestion on their transport and service flows. Current technologies offer, in particular, a shift in the delivery time for off-peak periods as well as for night hours. However, it is possible for a limited number of orders in last mile logistics. Thus, the rest are forced to face road congestion problems every day.

The paper considers various alternatives to urban delivery – car, motorcycle and bicycle. For these three options, a rating has been compiled showing the priority of a logistics tool of the last mile in terms of losses from road congestion. Such losses are determined for 2019, taking into account the composition of the traffic flow in Kyiv, the average delivery distance, as well as the different behavior of vehicles in traffic congestion. As a result, it was found that one passenger car delivering light parcels in the daytime predetermines congestion costs 3.3 times greater than a motorcycle and 12.5 times greater than a bicycle.

**Keywords:** city logistics, last mile logistics, city traffic jams, congestion costs, automobile delivery, motorcycle delivery, bicycle delivery.

### Вступ

Затори на дорогах давно стали звичною справою у великих містах. На жаль, не виняток і Київ – столиця України. За результатами 2019 року, він був на 12 місці в рейтингу найзавантаженіших міст світу (Traffic Index, 2019) (рис. 1).

Більш того, позиції Києва погіршилися на 7 %, порівняно з 2018 роком. Отже, проблема завантаженості доріг для міста стоїть надзвичайно гостро і вимагає невідкладних заходів для поліпшення ситуації.

Оскільки практично 98 % учасників дорожнього руху в Києві користуються автотранспор-














| RANK BY FILTER | WORLD RANK | CITY                   | COUNTRY   | CONGESTION LEVEL      |
|----------------|------------|------------------------|---|-----------------------|
| 1              | 1          | Bengaluru              |  India       | 71%                   |
| 2              | 2          | Manila                 |  Philippines | 71%                   |
| 3              | 3          | Bogota                 |  Colombia  | 68% <span>↑ 5%</span> |
| 4              | 4          | Mumbai                 |  India     | 65% <span>0%</span>   |
| 5              | 5          | Pune                   |  India     | 59%                   |
| 6              | 6          | Moscow region (oblast) |  Russia    | 59% <span>↑ 3%</span> |
| 7              | 7          | Lima                   |  Peru      | 57% <span>↓ 1%</span> |
| 8              | 8          | New Delhi              |  India     | 56% <span>↓ 2%</span> |
| 9              | 9          | Istanbul               |  Turkey    | 55% <span>↑ 2%</span> |
| 10             | 10         | Jakarta                |  Indonesia | 53% <span>0%</span>   |
| 11             | 11         | Bangkok                |  Thailand  | 53% <span>0%</span>   |
| 12             | 12         | Kyiv                   |  Ukraine   | 53% <span>↑ 7%</span> |
| 13             | 13         | Mexico City            |  Mexico    | 52% <span>0%</span>   |

Рис. 1. Початок рейтингу міст за рівнем заторів (Traffic Index, 2019)

том, одним із способів боротьби з заторами є мотивування до переходу на більш екологічно дружні транспортні засоби, як мотоцикли та велосипеди. Що стосується заторів, такий перехід буде безпосередньо знижувати їх рівень, особливо в ранкові та вечірні години пік.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Відповідно до європейських досліджень (Haubold, H., 2016), втрати міст ЄС від заторів складають більше 1 % ВВП ЄС на рік. Звіт (Haubold, H., 2016) доводить успішність інвестування доходів від плати за затори в план стійкої мобільності. У якості мотиваційних методів можна згадати досвід (ЕС, 2013), коли з різних учасників дорожнього руху стягується певна плата. Велосипедисти і мотоциклісти мають або знижену, або нульову плату. У Мілані щонайменше 3 млн євро було інвестовано в міську систему обміну велосипедами «BikeMi», що призвело до значного зросту використання велотранспорту в зоні плати за затори.

Основним документом, що дає змогу транспортувати негативні наслідки від заторів у грошовий еквівалент, є (NEST, 2019). Цей документ є черговою, оновленою редакцією серії методик для розрахунку соціально-екологічних втрат від транспорту.

Витрати від заторів у цьому документі, що є базовим для використання в країнах ЄС, прив'язані до різниці в часі, який учасник руху проводить в умовах затору, та часу, який він проводить в умовах вільного руху.

*Формування цілей статті.* Метою статті є оцінка втрат від заторів в м. Києві в 2019 році для різних видів транспортних засобів міської доставки: легкового автомобіля, мотоцикла, велосипеда.

### Основна частина

*Методика визначення втрат від заторів різних видів транспортних засобів міської доставки.* Найбільша складність під час складання методики оцінки втрат від заторів для автомобіля, мотоцикла і велосипеда полягає в різній поведінці цих транспортних засобів в умовах підвищеної щільності руху. Так, автомобіль займає одну смугу руху, тоді як мотоцикл може їхати між рядами або узбіччям, велосипед має можливість навіть виїхати на тротуар. Тому першим завданням було визначення площі, яку займає мотоцикл або велосипед у міському потоці в умовах затору в порівнянні з автомобілем.

Для оцінки різниці автомобіля і мотоцикла в транспортному потоці було запропоновано скористатися так званим автомобільним еквіва-

лентом (PCE – passenger car equivalents або PCU – passenger car unit values of vehicles) мотоцикла. Це простір, який займає мотоцикл на дорозі, порівнянно з простором, який займає автомобіль.

Коли на дорозі вільний рух, можна очікувати, що мотоцикл займе стільки ж місця, як і легковий автомобіль (зі значенням PCE = 1). Однак, коли дорога стає більш завантаженою, а середня швидкість руху транспорту падає, мотоцикли займають менше місця. Це пов'язано з тим, що мотоцикли частково їдуть між смугами руху (рис. 2).



Рис. 2. Можлива поведінка мотоцикліста в умовах затору

Отже, PCE мотоцикла зменшується. Коли спостерігається затор, можна припустити, що всі мотоцикли їдуть між смугами руху, і тоді мотоцикл має значення PCE = 0. Отже, значення PCE мотоцикла залежить в основному від швидкості потоку і його щільності.

Багато наукових досліджень були присвячені проблемам, пов'язаним з перетворенням різних транспортних засобів в еквівалент легкового автомобіля. Ці дослідження були спрямовані на визначення числових значень еквівалентних коефіцієнтів пасажирських автомобілів для перехрест' (Asaithambi et al. 2017; Biswas et al., 2018), на кільцевих розв'язках (Giuffre et al., 2019; Kang & Nakamura 2017; Sugiarto et al., 2018) і шосе (Srikanth & Mehar, 2018; Zhou et al., 2018).

Детальне вивчення впливу частки мотоциклів у транспортному потоці з погляду зміни рівня заторів надано в (Yperman, I., 2011). Так, загальний час, витрачений усіма транспортними засобами в години пік на певній ділянці дорожньої мережі, пропонується обчислювати як інтеграл з межами, що збігаються з тривалістю часового інтервалу, протягом якого спостерігається затор:

$$VVU = \int_{6:30}^{9:30} qVdt \quad (1)$$

де  $V_{VU}$  – загальний час, втрачений за ранкові години пік на ділянці дорожнього руху (годин);  
 $q$  – інтенсивність транспортного потоку (транспортних засобів за годину);

$V$  – втрачений час (годин на транспортний засіб).

Для розглянутого випадку значення  $PCE = 0,5$ , яке було використано для характеристики дорожньої ситуації в умовах ускладненого руху. При вільному русі з низькою щільністю трафіку (рівень затору  $k \approx 0$ ) значення наближається до 1. У цьому випадку відстань між транспортними засобами приблизно однакова, незалежно від того, це автомобілі або мотоцикли. Проміжний режим ( $0 < k_m < k_{max}$ ) характеризуються значенням  $1 > PCE > 0,5$ . В умовах затору ( $k \approx k_{max}$ ) значення  $PCE$  наближається до 0. У цій ситуації мотоцикли проїжджають між смугами руху і випереджають автомобілі, не заважаючи їм. Режими трафіку  $k_m < k < k_{max}$  характеризується значенням  $0,5 > PCE > 0$ .

З огляду на викладене вище, в (Yperman, I., 2011) запропонований такий підхід до визначення  $PCE$  мотоцикла в міському потоці:

$$PCE_{moycl} = \begin{cases} 1 - 0,5 \frac{k}{k_m}, & k \leq k_m \\ 0,5 \left( 1 - \frac{k - k_m}{k_{max} - k_m} \right), & k \geq k_m \end{cases} \quad (2)$$

Дослідження проводилися за середньої інтенсивності руху в ранкові години пік (6:30-9:30) 7 тис. авто/год за умови пропускної здатності 8 тис. авто/год. Спостерігалися такі співвідношення в транспортному потоці: 1 % мотоцикли; 82,5 % автомобілів довжиною до 4,9 м; 7,5 % автомобілів довжиною 4,9-6,9 м); 9 % вантажних автомобілів і автобусів довжиною більше 6,9 м.

Під час модулювання було отримано, що за умови переходу 10 % автомобілістів на мототранспорт втрачений в заторах час скорочується на 63 %. Більш того, показано, що за умови збільшення пересівших на мотоцикли автомобілістів до 25 % затор зникає повністю (рис. 3).

Як видно, за умови транспортного потоку схожого з м. Києвом перехід з автомобіля на мотоцикл суттєво зменшує рівень міських заторів, а, відповідно, і втрати від них.

Проте, вважаємо, що наслідки заміни автомобільного транспорту на мотоциклетний може бути навіть суттєвішими. Адже під час розрахунку  $PCE$  варто брати до уваги не лише різну поведінку мотоцикла у потоці, але і його менші

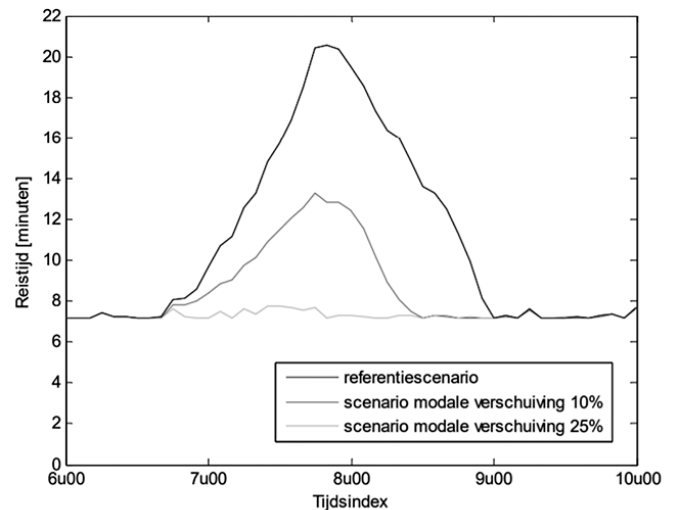


Рис. 3. Час проїзду ділянки дороги в ранкові години пік: синя лінія – існуючий стан; червона лінія – за умови 10 % пересадки з автомобільного транспорту на мотоцикл; зелена лінія – за умови 25 % пересадки з автомобільного транспорту на мотоцикл (Yperman, I., 2011)

габаритні розміри. Наприклад, у роботі (Raj P., et al, 2019) дано детальний аналіз методів визначення  $PCE$  (PCU). Зокрема, враховуються габаритні розміри транспортних засобів, представлених у транспортному потоці (табл. 1).

Таблиця 1

**Середня площа різних видів засобів міський доставки (на основі (Chandra and Kumar, 2003))**

| Транспортний засіб міської доставки | Середні габаритні розміри |           | Середня площа, м <sup>2</sup> |
|-------------------------------------|---------------------------|-----------|-------------------------------|
|                                     | довжина, м                | ширина, м |                               |
| Легковий автомобіль                 | 3,72                      | 1,44      | 5,39                          |
| Двоколійний мотоцикл, мопед, скутер | 1,87                      | 0,64      | 1,20                          |
| Велосипед                           | 1,90                      | 0,45      | 0,85                          |

Видно, що довжина середнього мотоцикла менше довжини середнього легкового автомобіля практично на 1 метр. Довжина велосипеда трохи більша довжини мотоцикла.

Отже, вважаємо, що фактор середньої довжини транспортного засобу також повинен бути врахований під час розрахунку  $PCE$  мотоцикла і велосипеда. Якщо співвідношення довжини середнього легкового автомобіля і середнього мотоцикла  $3,72 / 1,87 = 1,99$ , це означає, що середній мотоцикл практично вдвічі коротший ніж середній легковий автомобіль. Відповідно, і місце, яке

він займає в дорожньому потоці, має відображати це співвідношення. Отже, вираз (2) пропонується перетворити таким чином:

$$PCE_{\text{мисл}} = \begin{cases} 0,5 - 0,25 \frac{k}{k_m}, & k \leq k_m \\ 0,25 \left( 1 - \frac{k - k_m}{k_{\text{max}} - k_m} \right), & k \geq k_m \end{cases} \quad (3)$$

Значне зниження PCE відносно легкового автомобіля підтверджується і автором (Salter R.J., 2016) (табл. 2).

Таблиця 2

**Значення PCE для різних учасників дорожнього руху (на основі (Salter R.J., 2016))**

| Транспортний засіб міської доставки | PCE  |
|-------------------------------------|------|
| Легковий автомобіль                 | 1    |
| Двоколісний мотоцикл, мопед, скутер | 0,33 |
| Велосипед                           | 0,2  |

Незважаючи на те, що дані подано для перехрестя зі світлофорами, вважаємо, що співвідношення 1/3 легкового автомобіля і мотоцикла є приблизно вірним і для руху в потоці.

Викладені вище висновки були використані в наступному розділі для оцінки втрат від заторів у м. Києві у 2019 році.

Аналіз втрат від заторів в м. Києві. Згідно зі спостереженнями волонтерської організації в місті Києві (підрахунок велосипедистів, 2019) навесні близько 3 % зі спостережуваних велосипе-

дистів їхали дорогою, інші – тротуаром, а восени їхали дорогою вже близько 50 %. Відповідно, вплив на завантаженість доріг матимуть лише ті, які рухаються по дорожньому полотні разом з іншими учасниками дорожнього руху. Беручи до уваги недосконалість київської інфраструктури для велосипедів (рис. 4), на дорозі більшість з них займає частину крайньої правої смуги або їде узбіччям.

Відповідно, вплив на затори від велосипедистів значно менший, ніж від мотоциклістів.

Якщо скористатися методикою PCE і значеннями табл. 2, то велосипед займає 20 % від середнього легкового автомобіля на перехресті.

Для розрахунку втрат від заторів, які зумовлюються легковими автомобілями, мотоциклами і велосипедами, потрібна кількість транспортних засобів, яка щодня виїжджає на вулиці м. Києва. У (Савченко Л.В. & Донець А.Г., 2020) така кількість була приблизно визначена (табл. 3).

Таблиця 3

**Кількість транспортних засобів, присутніх однооментно в транспортній мережі м. Києва (Савченко Л.В. & Донець А.Г., 2020)**

| Учасник міської дорожньої мережі    | Кількість |
|-------------------------------------|-----------|
| Легковий автомобіль                 | 1141200   |
| Двоколісний мотоцикл, мопед, скутер | 4000      |
| Велосипед                           | 6000      |

Врахуємо, що лише 50 % велосипедів їдуть дорогою. Отже, кількість транспортних засобів, що беруть участь у заторах м. Києва буде такою (табл. 4).

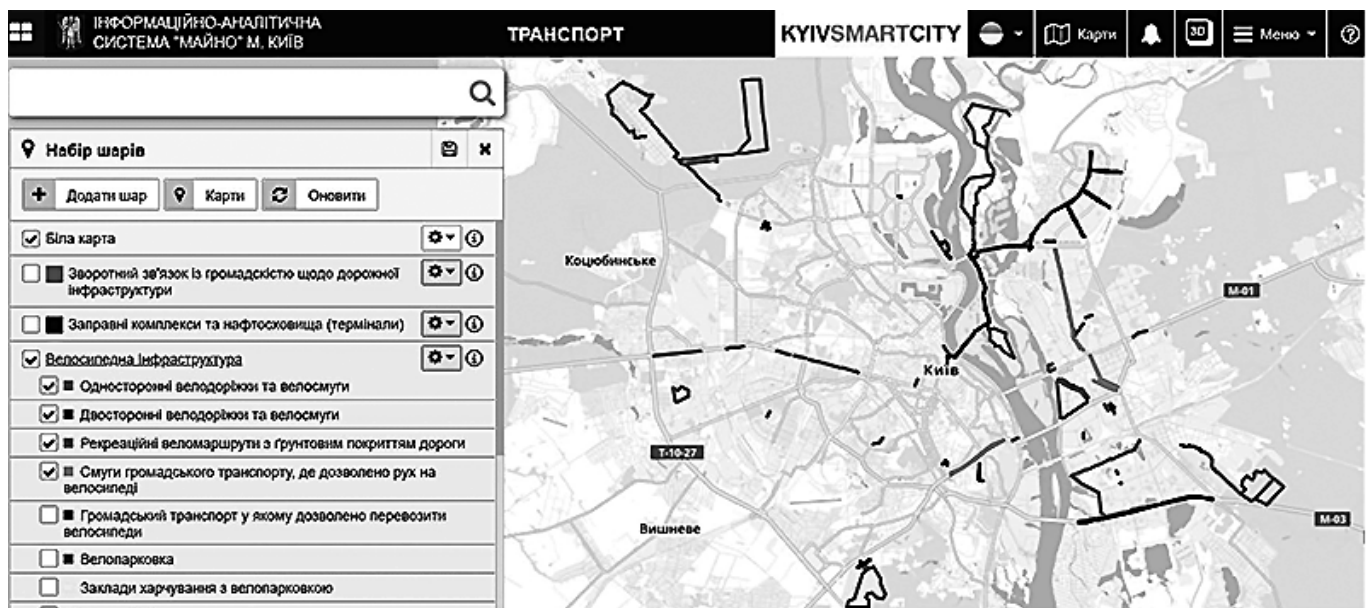


Рис. 4. Велосмути, веломаршрути та смуги громадського транспорту, де дозволений рух на велосипеді в м. Києві (згідно з ІАС «Майно»)

## Кількість транспортних засобів, що потенційно беруть участь у заторах м. Києва

| Учасник міської дорожньої мережі    | Кількість | Доля у загальній кількості, % | Значення РСЕ | Загальна кількість РСЕ |
|-------------------------------------|-----------|-------------------------------|--------------|------------------------|
| Легковий автомобіль                 | 1141200   | 99,8                          | 1            | 1141200                |
| Двоколісний мотоцикл, мопед, скутер | 4000      | 0,12                          | 0,33         | 1320                   |
| Велосипед                           | 3000      | 0,05                          | 0,2          | 600                    |

Тепер скористаємося табличними значеннями, викладеними в (НЕСТ, 2019). Прийmemo, що їзда магістральними та іншими міським дорогам перебуває у співвідношенні 50:50. Також врахуємо, що протягом доби на дорогах міста перебуває різна кількість транспортних засобів. Оскільки більшість використовує індивідуальний транспорт для поїздки на роботу і з роботи, на ранкові та вечірні години пік взято 68 % виїздів. На денні та пізні вечірні години виділено по 15 %, і на виїзди в нічний час – 2 % (табл. 5).

Таблиця 5

## Втрати від заторів автомобільного транспорту (на основі (НЕСТ, 2019))

| Рівень затору   | Середні втрати, євро/км | % транспортних засобів |
|-----------------|-------------------------|------------------------|
| Повний затор    | 0,492                   | 68                     |
| Рух у заторі    | 0,415                   | 15                     |
| Ускладнений рух | 0,323                   | 15                     |
| Вільний рух     | 0                       | 2                      |

Оскільки середня заробітна плата, рівень життя та обсяг ВВП України значно відрізняється від країн ЄС, визначимо поправочний коефіцієнт, з яким можна застосовувати табличні значення витрат від заторів НЕСТ, 2019 для України.

Вважаємо, що основним фактором, що має впливати на втрати від заторів, є середня заробітна планя або погодинні ставки оплати праці. Для країн ЄС у 2019 році середня заробітна планя становила 1646 євро (Cost of Living

Comparison, 2020), тоді як в Україні – 15800 грн, що еквівалентно близько 549,43 євро (середня заробітна платня в місті Києві, 2019). Як бачимо, співвідношення середніх заробітних плат країн ЄС та України становить близько 3. Для узгодження такого розходження пропонуємо зменшити табличні значення витрат від заторів для країн ЄС утричі. Тоді середнє значення втрат від заторів на 1 км шляху складе 0,15 євро (4,25 грн) для середнього легкового автомобіля з РСЕ = 1.

Оскільки табличні значення втрат від заторів наведені в євро на 1 км, необхідні дані щодо середньої відстані, яку проїжджає за добу один транспортний засіб. Із врахуванням різної швидкості і певної складності їзди на мотоциклі і велосипеді в м. Києві, взято такі відстані за добу:

- для автомобіля – 20 км;
- для мотоцикла – 18 км;
- для велосипеда – 8 км.

Виходячи з цих даних розраховані втрати від заторів на один транспортний засіб з урахуванням різниці в РСЕ (табл. 6).

Як бачимо, для м. Києва втрати від заторів у 2019 р. становили близько 36 млрд грн, що склало приблизно 0,9 % ВВП України у 2019 році. У цих втратах частка мотоциклетного і велосипедного транспорту мізерно мала, оскільки кількість таких транспортних засобів на вулицях міста була лише 0,2 %.

Якщо перейти до порівняння легкового автомобіля, велосипеда і мотоцикла з погляду втрат від заторів, то співвідношення «автомобіль–мотоцикл–велосипед» складе 12,5 / 3,7 / 1.

Таблиця 6

## Розрахунок втрат від заторів на одного учасника дорожнього руху, євро / рік

| Учасник міської дорожньої мережі | Середньодобова відстань, км | Втрати від заторів від 1 засобу, грн/добу | Втрати від заторів від усіх засобів з урахуванням РСЕ, млрд. грн/рік | Втрати від заторів від 1 засобу з урахуванням РСЕ, грн/рік |
|----------------------------------|-----------------------------|---|--|--|
| Автомобіль                       | 20                          | 85,55                                     | 35,635   | 31225,53   |
| Мотоцикл                         | 18                          | 76,99                                     | 0,037  | 9273,98  |
| Велосипед                        | 8                           | 34,22                                     | 0,007  | 2498,04  |



Рис. 5. Співвідношення втрат від заторів для 1 автомобіля, мотоцикла і велосипеда, грн / рік

## Висновки

Отже, склад транспортного потоку безпосередньо впливає на втрати міста від заторів. Перехід на використання мотоциклетного і велосипедного транспорту значно знижує рівень заторів і може їх прибрати вже за 25 % мотоциклів або велосипедів у потоці м. Києва.

Нині один легковий автомобіль зумовлює втрати від заторів у 3,7 разів більші, ніж мотоцикл, і в 12,5 разів більші, ніж велосипед.

Відповідні значення втрат від заторів варто враховувати під час планування доставки в логістиці останньої милі, за можливістю віддаючи перевагу двоколісним засобам доставки або пішим кур'єрам.

## Література

- Traffic Index / Tomtom. [Електронний ресурс]. - 2019. — Режим доступу: [https://www.tomtom.com/en\\_gb/traffic-index/ranking/](https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ranking/)
- Haubold, H. Cycling and congestion charges: a winning team for cities / European Cyclists' Federation. [Електронний ресурс]. — 2016. - Режим доступу: <https://ecf.com/groups/congestion-charges-and-cycling>.
- European Commission. A call for smarter urban vehicle access regulations. [Електронний ресурс]. — 2013. - Режим доступу: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/urban/doc/ump/swd%282013%29526-communication.pdf>
- Handbook on the External Costs of Transport, НЕСТ [Електронний ресурс]. - 2019. — Режим доступу: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/studies/internalisation-handbook-isbn-978-92-79-96917-1.pdf>.
- Asaithambi G., Mourie H.S., Sivanandan R. Passenger Car Unit Estimation at Signalized Intersection for Non-lane Based Mixed Traffic Using Microscopic Simulation Model // Periodica Polytechnica Transportation Engineering. - 2017. - Vol. 45(1). - P. 12-20. doi: 10.3311/PPtr.8986
- Biswas, P., Bhattacharya, T., Chanda, A., Das, S., Hazra, S. Urban Wetlands - CO2 sink or source? A case study on the aquaculture ponds of East Kolkata Wetlands // International Journal of Recent Scientific Research. - 2018. - Vol. 9. - no. 2. - P. 24158-24165. doi: 10.24327/ijrsr.2018.0902.1608
- Giuffrè O., Grana A., Giuffrè T., Acuto F. Passenger Car Equivalents for Heavy Vehicles at Roundabouts. A Synthesis Review // Frontiers in Built Environment. - 2019. - Vol. 5. doi: 10.3389/fbuil.2019.00080
- Kanga N., Nakamura H. An Analysis of Characteristics of Heavy Vehicle Behavior at Roundabouts in Japan // Transportation Research Procedia. - 2017. - Vol. 25. - P. 1485-1493. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.176>.
- Sugiarto, S., Apriandy, F., Faisal, R., and Saleh, S. M. Measuring passenger car unit at four-legged roundabout using time occupancy data collected from drone // Aceh Int. J. Sci. Technol. - 2018. - Vol. 7. - P. 77-84. doi: 10.13170/aijst.7.2.8587.

- Srikanth, S., and Mehar, A. Development of MLR, ANN and ANFIS Models for estimation of PCUs at different levels of service // J. Soft Comput. Civil Eng. - 2018. - Vol. 2-1. - P. 18-35. doi: 10.22115/SCCE.2018.50036
- Zhou, J., Rilett, L., Jones, E., and Chen, Y. Estimating passenger car equivalents on level freeway segments experiencing high truck percentages and differential average speeds // J. Trans. Res. Board. - 2018. - № 2672. - P. 44-54. doi: 10.1177/0361198118798237.
- Yperman, I. Commuting by motorcycle: impact analysis // Transport & Mobility Leuven. Belgium. - 2011. - Report 10. - 69 p.
- Raj P., Sivagnanasundaram K., Asaithambi G., Ravi Shankar, A.U. Review of Methods for Estimation of Passenger Car Unit Values of Vehicles // Transportation engineering journal of ASCE. - 2019. - № 145. DOI: 10.1061/JTEPBS.0000234.
- Chandra S., Kumar U. Effect of Lane Width on Capacity under Mixed Traffic Conditions in India // Journal of Transportation Engineering. - 2003. - № 129(2). doi: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:2(155).
- Salter R.J. (2016). Highway Traffic Analysis and Design. Macmillan International Higher Education. 378 p.
- Підрахунок велосипедистів. [Електронний ресурс]. - 2019. — Режим доступу: <https://u-cycle.org.ua/projects/pidrahunok-velosypedystiv/>
- Інформаційно-аналітична система «Майно» / ІАС «Майно». [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://gis.kievcity.gov.ua/map/transport#map>
- Савченко Л.В. & Донець А.Г. (2020). Порівняння витрат від аварійності різних засобів міської доставки у м. Києві. Моделювання та інформаційні системи в економіці, 99, 24-34.
- Cost of Living Comparison in 2020 / Salary Explorer. [Електронний ресурс]. — 2020. - Режим доступу: <http://www.salaryexplorer.com/cost-of-living-comparison.php>
- Середня заробітна плата в місті Києві вища значення в Україні в 1,5 рази /Офіційний портал Києва [Електронний ресурс]. - 2019. — Режим доступу: [https://kyivcity.gov.ua/news/serednya\\_zarobitna\\_plata\\_v\\_misti\\_kiyevi\\_vischa\\_znachennya\\_v\\_ukrani\\_v\\_15\\_razi/](https://kyivcity.gov.ua/news/serednya_zarobitna_plata_v_misti_kiyevi_vischa_znachennya_v_ukrani_v_15_razi/)

## References

- Traffic Index. (2019). Tomtom. Retrieved from [https://www.tomtom.com/en\\_gb/traffic-index/ranking/](https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ranking/)
- Haubold, H. (2016). Cycling and congestion charges: a winning team for cities. European Cyclists' Federation. Retrieved from <https://ecf.com/groups/congestion-charges-and-cycling>.
- European Commission (2013) A call for smarter urban vehicle access regulations. Retrieved from <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/urban/doc/ump/swd%282013%29526-communication.pdf>
- Handbook on the External Costs of Transport, НЕСТ (2019). Retrieved from <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/studies/internalisation-handbook-isbn-978-92-79-96917-1.pdf>.
- Asaithambi G., Mourie H.S., Sivanandan R. (2017). Passenger Car Unit Estimation at Signalized Intersection for Non-lane Based Mixed Traffic Using Microscopic Simulation Model. Periodica Polytechnica Transportation Engineering 45(1): 12-20. DOI: 10.3311/PPtr.8986
- Biswas, P., Bhattacharya, T., Chanda, A., Das, S., Hazra, S. (2018). Urban Wetlands - CO2 sink or source? A case study on the aquaculture ponds of East Kolkata Wetlands. International Journal of Recent Scientific Research. vol. 9, no. 2, 24158-24165. DOI: 10.24327/ijrsr.2018.0902.1608
- Giuffrè O., Grana A., Giuffrè T., Acuto F. (2019). Passenger Car Equivalents for Heavy Vehicles at Roundabouts. A Synthesis Review. Frontiers in Built Environment 5. DOI: 10.3389/fbuil.2019.00080
- Kanga N., Nakamura H. (2017). An Analysis of Characteristics of Heavy Vehicle Behavior at Roundabouts in Japan. Transportation Research Procedia. 25, 1485-1493. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.176>.
- Sugiarto, S., Apriandy, F., Faisal, R., and Saleh, S. M. (2018). Measuring passenger car unit at four-legged roundabout using time occupancy data collected from drone. Aceh Int. J. Sci. Technol. 7, 77-84. doi: 10.13170/aijst.7.2.8587.
- Srikanth, S., and Mehar, A. (2018). Development of MLR, ANN and ANFIS Models for estimation of PCUs at different levels of service. J. Soft Comput. Civil Eng. 2-1, 18-35. doi: 10.22115/SCCE.2018.50036
- Zhou, J., Rilett, L., Jones, E., and Chen, Y. (2018). Estimating passenger car equivalents on level freeway segments experiencing high truck percentages and differential average speeds. J. Trans. Res. Board 2672, 44-54. doi: 10.1177/0361198118798237.

Yperman, I. (2011). Commuting by motorcycle: impact analysis, Transport & Mobility Leuven, Belgium. Report 10, 69.  
Raj P., Sivagnanasundaram K., Asaithambi G., Ravi Shankar, A.U. (2019). Review of Methods for Estimation of Passenger Car Unit Values of Vehicles. Transportation engineering journal of ASCE. 145. DOI: 10.1061/JTEPBS.0000234.  
Chandra S., Kumar U. (2003), Effect of Lane Width on Capacity under Mixed Traffic Conditions in India. Journal of Transportation Engineering 129(2). DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:2(155).  
Salter R.J. (2016). Highway Traffic Analysis and Design. Macmillan International Higher Education. 378 p.  
Pidrakhunok velosypedystiv. 2019. Retrieved from <https://u-cycle.org>.

[ua/projects/pidrakhunok-velosypedystiv/](https://ua/projects/pidrakhunok-velosypedystiv/)  
Informatsiyno-analitychna systema "Mayno" (IAS «Mayno»). Retrieved from <https://gis.kievcity.gov.ua/map/transport#map>  
Savchenko L.V. & Donets' A.H. (2020). Porivnyannya vytrat vid avariynosti riznykh zasobiv mis'koyi dostavky u m. Kyievi. Modelyuvannya ta informatsiyni systemy v ekonomitsi, 99, 24-34. Cost of Living Comparison in 2020. (2020). Salary Explorer. <http://www.salaryexplorer.com/cost-of-living-comparison.php>  
Serednia zarobitna plata v misti Kyievi vyshcha znachennia v Ukraini v 1,5 razy. (2019). Ofitsiyni portal Kyieva. Retrieved from [https://kyivcity.gov.ua/news/serednya\\_zarobitna\\_plata\\_v\\_misti\\_kyievi\\_vischa\\_znachennya\\_v\\_ukrani\\_v\\_15\\_razy/](https://kyivcity.gov.ua/news/serednya_zarobitna_plata_v_misti_kyievi_vischa_znachennya_v_ukrani_v_15_razy/)

УДК 656.073

© В. А. Войтов, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри, e-mail: [vavoitovva@gmail.com](mailto:vavoitovva@gmail.com), ORCID: 0000-0001-5383-7566;

© О. В. Кутья, викладач, e-mail: [bett\\_2008@meta.ua](mailto:bett_2008@meta.ua), ORCID: 0000-0002-8093-3075

© А. Е. Насіров, аспірант, e-mail: [t\\_t\\_l@i.ua](mailto:t_t_l@i.ua), ORCID: 0000-0003-1896-2489 (ХНТУСГ)

DOI: 10.33868/0365-8392-2020-2-262-15-21

© Viktor Vojtov, Doctor of Technical Sciences (PhD), Professor, Head of the Department of Transport Technology and Logistics, e-mail: [vavoitovva@gmail.com](mailto:vavoitovva@gmail.com), ORCID: 0000-0001-5383-7566;

© Olesya Kutiya, Lecturer, e-mail: [bett\\_2008@meta.ua](mailto:bett_2008@meta.ua), ORCID: 0000-0002-8093-3075;

© Amil Nasirov, Postgraduate e-mail: [t\\_t\\_l@i.ua](mailto:t_t_l@i.ua), ORCID: 0000-0003-1896-2489

(Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture)

# МОДЕЛЮВАННЯ ВИТРАТ НА ТРАНСПОРТНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ МІСЬКИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

## MODELING THE COSTS OF TRANSPORTATION SERVICES FOR URBAN FREIGHT

**Анотація.** Представлено математичні вирази для визначення сумарних питомих витрат та результати моделювання витрат на міські вантажні перевезення. Сумарні витрати мають три складові. Перша складова залежить від тарифу на перевезення, довжини маршруту, маси перевезеного вантажу, а також технічної швидкості руху, частоти надходження заявок на обслуговування та коефіцієнта надійності. Друга складова питомих витрат залежить від кількості автомобілів, що перебувають в наряді, технічної швидкості руху, сумарного часу транспортного обслуговування, витрати палива і його ціни, а також маси перевезеного вантажу, коефіцієнтів використаного пробігу, вантажопідйомності та коефіцієнта надійності.

Третя складова залежить від кількості автомобілів, що перебувають в наряді, сумарного часу транспортного обслуговування з урахуванням збільшення часу на вантажно-розвантажувальні роботи, початкової вартості автомобіля і витрат на технічне обслуговування та амортизацію, а також маси перевезеного вантажу і коефіцієнта надійності.

Сумарне значення отриманих питомих витрат є економічним критерієм вибору оптимальних маршрутів на транспортне обслуговування. Проведено моделювання впливу різних факторів і робочих параметрів транспортного процесу міських вантажних перевезень дає змогу стверджувати, що питомі витрати на транспортне обслуговування  $V$ , грн/т, однозначно збільшуються за умови збільшення довжини маршруту, однак, при цьому мають оптимум за умови зміни маси перевезеного вантажу. Встановлено, що на існування оптимуму впливають коефіцієнт використання пробігу і коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобілів.

Показано вплив логістичного центру (потужності логістичного центру) на питомі витрати транспортного обслуговування. Недостатня потужність ЛЦ збільшує час оформлення однієї заявки, що приводить до збільшення сумарних питомих витрат. Це дає змогу зробити висновок, що потужністю логістичного центру необхідно управляти.

**Ключові слова:** транспортний процес, математична модель, міські вантажні перевезення, потужність логістичного центру, питомі витрати.

**Аннотация.** Представлены математические выражения для определения суммарных удельных затрат и результаты моделирования затрат на городские грузовые перевозки. Суммарные затраты имеют три составляющие. Первая составляющая зависит от тарифа на перевозку, длины маршрута, массы перевозимого груза, а также технической скорости движения, частоты поступления заявок на обслуживание и коэффициента надежности.

Вторая составляющая удельных затрат зависит от количества автомобилей, которые находятся в наряде, технической скорости движения, суммарного времени транспортного обслуживания, затрат на топливо и его цены, а также массы перевезенного груза, коэффициентов использованного пробега, грузоподъемности и коэффициента надежности.

Третья составляющая зависит от количества автомобилей, которые находятся в наряде, суммарного времени транспортного обслуживания с учетом увеличения времени на погрузочно-разгрузочные работы, начальной стоимости автомобиля и затрат на техническое обслуживание и амортизацию, а также массы перевезенного груза и коэффициента надежности.

Суммарное значение полученных удельных затрат является экономическим критерием выбора оптимальных маршрутов на транспортное обслуживание.

Проведенное моделирование влияния разных факторов и рабочих параметров транспортного процесса городских грузовых перевозок позволяет утверждать, что удельные затраты на транспортное обслуживание  $B$ , грн/т, однозначно увеличиваются при увеличении длины маршрута, однако, при этом, имеют оптимум при изменении массы перевезенного груза. Установлено, что на существование оптимума влияют коэффициент использования пробега и коэффициент использования грузоподъемности автомобилей.

Показана роль логистического центра (мощности логистического центра) на удельные затраты транспортного обслуживания. Недостаточная мощность ЛЦ увеличивает время оформления одной заявки, которое приводит к увеличению суммарных удельных затрат. Это позволяет сделать вывод, что мощностью логистического центра необходимо управлять.

**Ключевые слова:** транспортный процесс, математическая модель, городские грузовые перевозки, мощность логистического центра, удельные затраты.

**Abstract.** The article presents the expressions for determining the total unit costs and the results of modeling the cost of urban freight. The total cost has three components. The first component depends on the fare, the length of the route, the weight of the goods carried, as well as the technical speed of movement, the frequency of receipt of service requests and the coefficient of reliability.

The second component of the specific costs depends on the number of vehicles in the outfit, the technical speed of movement, the total time of transport service, fuel consumption and its price, as well as the mass of the freight, mileage used, load capacity and reliability coefficient

The third component depends on the number of cars in the outfit, the total time of transport service, taking into account the increase in the time for handling, the initial cost of the car and the cost of maintenance and depreciation, as well as the mass of the freight and the coefficient of reliability.

The total value of the specific costs received is an economic criterion for choosing the optimal routes for transport service.

The simulation of the influence of various factors and operating parameters of the transportation process of urban freight traffic allows to state that the specific costs for transport service  $B$ , hrn./t, uniquely increase with increasing the length of the route, but, at the same time, have the optimum when changing the mass of freight. It is established that the optimum is influenced by the coefficient of use of the mileage and the coefficient of utilization of the capacity of cars.

The results of the degree of influence on the value of the unit costs of the coefficients of use of the mileage  $\beta$  and the coefficient of utilization of the capacity  $Y$ , the change of which occurs during freight urban transport, are presented. Reducing mileage from magnitude  $\beta=1$  to  $\beta=0,5$  increases unit costs by 1,13-1,22 times. Similar and dependencies that characterize the degree of influence of the coefficient of load capacity of cars on the unit cost. Reducing the value  $Y$  from 1 to 0,5 increases the unit costs by 1,17-1,36 times. In this case, the increase in the length of the route increases the specific costs by 2,17-2,33 times, and the increase in the weight of the freight has the optimum, which is clearly expressed at  $Y=1$  and becomes less pronounced when decreasing  $Y$  from 1 to 0,5. The role of the logistics center (logistics center capacity) on the specific cost of transport service is shown. Insufficient power of the LC increases the time of processing one application, which leads to an increase in the total unit costs. This leads to the conclusion that the capacity of the logistics center must be managed.

**Keywords:** transportation process, mathematical model, urban freight, logistics center capacity, unit costs.

## Вступ

Аналіз наукової інформації та отримані позитивні практичні результати з організації міських вантажних перевезень малими партіями дає змогу стверджувати, що витрати на транспортні послуги є вагомим фактором в прийнятті рішень. Однак, пошук рішень з підвищення ефективності вантажних перевезень у місті залишається актуальним. Пов'язано це зі стохастичною природою завантаженості магістралей і вулиць міста в різні години робочого дня, а також динамічністю зміни інтенсивності або щільності транспортного потоку на вулицях міста.

Одним із напрямів отримання прогнозу щодо вартості міських вантажних перевезень є розробка математичних моделей, які враховують не лише тарифи на транспортне обслуговування, а також тип транспортних засобів, витрати на паливо, технічне обслуговування, оплату праці, амортизаційні відрахування та деякі податки та збори. Отриманий результат дасть змогу обґрунтувати вибір типу транспортного засобу, раціональний маршрут доставки вантажу в реальному масштабі часу і тим знизити загальні витрати на доставку.

Виходячи з викладеного вище, основною аргументацією наукового дослідження є пошук рішень із розрахунку питомих витрат на вантажні перевезення у місті. Шляхами такого пошуку є

розробка математичної моделі, яка враховує всі складові транспортного процесу. Практичною значимістю такого дослідження є зменшення витрат на транспортне обслуговування в межах міста.

*Аналіз останніх досліджень.* У роботі [1] проведено аналіз процесу функціонування транспортно-складського комплексу та формалізовано критерій ефективності. Цей показник є питомою вартістю переробки вантажу і враховує витрати власника вантажу, пов'язані із простоем автомобілів, що очікують обслуговування. Проведене дослідження свідчить про актуальність використання критеріальних оцінок різних логістичних систем у процесі їх функціонування, які буде використано в подальших дослідженнях.

Авторами роботи [2] виконано аналіз тенденцій розвитку міських вантажних перевезень і розроблено критерій його економічної доцільності. Представлено метод оцінки вантажних перевезень міста на основі інформації про вантажопотоки. Завдяки створенню інформаційної матриці, обґрунтовано тарифи на міські вантажні перевезення. Приведено результати, які дають змогу зробити висновки, що економічний критерій є доцільним під час вибору міських маршрутів.

Авторами роботи [3] наведено аналіз існуючої системи ціноутворення на вантажні перевезен-



ня та зроблено висновок, що під час розрахунку витрат перевізники не враховують час простоїв, паркування, а також деякі податки та збори. Авторами роботи робиться висновок про облік величини податків у загальних витратах на транспортне обслуговування.

У роботі [4] представлено методи оптимізації вартості вантажних перевезень. Доведено, що фактори, які впливають на вартість необхідно розділити на три категорії: тарифи на перевезення; оцінка затворів і збільшення часу знаходження на маршруті; витрати на будівництво і ремонт доріг. Такий підхід, на думку авторів, дасть змогу більш точно оптимізувати транспортні витрати.

Дослідження, представлені в роботі [5], враховують не тільки параметри перевізного процесу, а й тип транспортних засобів. Це дає змогу авторам враховувати не тільки витрати на паливо, а й витрати на технічне обслуговування та ремонт транспортних засобів.

Становить інтерес методичний підхід до розрахунків витрат, що було наведено у роботі [6]. Автори роблять висновок, що під час розрахунків загальних витрат на транспортне обслуговування не враховується показник надійності логістичних операцій. У статті наведено приклади розрахунків витрат із різним рівнем надійності, що дає змогу зробити висновок – облік показника надійності в сумарних витратах є значущим.

У роботах [7, 8] під час розрахунків сумарних витрат застосовуються питомі показники, грн/т. При цьому сумарні витрати враховують три складові: тарифи на перевезення; витрати на паливо та технічне обслуговування транспортних засобів; заробітна плата та певні види податків та зборів, амортизаційні відрахування. На наш погляд, такий підхід більш повно дає змогу оцінити загальні витрати та привести їх до питомого показника.

*Формулювання мети дослідження.* Одним із завдань цього дослідження є розробка сумарного (інтегрального) критерію питомої вартості міських вантажних перевезень та отримання залежностей зміни критерію від впливу різних факторів і робочих параметрів транспортного процесу.

### Основна частина

Важливим показником роботи логістичної системи вантажних міських перевезень є їх вартість, яка включає наступні складові.

На підставі робіт [7, 8], які присвячені економічним критеріям, можна зробити висновок, що доцільніше застосовувати питомі критерії або параметри, які враховують вартість на одну

тону перевезеного вантажу, розмірність грн/т. У роботі прийнято припущення, що дальність перевезення вантажів по місту однакова.

Першою складовою вартості є поточні витрати, які формує прийнятий тариф на перевезення вантажу. Такий тариф визначається ринком і має розмірність грн/км.

Вираз, за яким визначається питома вартість, пов'язано з ринковою величиною тарифу. Його можна подати так:

$$B_1 = \frac{l_m^2 \cdot T_{\text{пер}} \cdot \omega}{m \cdot v_{\text{мех}} \cdot K_H}, \text{ грн/т}, \quad (1)$$

де  $B_1$  – вартість на транспортне обслуговування, яка залежить від тарифу, грн/т;

$l_m$  – довжина маршруту, км;

$T_{\text{пер}}$  – тариф на перевезення, грн/км;

$\omega$  – частота надходження заявок на обслуговування у логістичному центрі (ЛЦ), 1/година;

$m$  – маса вантажу, т;

$v_{\text{мех}}$  – технічна швидкість транспортного засобу на маршруті, км/год;

$K_H$  – коефіцієнт, який оцінює надійність функціонування логістичної системи, розраховується за роботою [9].

Як показує вираз (1), збільшення маси перевезеного вантажу  $m$ , технічної швидкості на маршруті  $v_{\text{мех}}$  і коефіцієнта надійності  $K_H$  буде сприяти зниженню питомої вартості перевезень.

Другою складовою вартості є поточні витрати, що пов'язані з витратами палива транспортними засобами під час виконання замовлення. Ґрунтуючись на роботах [7, 8], можна записати вираз:

$$B_2 = \frac{N_{\text{авт}} \cdot v_{\text{мех}} \cdot t_{\Sigma} \cdot C_{\text{п}} \cdot 0,01 \cdot G_{\text{п}}}{m \cdot K_H \cdot \beta \cdot \gamma}, \text{ грн/т}, \quad (2)$$

де  $N_{\text{авт}}$  – кількість автомобілів, що перебувають в наряді;

$t_{\Sigma}$  – сумарний час виконання замовлення з урахуванням затримок, година;

$C_{\text{п}}$  – вартість одного літра палива, грн/л;

$G_{\text{п}}$  – витрати палива автомобілем у міському циклі руху, л/100 км;

$\beta$  – коефіцієнт, який враховує наявність холостого пробігу (коефіцієнт використаного пробігу);

$\gamma$  – коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобіля.

Аналіз виразу (2) дає змогу зробити висновок, що збільшення сумарного часу на транспортне обслуговування  $t_{\Sigma}$ , [9], збільшує вартість. Одночасно, збільшення коефіцієнта надійності  $K_H$ , а також коефіцієнтів використання пробігу  $\beta$  і використання вантажопідйомності  $\gamma$ , буде сприяти зниженню вартості  $\beta_2$ .

Третьою складовою вартості є витрати, які враховують заробітну плату водіїв, витрати на технічне обслуговування автомобілів, амортизаційні витрати та деякі податки та збори, які залежать від початкової вартості автомобіля.

Вираз для розрахунків третьої складової вартості можна подати так:

$$B_3 = \frac{N_{авт} \cdot K_{в-р} \cdot t_{\Sigma} \cdot C_{з,зп} + 0,00041 \cdot C_{авт} \cdot N_{авт}}{m \cdot K_H}, \text{ грн/т, (3)}$$

де  $K_{в-р}$  – коефіцієнт, який враховує збільшення сумарного часу доставки вантажу на вантажно-розвантажувальні роботи,  $K_{в-р} = 1,15-1,3$ ;

$C_{з,зп}$  – погодинна ставка заробітної плати водія, грн/год;

$C_{авт}$  – початкова вартість автомобіля, грн.

Коефіцієнт 0,00041 враховує витрати на технічне обслуговування автомобіля, які дорівнюють 5 % від початкової вартості автомобіля  $C_{авт}$  та амортизаційні витрати, які дорівнюють 10 % від  $C_{авт}$  у рік, віднесені до одного дня експлуатації.

Сумарну, інтегральну питому вартість міських вантажних перевезень подамо:

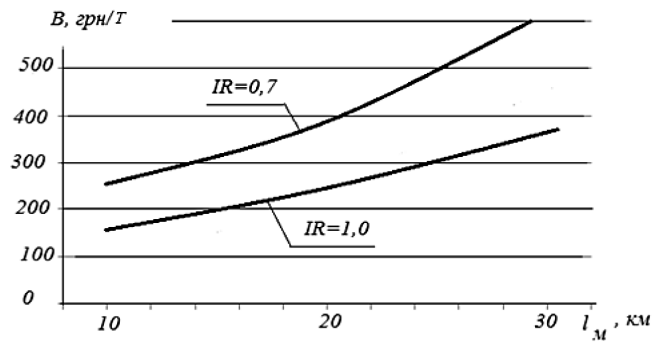
$$B = B_1 + B_2 + B_3, \text{ (4)}$$

Аналіз отриманих формул (1) – (4) дає змогу зробити висновок, що питома вартість транспортного міського обслуговування залежить від дальності перевезення, маси вантажу, коефіцієнтів надійності, використання пробігу та вантажопідйомності, сумарного часу перебування в наряді, тарифу на перевезення і витрат палива. Представлена величина питомої вартості, формула (4), може виступати економічним інтегральним критерієм міських вантажних перевезень у процесі розв'язку оптимізаційних завдань на вибір маршрутів. Цей критерій повинен прагнути до мінімуму.

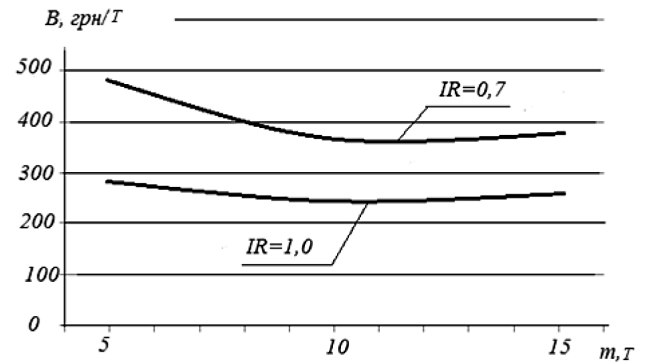
*Результати досліджень.* Виконаємо моделювання впливу різних параметрів транспортного процесу на питому вартість, яка відображає ефективність міських вантажних перевезень.

Залежності зміни питомої вартості  $B$  при зміні довжини маршруту  $l_m$  і наявності заторів на маршруті  $IR$  [10], представлено на **рис. 1**, а за умови зміни маси перевезеного вантажу  $m$  і наявності заторів на маршруті, на **рис. 2**.

Як впливає із аналізу результатів моделювання, збільшення довжини маршруту  $l_m$  збільшує питому вартість в 2-3 рази (рис.1-2), отже,  $l_m$  є більш значимим параметром, ніж наявність заторів на маршруті  $IR$ . Результати моделювання показують, що при зменшенні  $IR$  від 1 до 0,7, питома вартість збільшується в 1,59-1,6 раз.



**Рис. 1.** Залежності зміни величини питомої вартості  $B$  логістичної системи за різної довжини маршруту  $l_m$  і наявності заторів на маршруті  $IR$

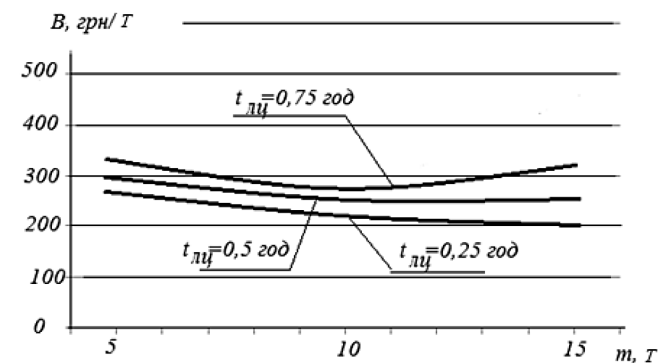


**Рис. 2.** Залежності зміни величини питомої вартості  $B$  логістичної системи за різної маси перевезеного вантажу  $m$  і наявності заторів на маршруті  $IR$

Аналіз залежностей на **рис. 2** дає змогу стверджувати: вплив величини маси перевезеного вантажу на питому вартість має оптимум. Якщо збільшення заторів на маршруті ( $IR$  зменшується від 1 до 0,7) призводить до збільшення питомої вартості в 1,49-1,6 раз, то за умови зміни маси перевезеного вантажу існує оптимум.

Роль ЛЦ у питомій вартості транспортного обслуговування представлена залежностями на **рис. 3-4**.

Аналіз залежностей, наведених на **рис. 3** дає змогу оцінити ступінь впливу маси перевезеного



**Рис. 3.** Залежності зміни величини питомої вартості  $B$  логістичної системи за різної маси перевезеного вантажу  $m$  і часу оформлення однієї заявки в ЛЦ –  $t_{лц}$



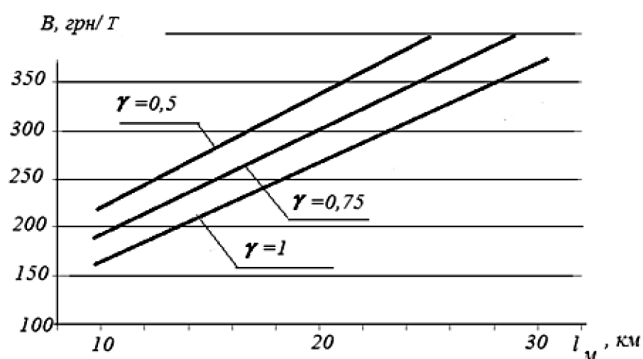


Рис. 8. Залежності зміни величини питомої вартості  $V$  логістичної системи за різної довжини маршруту  $l_m$  і коефіцієнта використання вантажопідйомності автомобіля  $\gamma$

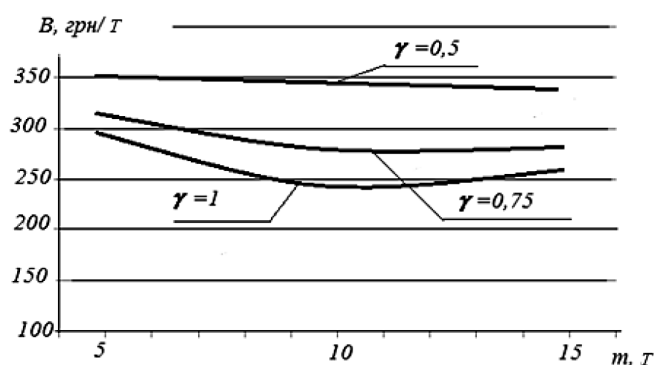


Рис. 9. Залежності зміни величини питомої вартості  $V$  логістичної системи за різної маси перевезеного вантажу  $m$  і коефіцієнта використання вантажопідйомності автомобіля  $\gamma$

**Аналіз результатів досліджень.** Проведене моделювання впливу різних факторів і робочих параметрів транспортного процесу міських вантажних перевезень у межах прийнятих обмежень, дає змогу стверджувати, що питома вартість транспортного обслуговування  $V$ , грн/т, однозначно збільшується за умови збільшення довжини маршруту, однак, при цьому, має оптимум за умови зміни маси перевезеного вантажу.

Встановлено, що на існування оптимуму впливають коефіцієнт використання пробігу і коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобілів.

Показано вплив логістичного центру (потужності логістичного центру) на питому вартість транспортного обслуговування. Недостатня потужність логістичного центру збільшує час оформлення однієї заявки, що призводить до збільшення питомої вартості. Це дає змогу зробити висновок, що потужністю логістичного центру необхідно управляти.

### Висновки

1. Розроблено математичну модель питомої вартості транспортного обслуговування міських вантажних перевезень. Модель враховує

три складові питомої вартості: питома вартість, пов'язана з прийнятим тарифом на перевезення вантажу; питома вартість, пов'язана з витратами палива транспортними засобами з урахуванням коефіцієнтів використання пробігу і вантажопідйомності; питома вартість, що включає заробітну плату водіїв, технічне обслуговування автомобілів і амортизаційні витрати. Сумарне значення отриманих питомих витрат є економічним критерієм вибору оптимальних маршрутів на транспортне обслуговування.

2. Проведене моделювання впливу різних факторів і робочих параметрів транспортного процесу міських вантажних перевезень дає змогу стверджувати, що питома вартість транспортного обслуговування  $V$ , грн/т, однозначно зростає за умови збільшення довжини маршруту, однак, при цьому, має оптимум за умови зміни маси перевезеного вантажу. Встановлено, що на існування оптимуму впливають коефіцієнт використання пробігу і коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобілів.

3. Отримані результати моделювання дають змогу обґрунтувати і розробити блок-схему розрахункової програми, яка разом з інтернет-ресурсами дасть змогу приймати рішення під час вибору раціональних маршрутів міських вантажних перевезень.

### Література

- Shramenko, N. Y. Effect of process-dependent parameters of the handling-and-storage facility operation on the cargo handling cost / Shramenko, Eastern European Journal of Enterprise Technologies, 5/3 (77), pp. 43–47. 2015. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.51396
- R. M. Zhang, L. Huang. Application of the freight rate on freight flow forecast, Advances in Transportation Studies . Special Issue, Vol.3, p.61-68. 2017.
- Hansen I. Determination and Evaluation of Traffic Congestion Costs. European Journal of Transport and Infrastructure Research , 1, no.1, pp. 61 – 72. 2001.
- Xiaoning Zhang. Editorial: Optimisation methods of road pricing / European Journal of Transport and Infrastructure Research / Issue 14(1), 2014 pp. 1-6 ISSN: 1567-7141.
- Аземша С. Зависимость себестоимости международных автомобильных перевозок грузов от параметров транспортных средств и перевозочного процесса. Transport and Telecommunication Vol.7, No 4, с. 57-60. 2006.
- Lukinskiy V, Lukinskiy V. I. Evaluation of the Influence of the Logistic Operations Reliability on the Total Costs of a Supply Chain. Transport and Telecommunication, volume 17, no. 4, 307–313. 2016. DOI 10.1515/ttj-2016-0027.
- Войтов В. А., Музыльов Д. О., Бережна Н. Г., Щербакова В. В. Економічна ефективність функціонування транспортно-логістичного комплексу під час збирання цукрового буряку з урахуванням показника надійності, Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів: ХНТУСГ. – 2018. – №. 12. – С. 272–280.
- Vojtov, V. A., Muzylyov, D. A., Berezchnaja, N. G. Integrated approach in calculation of the economic effect of the functioning of the transport and logistic complex with the account of the risk factor, International academy journal Web of Scholar. – March 2018. – 3(21), Vol.1. – P. 12–18.
- Vojtov V, Kutiya O., Berezchnaja N., Karnaukh M., Bilyaeva O. Modeling

of reliability of logistic systems of urban freight transportation taking into account street congestion. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 4, no. 3 (100), pp. 15-21. 2019. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.175064.

10. Кутя О. В. Разработка математической модели городских грузовых перевозок, Технический сервис агропромышленного, лесового та транспортного комплексів, 2019, вип.15, с.159-163.

## References

1. Shramenko, N. Y. (2015). Effect of process-dependent parameters of the handling-and-storage facility operation on the cargo handling cost. Eastern European Journal of Enterprise Technologies, 5/3 (77), 43-47. doi: 10.15587/1729-4061.2015.51396.
2. Zhang, R. M., Huang, L. (2017). Application of the freight rate on freight flow forecast. Advances in Transportation Studies, 3, 61-68.
3. Hansen, I. (2001). Determination and Evaluation of Traffic Congestion Costs. European Journal of Transport and Infrastructure Research, 1, 1, 61 – 72.
4. Xiaoning, Z. (2014). Editorial: Optimisation methods of road pricing. European Journal of Transport and Infrastructure Research, 14,1, 1-6.
5. Azemsha, S. (2006). Zavisimost sebestoimosti mezhdunarodnyih avtomobilnyih perevozok грузов от параметров транспортныh средств i

perevozchnogo protsessa. Transport and Telecommunication, 7, 4, 57-60.

6. Lukinskiy, V., Lukinskiy, V. I. (2016). Evaluation of the Influence of the Logistic Operations Reliability on the Total Costs of a Supply Chain. Transport and Telecommunication, volume 17, no. 4, 307-313. DOI 10.1515/tjt-2016-0027.

7. Voytov, V. A., Muzilov, D. O., Berezhna, N. G., Scherbakova, V. V. (2018). Ekonomichna efektyvnist funktsionuvannya transportno-logistichnogo kompleksu pid chas zbirannya tsukrovogo buryaku z urahuvanniam pokaznika nadiynosti. Tehnichnij servis agropromislovogo, lisovogo ta transportnogo kompleksiv: HNTUSG, 12, 272–280.
8. Voytov, V. A., Muzylyov, D. A., Berezhnaja, N. G. (2018). Integrated approach in calculation of the economic effect of the functioning of the transport and logistic complex with the account of the risk factor. International academy journal Web of Scholar. 3, 21,1, 12–18.
9. Voytov, V., Kutiya, O., Berezhnaja, N., Karnaukh, M., Bilyaeva, O. (2019). Modeling of reliability of logistic systems of urban freight transportation taking into account street congestion. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4, 3, 100, 15-21. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.175064.
10. Kutiya, O. V. (2019). Razrabotka matematicheskoy modeli gorodskih грузовыh перевозок. Tehnichnij servis agropromislovogo, lisovogo ta transportnogo kompleksiv. – HNTUSG,15, 159–163.

УДК 629.13 (075.8)

© М. Г. Грубель, канд. техн. наук, доцент,  
e-mail: m.g.grybel@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4820-6935  
(Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного);

© Л. В. Крайник, докт. техн. наук, професор,  
e-mail: l.kraynyk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0524-9126;

© В. В. Хома, студент, e-mail: homa.v@hotmail.com,  
ORCID: 0000-0002-9900-855X

(Національний університет "Львівська політехніка")

DOI: 10.33868/0365-8392-2020-2-262-21-28

© Mykhailo Hrubel, Candidate of Technical Science, Associate Professor, e-mail: m.g.grybel@gmail.com,  
ORCID: 0000-0002-4820-6935 (Hetman Petro Sahaidachny National Army Academy);

© Lybomyr Krainyk, Doctor of Technical Science, Professor,  
e-mail: l.kraynyk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0524-9126;

© Vitalii Khoma, student, e-mail: homa.v@hotmail.com,  
ORCID: 0000-0002-9900-855X

(Lviv Polytechnic National University)

# ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ КОЛІСНОЇ ВІЙСЬКОВОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ БЕЗДОРІЖЖЯМ ТА ОЦІНКА ЙОГО АДЕКВАТНОСТІ

## SIMULATION MODELLING OF WHEELED MILITARY AUTOMOTIVE EQUIPMENT MOVEMENT IN OFF-ROAD CONDITIONS AND ASSESSMENT OF ITS ADEQUACY

**Анотація.** На базі засобів імітаційного моделювання MATLAB Simulink розроблено метод оцінки прохідності зразків колісної БАТ під час руху в умовах бездоріжжя. Його адекватність підтверджено збіжністю отриманих результатів моделювання та експериментальних досліджень. Отримані результати можуть слугувати базою для визначення параметрів колісної БАТ та оновлення нормативної бази щодо прохідності.  
**Ключові слова:** імітаційна модель руху, колісна БАТ, бездоріжжя, максимально можлива швидкість руху.

**Аннотация.** На базе средств имитационного моделирования MATLAB Simulink разработан метод оценки проходимости образцов колесной БАТ при движении в условиях бездорожья. Его адекватность подтверждена сходимость результатов моделирования и экспериментальных исследований. Полученные результаты могут быть базой для определения параметров колесной БАТ и обновления нормативной базы проходимости.  
**Ключевые слова:** имитационная модель движения, колесная БАТ, бездорожье максимально возможная скорость движения.

**Abstract.** A method for assessing vehicle mobility and performance of wheeled MAE samples in off-road conditions based on MATLAB Simulink simulation tools has been developed. This method is based on a basic mathematical model in accordance with empirical dependencies, which have been worked out over the last 15-20 years by the "Eastern" School of Terramechanics. It was also used the WES (Waterways Experiment Station) practical methods for assessing the bearing capacity of the movement supporting surface (soil, sand, etc.), based on a standardized measurement of the deformation resistance of a specified

supporting surface by a conical penetrometer, called CI (the Cone Index). Taking this method into consideration, the calculation of technically possible maximum velocity of movement  $V_{max}$  of a particular wheeled MAE model on a given supporting surface with certain physical and mechanical deformation characteristics was performed. Its adequacy is confirmed by the convergence of the results obtained from modeling and experimental studies. The obtained results can serve as a basis for determining the parameters of wheeled MAE and updating the normative base for vehicle mobility and performance. It should be noted that there are significant tangible differences in the quantitative assessment of the maximum speeds of wheeled MAE along different supporting surfaces on the empirical dependencies of the "Eastern" and "Western" Scientific Schools, which is confirmed by experimental studies. The obtained results can serve as a basis for determining the parameters of wheeled MAE and updating the normative base for vehicle mobility and performance.

**Keywords:** simulation model of movement, wheeled MAE, off-road, maximum possible speed of movement.

## Вступ

Потреба оновлення парку колісної військової автомобільної техніки (далі – ВАТ) Збройних Сил (ЗС) України продиктована як веденням АТО (ООС), так і наявністю технічно зношених і морально застарілих зразків (ГАЗ, ЗИЛ, КамАЗ, УРАЛ, МАЗ). Це обумовлює необхідність розроблення у стислі терміни українських зразків колісної ВАТ, що відповідають вимогам збройних конфліктів останніх десятиліть, а також гармонізації з технічними характеристиками колісної ВАТ країн НАТО. Крім того потребує оновлення і нормативна база щодо формування експлуатаційних характеристик, зокрема прохідності. Це обумовлює логічну дилему щодо порівняльної оцінки існуючих методик і відповідного формування національної нормативної бази, як основи визначення та оцінки характеристик прохідності перспективного типу ВАТ для ЗС України. Пріоритетом у цьому плані є власне опрацювання оцінки прохідності для різних категорій опорних поверхонь (далі – ОП), бездоріжжя, характерних для України. Це може стати теоретичною основою для створення національної нормативної бази – стандартів із метою відходу від вимушено ще чинних радянських ГОСТ-В, абсолютна більшість з яких уже не чинні в сучасній Російській Федерації (РФ) і оновлені під вимоги і зміни, що відбулись у тактиці ведення сучасних збройних конфліктів за останні 30-40 років. Першочерговим завданням у цій ситуації є опрацювання оцінки прохідності, що базується на використанні емпіричних залежностей механіки взаємодії коліс ВАТ і ОП різних типів за прикладом РФ, КНР, а також США та інших країн НАТО. Деталізоване чисельне моделювання взаємодії «шина – ОП» на базі методу скінченних елементів (МСЕ) / FEM (англ. Finite Element Method), що впродовж останніх 15-ти років набуває зростаючого розповсюдження власне у наукових дослідженнях є неприйнятним для використання у військах через громіздкість та високі вимоги до комп'ютерної техніки та кваліфікації персоналу. Тому в основу чинних в арміях НАТО методик покладено опрацьовані впродовж десятиліть емпіричні залеж-

ності механіки взаємодії коліс автомобіля з ОП, що суттєво відрізняються від відповідних наукових напрацювань у СРСР та сучасній РФ.

## Основна частина

Загалом щодо прохідності колісної ВАТ бездоріжжям необхідно констатувати існування практично двох різних наукових шкіл – «Східної» [1-3,5,6,8-9,13-15], яку використовує РФ та більшість країн, які входили до складу колишнього СРСР, і «Західної», яку використовують країни НАТО [6,7, 10-12, 15-17]. Загальною для наукової школи «Західна» є методика – WES (англ. Waterways Experiment Station) оцінки несної здатності ОП руху (грунту, піску тощо), що базується на стандартизованому вимірі опору деформації зазначеної ОП конусоподібним пенетрометром, названим конусним індексом CI (англ. Cone Index) [6, 7].

Базова математична модель на основі емпіричних залежностей, опрацьованих впродовж останніх 25-30 років науковою школою террамеханіки «Східна» (Безбородова Г. В., Кошарний М. Ф., Агейкін Я. С., Вольська Н. С., Ларін В. В. та інші), достатньо детально представлена у роботі [3]. Структура її реалізації на базі засобів імітаційного моделювання MATLAB Simulink опрацьована авторами і показана на **рис. 1**. Основними її відмінностями є:

- розрахунок технічно можливої максимальної швидкості руху  $V_{max}$  конкретної моделі колісної ВАТ за заданою ОП з визначеними фізико-механічними характеристиками деформації [3];

- задання характеристики двигуна у формі двовірного чисельного табульованого масиву з інтерполяцією у підпрограмі ENGINE поточних значень режиму роботи двигуна відповідно до методики [4];

- автоматичний підбір передачі в трансмісії під визначене тягове зусилля і швидкість руху (включно режими максимальної паливоподачі у двигун) – шляхом логічного задання перебору варіантів навантаження режиму роботи двигуна, приведених до ведучих коліс ENGINE.

Варіант імітаційної моделі за WES-методикою відрізняється введенням характеристик тих же ОП за оцінкою CI – конусного індексу з варіантом

перерахунку значень модуля деформації – модуля Юнга Е кореляційною залежністю у СІ. Окрім визначення максимально можливої швидкості конкретної моделі ВАТ для даної ОП виконується розрахунок показників прохідності VCI (англ. Vehicle cone index) та MMP (англ. Mean maximum pressure) [6, 7].

Розрахунок максимально можливої швидкості руху для заданих параметрів ОП і завантаження автомобіля з причепом, виконується за умов досягнення 10-20 % пробуксовування ведучих коліс та максимального зчеплення шини з ОП.

Блок-схема розрахунку прохідності колісної ВАТ бездоріжжям у програмному середовищі MATLAB Simulink на базі емпіричних залежностей «Східної» наукової школи наведено на **рис. 2**.

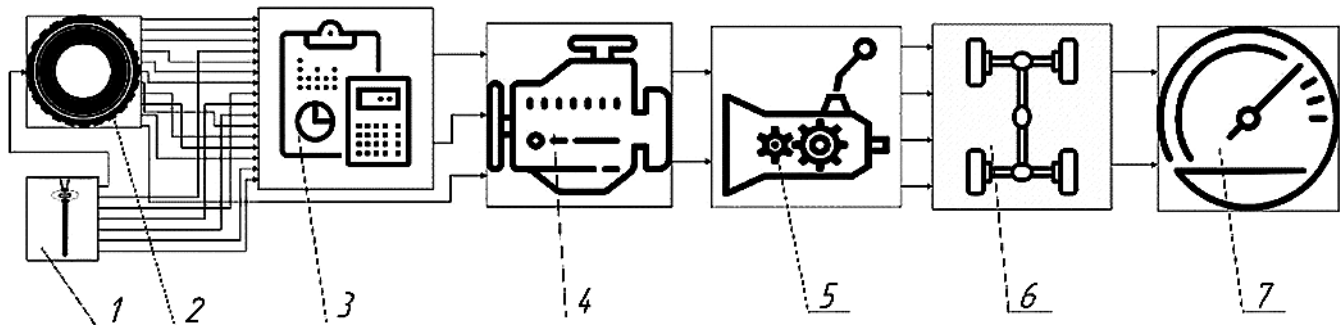
Відповідна блок-схема розрахунку динаміки руху бездоріжжям з додатковим до  $V_{max}$  обчисленням значень VCI та MMP на базі емпіричних

залежностей «Західної» наукової школи наведена на **рис. 3**.

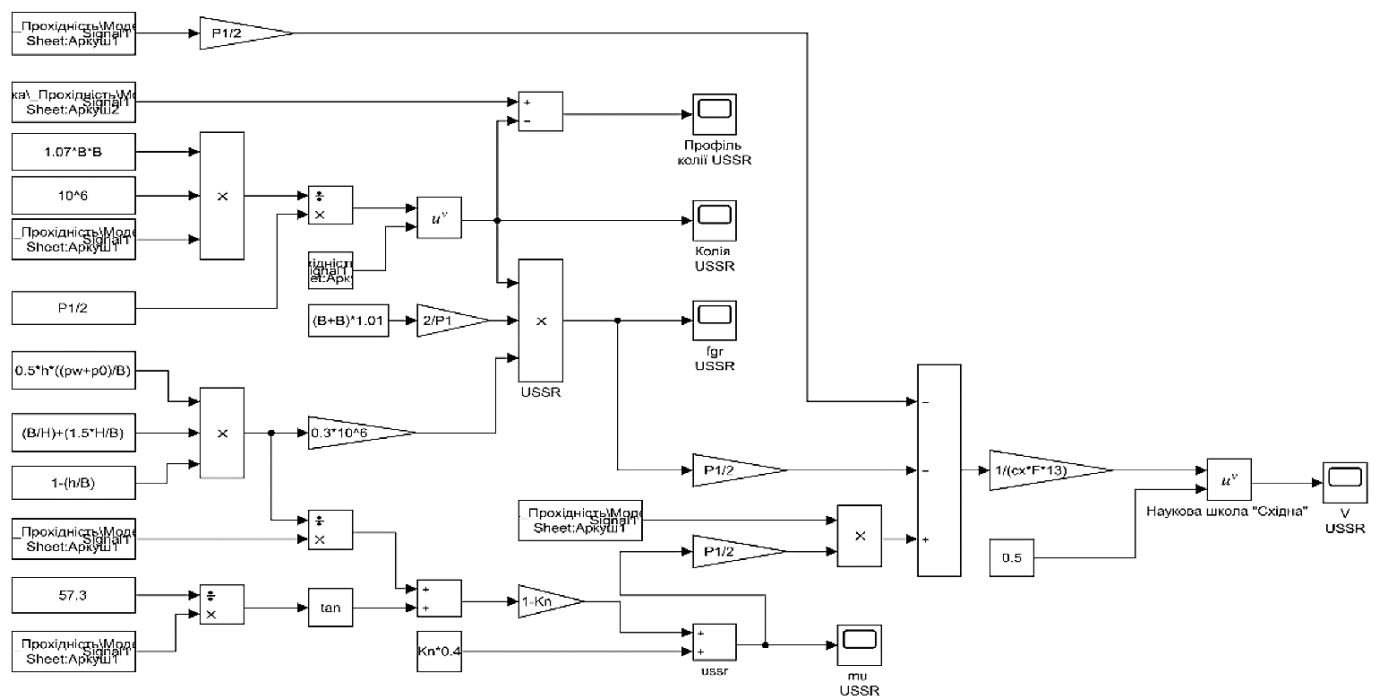
Кількісна оцінка прохідності ВАТ за запасом питомої сили тяги на буксирному гаку згідно з ГОСТ РВ 52048-2003 [8] чи використовуюваного в Україні на добровільних засадах ГОСТ В 26442-85 СССР [9] у обидвох варіантах моделювання позбавлена змісту через низьку інформативність щодо практичного використання у військах.

Враховуючи очевидний обмежений доступ до програмного забезпечення WES та інших методик оцінки прохідності ВАТ [10], структура побудови моделі руху базувалась на аналізі публікацій за вказаною тематикою і сформована з таких етапів:

- задання (визначення) чисельного значення СІ (МПа) для конкретного типу і стану ОП [6];
- розрахунок індексу прохідності MN (англ. Mobility number або wheel numeric) для відомого



**Рис. 1.** Структура імітаційної моделі руху колісної ВАТ бездоріжжям: 1 – задання характеристик ОП, 2 – характеристики шин, 3 – блок розрахунку тягового зусилля, 4 – задання характеристик двигуна; 5 – підбір передачі з умов прохідності; 6 – трансмісія; 7 – блок визначення швидкості



**Рис. 2.** Блок-схема визначення  $V_{max}$  на базі емпіричних даних наукової школи «Східна»

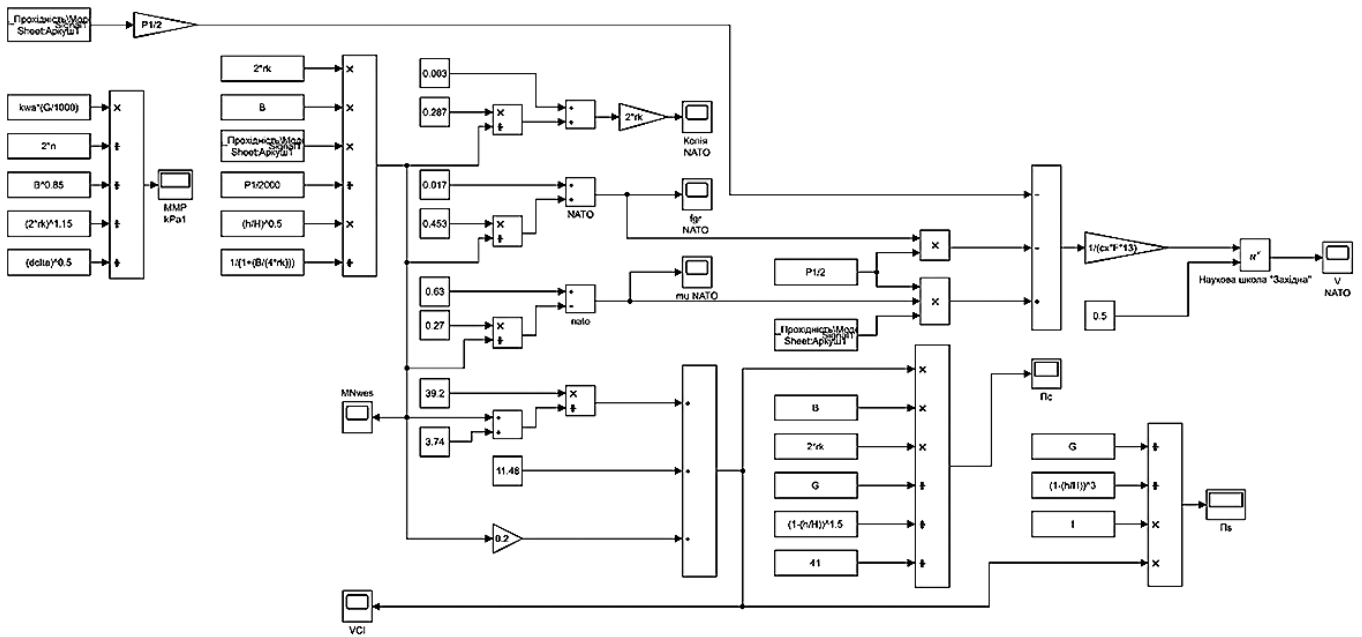


Рис. 3. Блок-схема визначення  $V_{max}$  на базі емпіричних даних наукової школи «Західна»

значення конусного індексу  $CI$  опорної поверхні та конкретного типу колісної БАТ:

$$MN_{CI} = \frac{CI \times B \times D}{Q_w} \times \sqrt{\frac{h_z}{H_T}} \times \frac{1}{1 + \frac{B}{2D}} \quad (1)$$

або простіша залежність, що опрацьована D.R. Freitag власне у інженерному корпусі армії США [11]:

$$MN_{CC} = \frac{CI \times B \times D}{Q_w} \times \sqrt{\frac{h_z}{H_T}} \quad (2)$$

де  $CI$  – чисельне значення конусного індексу  $CI$  для даної ОП (МПа);  $Q_w$  – вертикальне навантаження на колесо БАТ (кН);  $D$  – діаметр колеса, м;  $B$  – ширина шини (протектора),  $Q_w$  м;  $h_z$  – радіальна деформація шини на твердій ОП під дією навантаження  $Q_w$ , м;  $H_T$  – висота шини, м.

Індекс прохідності є орієнтовним показником, значення якого використовується, як для оцінки прохідності даної ОП зазначеним типом БАТ (інформаційні табличні масиви градації значень), так і для подальшого розрахунку-оцінки глибини колії  $z$ , коефіцієнтів опору рухові та зчеплення шини з дорогою за умови подальшого розрахунку теоретично можливої максимальної швидкості руху БАТ вказаною місцевістю – ОП.

Розрахунок глибини колії  $z$  з аналізу досліджень [12] щодо існуючих у різних дослідженнях емпіричних залежностей:

$$z = \left( 0,003 + \frac{0,91}{MN_{CI}} \right) \times D \quad (3)$$

та паралельно заальтернативну залежність із більшою збіжністю з результатами експериментів по заліснених ОП згідно з [13]:

$$z = \left( -0,001 + \frac{0,248}{MN_{CI}} \right) \times D \quad (4)$$

та відповідно [7, 8]:

$$z = \left( 0,003 + \frac{0,287}{MN_{CC}} \right) \times D \quad (5)$$

розрахунок коефіцієнтів опору деформації ОП – опору рухові  $f$  та коефіцієнта зчеплення шини з ОП  $\mu$  здійснюється за наступними емпіричними залежностями [7]:

$$f = 0,07 + \frac{0,2}{MN_{CI}} ; \quad \mu = 0,63 - \frac{0,27}{MN_{CI}} \quad (6)$$

або альтернативно [15]:

$$f = 0,017 + \frac{0,453}{MN_{CI}} \quad (7)$$

для засніженої ОП і близьких до них за  $CI$  сухих піщаних пустель за результатами [12]:

$$f = 0,04 + \frac{0,2}{MN_{CI} - 2,5} ; \quad \mu = 0,2 - 0,18, \quad (8)$$

Із врахуванням вертикального навантаження на колесо автомобіля залежності (6) – (8) дають змогу визначити зусилля опору рухові на заданій ОП та силу зчеплення шин із поверхнею, відповідно і необхідне тягове зусилля, наближене до межі пробуксовування колеса.  $S=0 - 0,2$ . Це забезпечує максимально можливу швидкість руху



$V_{max}$  за максимально можливою високою передачею з необхідною силою тяги на колесах і відповідно кінематично вищою швидкістю.

Окремо визначались показники прохідності БАТ.

Згідно з WES-методикою так званого конусного індексу мобільності  $VCI$  [16]:

$$VCI_1 = 11,48 + 0,2MN_{CI} + \left( \frac{39,2}{MN_{CI} + 3,74} \right) \quad (9)$$

$$VCI_{50} = 28,23 + 0,43MN_{CI} - \left( \frac{92,67}{MN_{CI} + 3,62} \right) \quad (10)$$

де 1 – індекс першого проїзду передньої осі для кожної наступної осі автомобіля враховується ефект ущільнення ОП у однорозмірній колії згідно із залежностями представленими у [6]; 50 – кількість проходу осей тією ж колією.

За методикою RARDE (англ. Royal Armament Research and Development Establishment UK) Великобританії так званий максимальний ефективний тиск на ОП ММР [7,17]:

$$ММР = \frac{k \times W_a}{2 \times n \times B^{0,35} \times D^{1,15} \times \left( \frac{h_z}{H_T} \right)^{0,5}}, \quad (11)$$

де  $W_a$  – вага зразка БАТ; k – коефіцієнт кількості осей [17], значення k надані у роботі [6].

Ущільнені ОП залежно від кратності проїзду осей оцінюються відповідним збільшенням значення СІ у 1,85 рази за умови проїзду 10 осей і до 2,80 за умови проїзду 50 осей [6]. Короткі характеристики досліджуваних ОП визначені лабораторним шляхом та за допомогою інженерного пенетрометра ПТ-1 наведені у **табл. 1**.

Отримані чисельні значення зазначених показників прохідності двох зразків колісної БАТ при спорядженій масі для досліджуваних ОП на Міжнародному центрі миротворчості та безпеки (МЦМБ) наведені у **табл. 2**.

Оцінка адекватності опрацьованих моделей оцінки прохідності та максимальної технічної швидкості руху здійснювалася на базі відповідних експериментальних досліджень КраЗ-5233 та КамАЗ-4310 в умовах МЦМБ зазначеними ОП (**табл. 1, 2**). На **рис. 4-5** наведено результати максимально можливої швидкості руху зразків колісної БАТ на базі емпіричних залежностей наукових шкіл «Східна» і «Західна» та експериментальні дані. Деталізовані характеристики ОП, вимірювальної апаратури та результати експериментальних досліджень представлено у [18].

Варто констатувати достатню збіжність отриманих результатів у межах 0,9-2,3 км/год залежно від типу ОП. Найбільші відхилення характерні для сухішої ділянки супіску, з більшими коливаннями висоти нерівностей мікропрофілю. Остання задавалася у вигляді табульованого масиву даних, що обумовило зниження розрахункової швидкості руху за західною методологією, що відповідає і певному зниженню швидкості за експериментальними даними. Водночас це не враховується емпіричними залежностями методології «Східної» наукової школи, що зумовило, навпаки, збільшення відповідної розрахункової швидкості. Це обумовлено зменшенням вологості ОП та відповідної зміни значення модуля деформації Е.

Комп'ютеризований розрахунок  $V_{max}$  забезпечує порівнюваність із результатами експериментальних досліджень автомобілів Урал-4230-31

Таблиця 1

Короткі характеристики ОП

| № з/п | Тип і стан ОП                                 | Густина непорушеної структури ґрунту, г/см <sup>3</sup> | Вологість, % | Е, МПа | СІ, кПа |
|-------|---|---|--------------|--------|---------|
| 1.    | Зволожений супісок з глибиною залягання <1м   | 1,76  | 15,3         | 1,17   | 570     |
| 2.    | Зволожений супісок з глибиною залягання >1,5м | 1,74  | 14,8         | 0,82   | 400     |
| 3     | Суглинок вологий, легкий                      | 1,88  | 23,5         | 1,25   | 610     |

Таблиця 2

Показники прохідності КраЗ-5233 та КамАЗ-4310 згідно з методиками НАТО для дослідних ділянок ОП

| № з/п | Тип ОП     | Зволожений супісок з глибиною залягання <1м |                  | Зволожений супісок з глибиною залягання >1,5м |                  | Суглинок вологий, легкий |                  | ММР, кПа |
|-------|------------|---|------------------|---|------------------|--------------------------|------------------|----------|
|       |            | МН  | VCI <sub>1</sub> | МН  | VCI <sub>1</sub> | МН                       | VCI <sub>1</sub> |          |
| 1.    | КраЗ-5233  | 6.7   | 16.58            | 4.7   | 17.08            | 7.2                      | 16.51            | 466      |
| 2.    | КамАЗ-4310 | 8.4   | 16.39            | 5.9   | 16.73            | 8.95                     | 16.36            | 328      |

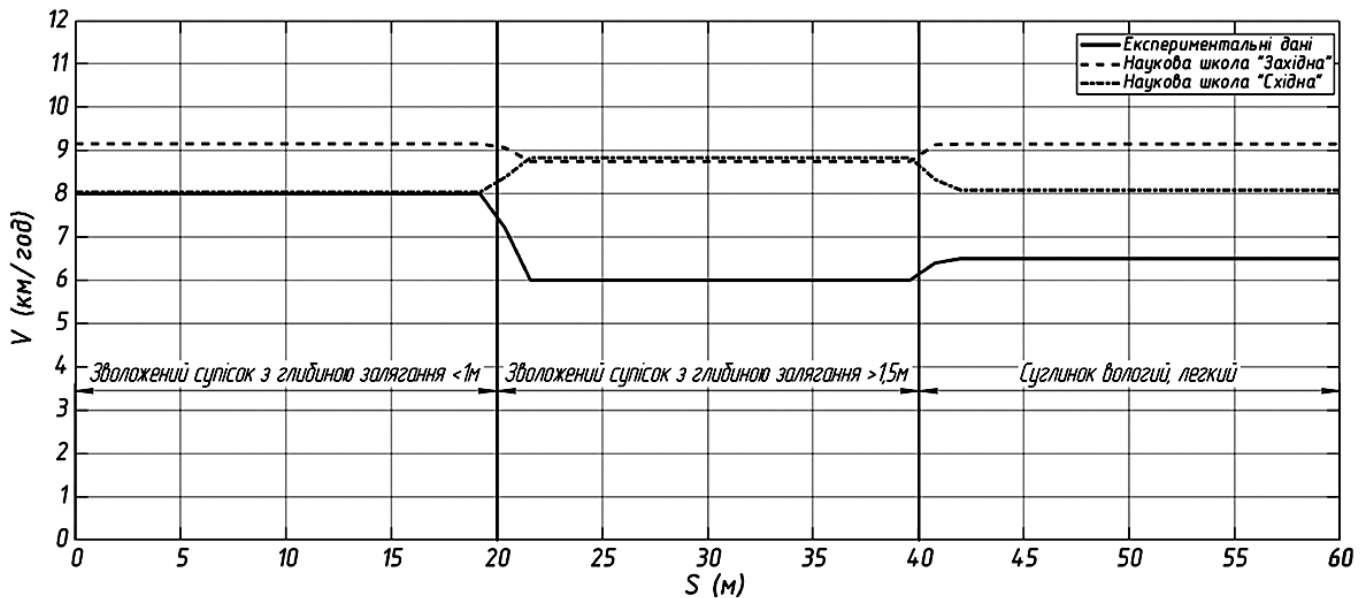


Рис. 4. Експериментальна та розрахункові оцінки швидкісних режимів руху КамАЗ-4310 трьома типами бездоріжжя

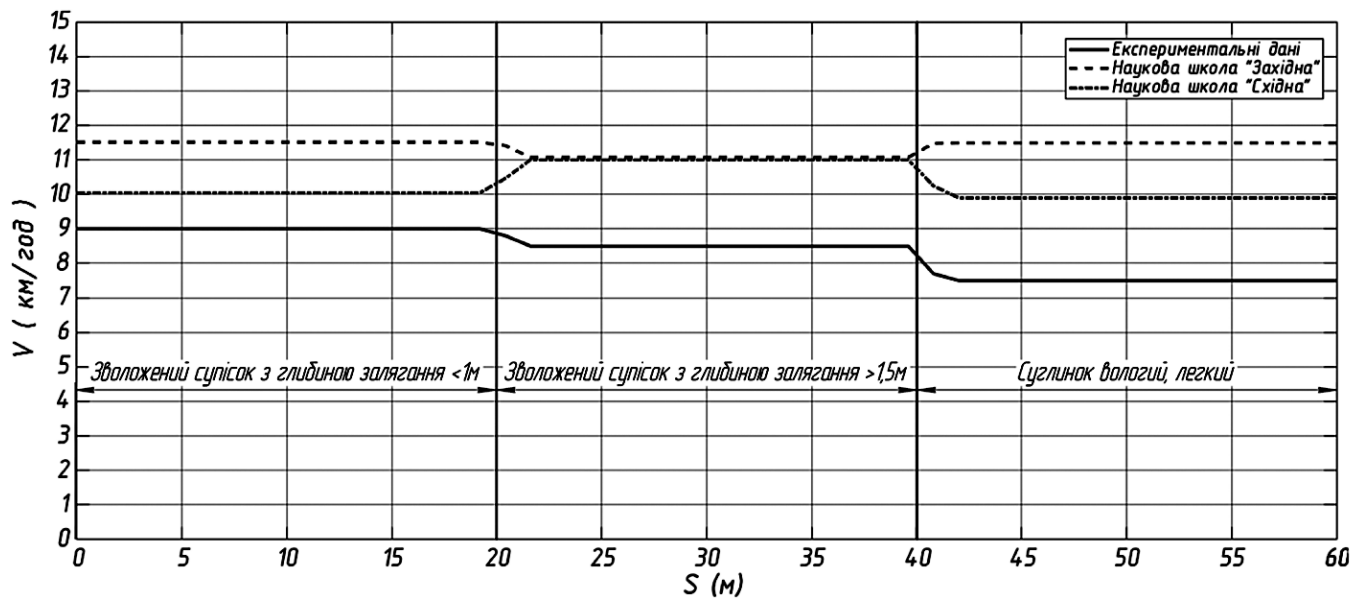


Рис. 5. Експериментальна та розрахункові оцінки швидкісних режимів руху КрАЗ-5233 трьома типами бездоріжжя

та КамАЗ-43114 на сухій піщаній ОП [19]. З врахуванням зміни шин (Кама 1260, 425/85R21) для цих автомобілів проведено моделювання за методикою «Західної» школи засвідчило збіг результатів із даними цього експерименту – результати відхилення склали від 0,8 до 1,6 км/год. При цьому збереглися і співвідношення кількісної оцінки кращої прохідності УРАЛ-4230-31 відносно до КамАЗ-43114. Це дало підстави для відповідної оцінки – розрахунку максимальних швидкостей руху на 6 типових ОП із заданням характеристик СІ, Е тощо. (згідно з даними [5, 7]), результати чого наведено на **рис. 6** для трьох зразків колісної ВАТ. При цьому свідомо ділянка 6 (торфове болото) – непрохідна з умов

оцінкових показників VCI, MMP – була задана як контрольний маркер адекватності комп’ютерних моделей розрахунку реаліям, що зрештою і підтвердилось ( $V = 0$ ).

Щодо якісної оцінки зміни максимальної технічної швидкості  $V_{max}$  залежно від характеристики бездоріжжя, отриманих у результаті розрахунку за методологіями обидвох наукових шкіл, варто відзначити таке:

- для методики наукової школи «Західна» характерна більша чутливість до типу і несної здатності ОП, як приклад, під час переходу з руху вологим суглинком на зволожену ріллю (**рис. 6**);
- для методики наукової школи «Східна» отримані результати  $V_{max}$  у порівнянні до різних типів

ОП мають дещо суперечливий характер. Це підтверджується складністю пояснень незначного збільшення швидкості для КамАЗ-4310 під час переходу з сухого піску ( $E=5\text{МПа}$ ) на ділянку зволоженого супіску ( $E=1,17\text{МПа}$ ) за практично незмінних значень швидкості для КраЗ-5233 та маловідчутного її зниження для УРАЛ-4320. Це стосується також зросту швидкості руху всіх 3 зразків колісної ВАТ під час переходу з вологого та легкого суглинку ( $E=1,25\text{МПа}$ ) на зволожену ріллю ( $E=0,6\text{МПа}$ ) з меншим у 2 рази значенням модуля деформації ґрунту  $E$ . Водночас швидкості за методикою наукової школи «Західна» відчутно знизилась, що у принципі ближче до реалій (рис. 6).

Практично варто констатувати більшу адекватність результатів розрахунку швидкості руху, отриманих згідно з методикою наукової школи «Західна» щодо зміни типу і стану ОП.

На рис. 6 наведено результати розрахунків  $V_{max}$  для трьох зразків колісної ВАТ. Чисельні значення базових показників несної здатності ОП за зазначеними методологіями представлені у таблиці на рис. 6.

Порівняльний аналіз оцінкових показників прохідності, що використовуються науковою школою «Західна» –  $MN$ ,  $VCI$ ,  $MMP$ , (табл. 2) з отриманими результатами комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень, свідчить про порівнюваність оцінки і достатню адекватність моделі для практичного викорис-

тання. Водночас показник  $MMP$ , на відміну від  $MN$  і  $VCI$ , є «нечутливим» щодо капотної чи безкапотної компоновки зразків колісної ВАТ, тобто нерівномірності розподілу ідентичної повної маси автомобіля за осями. Це підтверджено і наведеними вище результатами порівняльних досліджень – оцінки прохідності сухою піщаною ОП практично ідентичних за повною масою і силовим приводом і шинами УРАЛ-4320 та КамАЗ-4311 [19]. За рівних значень  $MMP$  для обидвох зразків колісної ВАТ (табл. 1) різниця у навантаженні на передню вісь 470 кг у УРАЛ-4320 капотної компоновки з відповідним довантаженням обидвох задніх осей на 630 кг внаслідок більшої спорядженої маси на 130 кг у порівнянні з безкапотним КамАЗ-4311 обумовила різницю у експериментально визначених можливих швидкостях на піщаній ОП від 11 % за умови зниженого тиску до 0,1 МПа до 12 % за номінального тиску в шинах. Певним чином це корелює і з різницею в оцінці проходження даних моделей ВАТ згідно з показниками  $MN$ ,  $VCI$ .

Індиферентність показника  $MMP$  щодо нерівномірного розподілу навантажень на осі підтверджується і результатами експериментальної оцінки прохідності практично однотипних автомобілів КамАЗ-4311 та УРАЛ-4320 з однаковим значеннями показника  $MMP$  (табл. 2), але очевидною максимально досягнутою швидкістю на піщаній ОП власне в УРАЛ-4320 завдяки меншому навантаженню на передню вісь попри відповідне збільшення на обидві задні осі, які рухаються уже ущільненою колією.

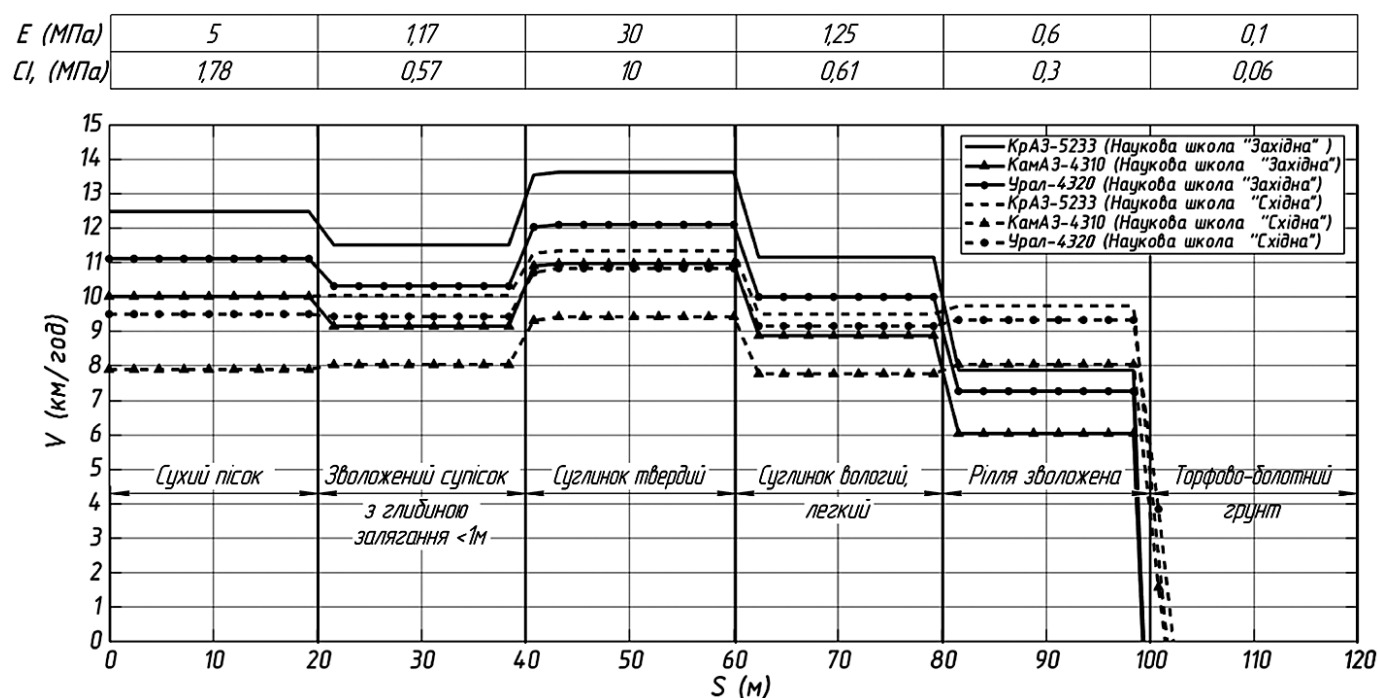


Рис. 6. Розрахункова оцінка швидкісних режимів руху зразків ВАТ для типових ОП

Очевидно, що оцінка прохідності конкретних зразків колісної ВАТ за показниками MN, VCI та ММР принципово відрізняється від звичного з часів СРСР показника сили тяги на буксирному гаку і є реальною базою для практичної оцінки рівня прохідності бездоріжжям колісної ВАТ. Водночас під час формування української нормативної бази щодо експериментальної оцінки прохідності колісної ВАТ, необхідність якої є очевидна, варто врахувати і реалії компоновки, нерівномірність розподілу навантажень на осі та тягово-швидкісний діапазон силового приводу.

### Висновки

На базі засобів імітаційного моделювання MATLAB Simulink розроблено метод оцінки прохідності та визначення  $V_{\max}$  різних зразків колісної ВАТ за умов руху бездоріжжям. Зокрема отримані значення максимально можливої швидкості для автомобілів КраЗ-5233, УРАЛ-4320, КамАЗ-4310. Адекватність побудованих моделей підтверджується збіжністю результатів моделювання та експериментальних даних у межах 10 %.

За результатами імітаційного моделювання руху конкретних зразків ВАТ (КраЗ-5233, УРАЛ-4320, КамАЗ-4310) для 6 типів ОП можна констатувати якісний характер визначення потенційних максимальних швидкостей руху. Якісна оцінка різного рівня опорної прохідності вказаних моделей ВАТ, що отримана шляхом комп'ютерного розрахунку, зокрема щодо однотипних за масогабаритними показниками зразків колісної УРАЛ-4320, КамАЗ-4310, але різних за компоновкою і розподілом навантаження на осі, засвідчила адекватність відображення різниці швидкісних характеристик руху для різних типів ОП. Та варто зазначити суттєві відчутні відмінності кількісної оцінки максимальних швидкостей руху колісної ВАТ різними ОП за емпіричними залежностями наукових шкіл «Східної» та «Західної», що підтверджено експериментальними дослідженнями.

### References

1. Bezborodova, G. B., Galushko V. G. (1978). Modelirovaniye dvizheniya avtomobilya [Modeling the movement of the car]. Kyiv, Vysshaya shkola, 163.
2. Kosharnyy, N. F. (1981). Tekhniko-eksploatatsionnyye svoystva avtomobiley vysokoy prokhodimosti [Technical and operational properties of cross-country vehicles]. Kyiv, Vyshcha shkola, 208.
3. Ageykin Ya.S. (1981). Prohodimost avtomobiley [Patency of cars]. Moscow, Mashinostroenie, 230.
4. Krainyk, L. V., Hrubel, M. H. (2010). Bahatofaktorna otsinka ta normuvannia palyvnoi ekonomichnosti vantaznykh avtomobiliv [Multifactor evaluation and rationing of fuel efficiency of trucks]. Lviv, ASV, 117.
5. Hrubel, M. H., Krainyk, L. V., Bodnar, M. F. (2019). Otsinka tiahovo-shvydkisnykh kharakterystyk viiskovoi avtomobilnoi tekhniki za umov rukhu bezdorizhzhiam metodamy imitatsiinoho modeliuвання [Estimation of traction-speed characteristics of military motor vehicles under off-road conditions by simulation methods]. Kyiv, Ozbroiennia ta viiskova tekhnika, 46-53.
6. Hrubel, M. H., Krainyk, L. V., Kuprinenko, O. M. (2019). Metodolohiia otsinky opornoї prokhidnosti kolisnoi viiskovoi avtomobilnoi tekhniki [Methodology for assessing wheelbase support of military military vehicles]. Kyiv, Ozbroiennia ta viiskova tekhnika, 12-22.
7. Wong, Y. J. (1993). [Theory of ground vehicle London]. London – NewYork, Mc-GrawHill Booh Comp., 423.
8. GOST RV 52048-2003. (2003). Avtomobili mnogotselovogo naznacheniya. Parametryi prohodimosti i metodyi ih opredeleniya. [Multipurpose cars. Passability parameters and methods for their determination]. Moscow.
9. GOST V 26442-85. (1986). Avtomobili mnogotselovogo naznacheniya. Parametryi prohodimosti i metodyi ih opredeleniya. [Multipurpose cars. Passability parameters and methods for their determination]. Moscow.
10. Lessem, A., Mason, G., Ahlvin, R. (1996). [Stochastic vehicle mobility forecasts using the NRMM]. Journal of Terramechanics, 33(6), 273-280.
11. Freitag D.R. (1965). [A dimensional analysis of the performance of the pneumatic tires soft soil]. US Army Waterways Experimental Station. Report, 3-688, 1965.
12. He, R., Sandu, C., Khan, A. R., Guthrie, A. G., Els, P. S. & Hammersma, H. A. (2019). [Review of terramechanics models and their applicability to real-time applications]. Journal of terramechanics, 81(2), 3-22.
13. Hahina, A. M. (2017). (Metodyi prognozirovaniya i povysheniya prohodimosti kolesnyih lesnyih mashin) [Methods for predicting and improving the patency of wheeled forest machines]. Sankt-Peterburg, Dis. d.t.n. SPU, 332.
14. Larin, V. V. (2013). (Analiz zavisimostey deformiruemosti opornoї poverhnosti. Vertikalnaya deformatsiya). [Analysis of the deformability of the support surface. Vertical deformation]. Moscow, Vestnik MGTU im. N.E. Bauman, 1-11. Retrieved from <https://engjournal.ru/articles.pdf>.
15. Maclaurin, B. (2018). [High Speed Off-Road Vehicles: Suspensions, Tracks, Wheels and Dynamics]. London, Wiley, 249. Retrieved from <https://www.wiley.com/en-ua/High+Speed+Off+Road+Vehicles:+Suspensions,+Tracks,+Wheels+and+Dynamics-p-9781119258810>.
16. Lutz, J. (2003). [Mobility of ground vehicles. US military view a overview primer and reference source guide]. Quent systems Inc., 101.
17. Larminie, J. C. (1992). [Modifications to the mean maximum pressure system]. Journal of Terramechanics, 29(2), 239-255. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/002248989290029/>.
18. Hrubel, M. H., Ftemov, Yu. O., Khoma, V. V. (2019). Eksperymentalni doslidzhennia parametriv prokhidnosti zrazkviv kolisnoi viiskovoi avtomobilnoi tekhniki. [Experimental studies of the patency parameters of samples of wheeled military vehicles]. Kharkiv, Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika, 4(60), 7-15.
19. Ostretsov, A. V., Esakov, A. E., Sharipov, V. M. (2014). Sravnitel'naya otsenka opornoї prohodimosti avtomobiley KamAZ-4350, KamAZ-43114 i Ural-4320-31 na syipuchem peske. [Comparative assessment of the support patency of KAMAZ-4350, KAMAZ-43114 and Ural-4320-31 vehicles on loose sand]. Izvestiya MGTU MAMI, 1(19), 50-51.

# АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

УДК 625.7/8

© С. М. Толмачов, докт. техн. наук, професор, професор кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, ORCID: 0000-0003-1011-3861, e-mail: [tolmachov.serg@gmail.com](mailto:tolmachov.serg@gmail.com) (Харківський національний автомобільно-дорожній університет);

© С. Й. Солодкий, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри автомобільних доріг і мостів, ORCID: 0000-0001-9829-5123, e-mail: [s.solodkyy@ukr.net](mailto:s.solodkyy@ukr.net) (Національний університет "Львівська політехніка")

DOI: 10.33868/0365-8392-2020-2-262-29-35

© Serhii Tolmachov, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor at the Department of Road Building Materials Technology and Chemistry, ORCID: 0000-0003-1011-3861, e-mail: [tolmachov.serg@gmail.com](mailto:tolmachov.serg@gmail.com) (Kharkiv National Automobile and Highway University)

© Serhii Solodkyy, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Highways and Bridges, ORCID: 0000-0001-9829-5123, e-mail: [s.solodkyy@ukr.net](mailto:s.solodkyy@ukr.net) (Lviv Polytechnic National University)

## ДО ПИТАННЯ ПОЧАТКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ ПОКРИТТІВ І ОСНОВ

### TO THE ISSUE OF OPERATION COMMENCEMENT OF CEMENT CONCRETE PAVEMENTS AND BASE COURSES

**Анотація.** Прискорення введення в експлуатацію монолітних бетонних основ і покриттів сьогодні є неможливим через певну консервативність поглядів, яка закріплена в чинних нормативних документах, про те, що експлуатувати ці шари можна не раніше, ніж через 28 діб їх твердіння. На підставі проведених досліджень обґрунтовується можливість відкриття руху по збудованим цементобетонним основам і покриттям жорстких дорожніх одязів через 3...7 діб твердіння бетону. Результатами лабораторних досліджень і випробуваннями кернів із цементобетонних покриттів встановлено, що застосування якісних заповнювачів, сучасних високоактивних портландцементів і суперпластифікаторів дає змогу забезпечити високу ранню міцність бетонів на рівні 70 % від марочної, яка відповідає 30...40 МПа у віці 3 діб, що відкриває можливість почати експлуатацію основ і покриттів із таких бетонів після 3...7 діб твердіння.

**Ключові слова:** цементний бетон, портландцемент, суперпластифікатор, жорсткі дорожні одязи, початок експлуатації.

**Аннотация.** Ускорение введения в эксплуатацию монолитных бетонных оснований и покрытий сегодня не представляется возможным по причине консервативности взглядов, которая закреплена в действующих нормативных документах, на начало эксплуатации слоев из монолитного бетона – не раньше 28 суток твердения бетона. Результатами лабораторных исследований и испытаний кернов из цементобетонных покрытий установлено, что использование качественных заполнителей, современных высокоактивных портландцементов и суперпластификаторов дает возможность обеспечить высокую раннюю прочность бетонов на уровне 70 % от марочной, которая соответствует 30...40 МПа в возрасте 3 суток, что открывает возможности начала эксплуатации оснований и покрытий из таких бетонов после 3...7 суток твердения.

**Ключевые слова:** цементный бетон, портландцемент, суперпластификатор, жесткие дорожные одежды, начало эксплуатации.

**Abstract.** Nowadays accelerating the operation of monolithic concrete bases and pavements is impossible due to the certain conservativeness of the views, which is established in the applicable regulatory documents. According to regulations, it is possible to operate these courses no earlier than after 28 days of hardening. To ensure the efficient operation of high-performance concrete paving machines (GOMACO and WIRTGEN pavers), which are now available to road construction companies in Ukraine, it is necessary to provide an accelerated strength gain of concrete.

Current article discusses the traffic operation possibility on the constructed cement concrete bases and rigid type pavements after 3...7 days of concrete hardening on the basis of the conducted researches. The study was conducted using several cements produced by PJSC "Dickerhoff Cement Ukraine", this article presents the test results of cements PC I-500 N and PC II/A-Sh-500. The laboratory and core sample tests results of cement concrete pavement show, that the use of high quality aggregates, modern high-activity Portland cement and superplasticizers provides high early strength of concrete. It is shown, that after 3...7 days of curing it is possible to make operational bases and pavements produced with such concrete at 70 % of project strength which corresponds to 30 ... 40 MPa after 3 days of hardening. The obtained results correspond to the classical technology of concrete mixtures paving with a set of concrete paving machines, as well as the technology of stiff mixtures paving by means of an asphalt paver and roller compaction. Core samples were taken from pavements and bases during the scientific and technical support of the roads and airfields construction. The direct tests results confirm the results of laboratory concrete tests.

**Keywords:** cement concrete, Portland cement, superplasticizer, rigid pavement, start of operation.

## Вступ

Відомо, що марочну міцність цементних бетонів визначають у віці 28 діб. Це стосується бетонних виробів зі збірного та монолітного бетону, хоча збірний бетон найчастіше твердіє в умовах підвищених температур і вологості, а монолітний – в природних умовах. До цього періоду часу формується структура, яка надалі сприймає всі механічні та фізико-хімічні навантаження від навколишнього середовища. Бетони дорожніх покриттів і основ, переважно монолітні, твердіють в природних умовах, тому 28 діб для них є підготовчим періодом, після якого починається експлуатація. Це знайшло відображення в чинних нормативних документах, а також в проектній документації. Так, наприклад, під час будівництва автомобільних доріг в проектах виконання робіт (далі – ПВР) початок роботи будівельного потоку з влаштування покриття по бетонній основі відтерміновано на три-чотири тижні від кінця робіт з укладання основи. Це значно подовжує терміни пуску в експлуатацію лінійних об'єктів дорожнього та аеродромного будівництва. Сучасна дорожньо-будівельна техніка має високу продуктивність і дає змогу укласти 400...800 погонних метрів шарів дорожнього одягу за зміну. Проте, прискорити введення в експлуатацію монолітних бетонних покриттів сьогодні є неможливим через певну консервативність поглядів про те, що експлуатувати ці шари можна не раніше, ніж за 28 діб їх твердіння.

Ця думка ґрунтується на загальноприйнятій, практично до 90-х років минулого століття, кінетиці набору міцності монолітним цементобетоном. Водночас, до кінця минулого століття навіть у дорожньому цементобетоні не завжди застосовували пластифікувальні добавки, які могли вплинути на швидкість твердіння бетону. Традиційно було прийнято, що за 3 доби цементобетон набирає близько 30 % від марочної міцності, за 7 діб – 50...60 %, за 14 діб – 70...80 %. Поява слабких пластифікаторів типу лігносульфонатів (ЛСТ) тільки погіршила ситуацію, тому що їх застосування в бетоні часто призводило до уповільнення його твердіння і ще більш відтермінувало початок експлуатації покриття з дорожнього монолітного цементобетону. У 70-і та 80-і роки минулого століття з'явилися більш ефективні пластифікатори типу модифікованих лігносульфонатів (МЛСТ), зокрема відомий і конкурентоспроможний суперпластифікатор С-3 та його аналоги (СП). Ці добавки дещо прискорили процеси структуроутворення в бетонах і швид-

кість набору міцності, проте не кардинально: міцність на 3 добу – 40...45 %, на 7 добу – до 70 % і ті ж 80...85 % марочної міцності – на 14...21 добу природного твердіння.

Необхідно врахувати, що СП в кінці минулого століття були дефіцитні, мали значно вищу вартість, ніж ЛСТ. Рекомендовані нормативно-технічною документацією для бетонів транспортного призначення повітровтягувальні добавки (ПВД) сприяли деякому уповільненню набору міцності, а найголовніше – призводили до зниження міцності бетонів. Вони також були дефіцитними і коштували досить дорого. Тому в дорожньому будівництві їх практично не застосовували.

Важливим чинником було те, що цементна промисловість України, як і більшості країн СНД, продукувала цементи низької якості. Це були досить грубодисперсні цементы з нестабільною питомою поверхнею, яка коливалася в межах  $S_{\text{пнт}} = 220...310 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Активність цих цементів не перевищувала 40...45 МПа, а марка за міцністю рідко відповідала М500. Здебільшого до складу цих цементів вводили мелений доменний шлак в кількостях, які значно перевищували межі, зазначені в паспортах якості та нормативних документах. Це спричиняло нестабільність показників якості цементу і бетону на їх основі, різко знижувало швидкість набору міцності бетонів.

Поганій якості дорожніх бетонів у цих умовах сприяла низька якість крупних і дрібних заповнювачів, низька якість перемішування бетонних сумішей з причини застосування гравітаційних змішувачів і низка інших причин, переважно пов'язаних з порушенням технологій транспортування, укладання, ущільнення і догляду за бетоном, що твердне. Водночас, наявність в Україні в кінці минулого століття лише двох застарілих комплектів бетоноукладальних машин, які могли забезпечити нормальне виконання технологічних переділів, не сприяла вирішенню проблеми.

Заповнювачі, які застосовували для виготовлення дорожніх бетонів, часто не відповідали вимогам стандартів за забрудненістю поверхні, наявністю великої кількості пилюватих і глинистих часток, а найголовніше – за гранулометричним складом та формою зерен. Переважав щебінь із великою кількістю лещадних і голчастих частинок (понад 30...40 мас.%), що спричиняло розшарування сумішей, погіршення легкоукладальності, зниження щільності бетонів і порушення кінетики набору міцності.

Всі наведені чинники не давали змоги забезпечити марочну міцність та інші експлуатаційні характеристики бетонів у віці 28 діб і більше.

Також відомо, що фізико-хімічні процеси, пов'язані з гідратацією цементу – розігрів бетону внаслідок екзотермії цементу, контракційна усадка, деформації бетону через наявність градієнтів температури і вологості між поверхнею і підшовою бетонної плити покриття найбільш активно протікають у перші три доби твердіння бетону. Тому саме цей період є найбільш важливим у контексті формування структури бетону, яка буде визначати згодом його будівельно-експлуатаційні властивості та довговічність. Відтак, можна вважати, що до 3...7 діб структура бетону сформована, а згодом відбувається зміцнення структурних зв'язків за умови ефективного догляду за бетоном. Також можливе протікання деструктивних процесів із різних причин: напруги в бетоні перевищують його міцність, що стимулює процес мікротріщиноутворення і розвитку вже наявних мікротріщин. Ймовірність перевищення міцності бетону на розтяг при згині температурними напруженнями на підшві плити дорожнього покриття протягом перших трьох діб твердіння залежить від хімічного і мінералогічного складу цементів, складу бетону, виду, концентрації та природи добавок, температури навколишнього середовища. Зі зростом температури твердіння бетону закономірно зростають температурні напруження в бетоні, а також інтенсивність і повнота протікання реакцій гідратації досліджених цементів. Проте, первинний напружено-деформований стан бетону та його вплив на формування структури бетону, появу тріщин на всіх рівнях структури, а відтак ймовірне зниження розрахункових характеристик в розрахунках до уваги не приймаються. Тому якою мірою реалізуватиметься потенціал бетону чинити опір зовнішнім агресивним механічним і немеханічним впливам у процесі експлуатації залежить від технологічних заходів, застосованих до нього відразу після укладання протягом 3...7 діб.

*Актуальність проблеми.* Сьогодні провідні будівельні організації України мають достатню кількість комплектів бетоноукладальних машин для влаштування дорожніх цементобетонних покриттів та основ. Це комплекси GOMACO (США) і WIRTGEN (Німеччина), які не тільки забезпечують високу якість бетону, що укладається, а й дають змогу укласти до 1000...1200 погонних метрів бетону на добу. Для забезпечення функці-

ювання таких високопродуктивних машин необхідно забезпечити прискорений набір міцності бетонів.

Змінити кінетику набору міцності дорожніх бетонів дає змогу комплекс чинників: сучасні хімічні добавки нового покоління, висока якість цементів, вироблених на реконструйованих заводах України, принципове покращення якості крупних заповнювачів і, за необхідності, збагачення дрібного заповнювача. Серед хімічних добавок варто виокремити суперпластифікатори на основі карбоксилатів і акрилатів, що забезпечують зменшення кількості води замішування на 30...40 % (звичайні суперпластифікатори дають змогу знизити витрату води на 20...25 %) і характеризуються ефектом прискорення твердіння [1].

Сучасні цементні заводи України випускають цементні нормованого мінерального складу, з регульованою тонкістю помелу і термінами схоплювання [2]. Питома поверхня цих цементів сягає  $S_{\text{пит}} = 400...420 \text{ м}^2/\text{кг}$ , а активність перевищує 55 МПа.

Каменедробильні підприємства України, які оснащені сучасним обладнанням, виробляють, переважно, щебінь кубовидної або поліпшеної форми зерен, в якому практично відсутні пилюваті частки. Це істотно позначається на підвищенні міцності бетонів при згині [3]. Для виготовлення дорожніх бетонів застосовують, здебільшого, кварцові піски з рівномірною гранулометриєю і модулем крупності не нижче 1,7...2,0, а також піски, що збагачені відсівами каменедроблення.

Відтак, набувають особливої актуальності дослідження, спрямовані на перегляд існуючих традиційних поглядів не тільки на швидкість твердіння дорожніх бетонів, але і на час досягнення ними властивостей, необхідних для скорочення термінів введення цементобетонних покриттів і основ в експлуатацію.

Дослідження низки авторів [4, 5] підтверджують можливість швидкого твердіння бетонів за звичайних витрат цементу із суперпластифікаторами різних типів. Водночас, показана необхідність оптимізації витрат суперпластифікатора, оскільки його передозування призводить до зниження швидкості набору міцності. Відзначається також, що при цьому забезпечується не тільки рання міцність, але і висока міцність у марочному віці.

Водночас, у роботі [6] показано, що твердіння бетонів в умовах високих температур у присутності прискорювачів веде до внутрішнього тріщиноутворення, зниження міцності, морозо-

стійкості, водостійкості та водонепроникності, а також підвищення пористості. Тому рекомендується застосовувати комплекси добавок.

Висока швидкість набору міцності без значних внутрішніх напружень відзначена за використання ультрадисперсного мікрокремнезему (кремнеземистого пилу).

У [7] показано, що різко змінюються реологічні властивості суміші: зростає в'язкість, пластична міцність, зв'язність, тиксотропія, що автор пояснює посиленням міжчасткових взаємодій, а також підвищенням водопотреби внаслідок високої питомої поверхні добавок. Формується тривимірний просторовий каркас, що складається з ланцюжків і агрегатів із великою кількістю коагуляційних контактів. Проте, застосування систем, що складаються з суперпластифікатора, повітровтягуювальної і дисперсної добавок, у дорожніх бетонах сьогодні технологічно ускладнено.

Швидкий набір міцності бетоном може бути забезпечений завдяки збільшенню витрати в'язучого. Водночас, в роботах [8, 9] показано, що збільшення вмісту цементу з 350 до 430 кг/м<sup>3</sup> призводить до зросту тріщиностійкості. Подальше збільшення витрати цементу до 510 кг/м<sup>3</sup> призводить до зниження тріщиностійкості. Для підвищення тріщиностійкості у цьому випадку рекомендується застосування суперпластифікаторів, яке забезпечує водоредукцію. Існують також спеціальні прийоми зниження небезпеки утворення тріщин внаслідок усадки завдяки введенню певних реагентів [10].

Отже, для встановлення можливості досягнення високої ранньої міцності необхідно вивчити поведінку цементних паст і монолітного бетону на реальних заповнювачах.

### Основна частина

Матеріали, що застосовували у роботі. У дослідженнях застосовували матеріали: цемент ПЦ І-500 Н ПАТ «Дікергофф Цемент Україна», щебінь фр. 5-10 мм і 10-20 мм Мало-Кахновського ка'єру

Полтавської області, пісок кварцовий з Мкр = 1,7 Кременчуцького кар'єру. Використовували суперпластифікатори (далі – СП) фірми Sika: на полікарбоксилатній основі Sika 2508, на меламінформальдегідній основі Sika 131, а також модифікований лігносульфонат Sika 1135. Витрата цементу для всіх складів бетону – 350 кг/м<sup>3</sup>. Дослідження проводили на бетонах класу міцності на стиск В 30 (М400). Марка за консистенцією бетонної суміші – S1 (згідно з ДСТУ Б В.2.7-176).

*Експериментальні дослідження.* Дослідження проводили на цементах декількох заводів компанії ПАТ «Дікергофф Цемент Україна», але в нашій статті представлені результати випробувань цементів ПЦ І-500 Н і ПЦ ІІ/А-Ш-500. Питома поверхня цементу ПЦ І-500 Н склала  $S_{\text{пит}} = 386 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Його активність у віці 28 діб нормального твердіння – 51 МПа, питома поверхня цементу ПЦ ІІ/А-Ш-500 –  $S_{\text{пит}} = 410 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Досить висока питома поверхня і тонкість помелу цементу забезпечила дещо скорочені терміни схоплювання (далі – ТС) цементного тіста (табл. 1). Так, початок тужавлення (ПТ) контрольного складу настає за 1 годину 50 хвилин, а кінець тужавлення (КТ) спостерігали за 3 години 30 хвилин. Нормальна густина цього цементного тіста за введення суперпластифікаторів знижується на 11...17 % залежно від застосовуваного СП. Найбільшою мірою це зниження відзначено на цементному тісті з полікарбоксилатним СП. Однак, очевидно, що істотної зміни термінів схоплювання за умови введення СП в тісто на цементі без мінеральних добавок не відбувається.

Для порівняння наводимо нормальну густоту (далі – НГ) і ТС цементного тіста на цементі ПЦ ІІ/А-Ш-500 (табл. 2).

Вища питома поверхня цементу ПЦ ІІ/А-Ш-500 впливає на НГ цементного тіста. Так, наприклад, НГ цементного тіста без добавок становить 31 %. За введення суперпластифікаторів НГ цементного тіста знижується на 7...10 %, на відміну від НГ тіста на цементі ПЦ І-500-Н. Водночас, наявність

Таблиця 1

Властивості цементного тіста на цементі ПЦ І-500-Н

| № з/п | Добавка:    | Кількість добавки, % від тц | Нормальна густина, % | Початок строку тужавлення | Кінець строку тужавлення |
|-------|-------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1     | без добавок |                             | 27,0                 | 1 год 50 хв               | 3 год 30 хв              |
| 2     | Sika 2508   | 0,7                         | 22,5                 | 2 год 20 хв               | 3 год 30 хв              |
| 3     | Sika 131    | 0,7                         | 23,5                 | 2 год 20 хв               | 3 год 40 хв              |
| 4     | Sika 1135   | 0,7                         | 24                   | 2 год 35 хв               | 4 год 00 хв              |



## Властивості цементного тіста на цементі ПЦ І-500-Н

| № з/п | Добавка:    | Кількість добавки, % від тц | Нормальна густина, % | Початок строку тужавлення | Кінець строку тужавлення |
|-------|-------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1     | без добавок |                             | 31                   | 2 год 30 хв               | 3 год 10 хв              |
| 2     | Sika 2508   | 0,7                         | 28                   | 3 год 50 хв               | 4 год 50 хв              |
| 3     | Sika 131    | 0,7                         | 28,5                 | 3 год 30 хв               | 4 год 25 хв              |
| 4     | Sika 1135   | 0,7                         | 29                   | 3 год 40 хв               | 4 год 20 хв              |

у складі ПЦ ІІ/А-Ш-500 до 18 мас.% мelenого шлаку подовжує терміни схоплювання цементного тіста. Варто також зазначити, що незважаючи на подовження термінів схоплювання цементного тіста, кінець тужавлення тіста на цементі ПЦ ІІ/А-Ш-500 з СП не перевищує 4 години 50 хвилин, тобто уповільнення не повинно істотно вплинути на набір міцності бетону на цьому цементі.

Аналіз активності показав, що швидкість набору міцності цементними розчинами на досліджуваних цементах досить висока (табл. 3).

Вже на 2 добу нормального твердіння міцність при згині складає 51...53 %, а при стиску – 50...48 % від марочної. На 7 добу міцність при

згині сягає 81...84 %, при стиску – 76...75 % від марочної.

Дослідження кінетики набору міцності бетонів на досліджуваних цементах в часі (табл. 4) показали, що міцність при стиску бетонів на цементі ПЦ І-500-Н у віці 3 діб, навіть без добавок, становить 72 %, а з найуживанішими в технології дорожніх бетонів СП, сягає 59...70 % від марочної. На 7 добу ці показники становлять 86 % і 79...82 % від марочної відповідно.

Дещо нижчі показники міцності при стиску в бетонах на цементі ПЦ ІІ/А-Ш-500 (табл. 5). Міцність при стиску бетонів без добавок на 3 добу становить 78 %, на 7 добу – 89 %. Міцність

Таблиця 3

## Активність цементів

| Вид цементу   | РК, мм | Міцність при згині у віці, діб., МПа |     |     | Міцність при стиску у віці, діб., МПа |      |      |
|---------------|--------|--------------------------------------|-----|-----|---------------------------------------|------|------|
|               |        | 2                                    | 7   | 28  | 2                                     | 7    | 28   |
| ПЦ І-500-Н    | 115    | 4,2                                  | 6,4 | 7,9 | 25,5                                  | 38,8 | 51,0 |
| ПЦ ІІ/А-Ш-500 | 115    | 4,1                                  | 6,8 | 8,1 | 24,2                                  | 37,6 | 50,3 |

Таблиця 4

## Кінетика набору міцності бетонів на цементі ПЦ І-500-Н

| Вид добавки          | Міцність при стиску у віці, діб., Рст, МПа |      |      |
|----------------------|--|------|------|
|                      | 3  | 7    | 28   |
| без добавки          | 33,6                                       | 40,2 | 47,0 |
| полікарбоксилати     | 45,9                                       | 55,6 | 67,5 |
| лігносульфонати      | 41,6                                       | 47,4 | 59,0 |
| меламінформальдегіди | 41,9                                       | 52,4 | 66,4 |

Таблиця 5

## Кінетика набору міцності бетонів на цементі ПЦ ІІ/А-Ш-500

| Вид добавки          | Міцність при стиску у віці, діб., Рст, МПа |      |      |
|----------------------|--|------|------|
|                      | 3  | 7    | 28   |
| без добавки          | 32,1                                       | 36,9 | 41,3 |
| полікарбоксилати     | 43,9                                       | 51,4 | 57,7 |
| лігносульфонати      | 40,1                                       | 44,1 | 50,3 |
| меламінформальдегіди | 41,7                                       | 48,0 | 54,8 |

бетонів із СП на 3 добу нормального твердіння сягає 76...80 %, на 7 добу – 87...89 %.

Отримані результати свідчать, що бетони на якісних заповнювачах, на високоактивних цементах, що забезпечують високу ранню міцність, до складу яких вводять сучасні суперпластифікатори, набирають до 50 % від марочної міцності на 2 добу, більше 70 % – на 3 добу і більше 80 % – на 7 добу нормального твердіння. Аналогічні результати отримані на інших цементах цієї компанії: ПЦ І-500 Р-Н, ПЦ ІІ/А-Ш-500 і ПЦ ІІ/А-Ш-500 Р-Н.

Найважливішим у проведених дослідженнях є те, що міцність бетонів із СП вже на 3 добу перевищує 40 МПа, а на 7 добу сягає 50 і більше МПа. Відомо, що для ремонту бетонних покриттів за кордоном застосовують спеціальні ремонтні суміші. Основною особливістю цих складів є висока швидкість набору міцності. Рух покриттям, що ремонтується, відкривають після досягнення ремонтним складом міцності 30 МПа. Виходячи з цього, можна стверджувати, що рух бетонними шарами на сучасних матеріалах, що є предметом дослідження, можна відкривати на 3...7 добу нормального твердіння.

Влаштування основ під покриття автомобільних доріг і аеродромів виконують, використовуючи дві технології:

- бетонні суміші помірної рухомості укладають і ущільнюють за допомогою комплекту бетоноукладальних машин;

- жорсткі бетонні суміші укладають за допомогою асфальтоукладача, а ущільнюють за допомогою котків.

Навіть за малих витрат цементу (140...180 кг/м<sup>3</sup>) кінетика набору міцності бетонами основ аналогічна набору міцності бетонами покриттів.

Інакше жорсткі бетони, які ущільнюються укочуванням, набирають міцності навіть швидше, ніж бетони, які ущільнюються вібрацією. Наприклад, за добу їх міцність може сягнути 50 % і більше від марочної. Це дає змогу відкривати рух технологічного транспорту або укласти шар покриття по такій основі вже через 2...3 доби.

В останні два десятиліття в рамках договорів на науково-технічний супровід під час будівництва ділянок основ та покриттів автомобільних доріг і аеродромів, підтверджено наведені в цій статті результати лабораторних досліджень. Результати випробувань міцності зразків, узятих із покриттів і основ, не тільки відповідали за кінетикою результатам, отриманим в лабораторії, а й перевищували лабораторні дані.

## Висновки

1. Встановлено, що застосування якісних заповнювачів, сучасних високоактивних цементів і суперпластифікаторів дає змогу забезпечити високу ранню міцність бетонів на рівні 70 % від марочної, яка відповідає 30...40 МПа у віці 3 діб. Це відкриває можливість почати експлуатацію основ і покриттів із таких бетонів після 3...7 діб твердіння.

2. Результати прямих випробувань зразків, відібраних із покриттів і основ автомобільних доріг і аеродромів, підтверджують результати лабораторних досліджень досліджуваних бетонів.

3. Необхідне проведення подальших додаткових випробувань експлуатаційних властивостей дорожніх і аеродромних бетонів, які дадуть змогу позитивно вирішити питання про можливість початку експлуатації цементобетонних покриттів через 3...7 діб природного твердіння і створення відповідної нормативно-технічної документації.

## Література

1. Tolmachov S. Influence of additives on flexural strength of concrete / S. Tolmachov, O. Belichenko, D. Zakharov // MATEC Web of Conferences 116, 01019 (2017). – Transbud, 2017. – DOI: 10.1051/mateconf/201711601019
2. Ефективні швидкотверднучі бетони для монолітного та дорожнього будівництва / У. Д. Марущак, М. А. Саницький, Т. А. Мазурак, Ю. В. Олевич // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Ефективні технологічні рішення в будівництві з використанням бетонів нового покоління». – Харків, 2015. – С. 78–81.
3. Толмачов С. М. Вплив лежачих частинок на міцність при згині дорожніх бетонів / С. М. Толмачов, О. А. Беліченко, Д. С. Захаров, Р. Ю. Черногал // Нові технології в будівництві. – 2017. – № 32. – С. 53 – 60.
4. Гамеляк І. П. Застосування цементобетонного покриття в дорожньому будівництві / І. П. Гамеляк, В. В. Смолянець // Дорожня галузь України. – 2013. – № 6. – С. 46-51,
5. Муштаков М. И., Королев А. С., Бутакова М. Д., Зырянов Ф. А. Быстротвердеющие бетоны для монолитного строительства // Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции «Строительное материаловедение – теория и практика». – М.: изд-во СИП РИА. – 2006. – С. 183-185.
6. Добшиц Л. М., Федун В. В., Клибанов А. Л. Технология получения высокопрочных экологически чистых, долговечных бетонов с ранними сроками набора прочности // Вісник ОДАБА вип. № 35. – Одеса, 2009. – 417 с. – С. 131-135.
7. Artelt C. Impact of superplasticizer concentration and ultra-fine particles on the rheological behaviour of dense mortar suspensions / Artelt C., Garcia E. // Cem. Concr. Res. – 2008. – Vol. 38. – No 5. – P. 633-642.
8. Солодкий С. Й., Марків Т. Є., Холод Т. П. Способи регулювання тріщиностійкості високоміцних бетонів // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне, 2011. – Вип. 31. – С. 357-362.
9. Солодкий С. Й. Оцінювання термонапруженого стану дорожніх покриттів на ранніх стадіях твердіння цементного бетону / С. Й. Солодкий, Р.Я. Лівша // Автошляховик України. – 2015. – № 1. – С. 2-4.
10. Takahashi, K., Asamoto, S., Sooriyaarachchi, H., Bier, T. Reducing Effects of Shrinkage Reducing Agents on Early-Age Shrinkage in High Temperature Conditions. – Weimar. – 2018. – P. 911-926.

## References

1. S. Tolmachov, O. Belichenko, D. Zakharov. (2017). Influence of additives on flexural strength of concrete. MATEC Web of Conferences 116, 01019, Transbud. DOI: 10.1051/mateconf/201711601019
2. Marushchak U. D., Sanyts'kyy M. A., Mazurak T. A., Olevych Yu. V. (2015). Efektyvni shvydkotverdnuchi betony dlya monolitnoho ta dorozhn'oho budivnytstva [Effective fast-setting concretes for monolithic and road construction]. Materyaly Mezhdunarodnoy nauchno-praktycheskoy konferentsyy «Effektyvnye tekhnolohycheskye resheniya v stroitel'stve s yspol'zovanyem betonov novoho pokoleniya». Kharkiv, 78–81.
3. Tolmachov S. M., Belichenko O. A., Zakharov D. S., Chornohal R.Yu. (2017). Vplyv leshchadnykh chastynok na mitsnist' pry z-hyni dorozhnykh betoniv [Influence of bream particles on bending strength of road concretes]. Novi tekhnolohiyi v budivnytstvi. 32, 53–60.
4. Hamelyak I. P., Smolyanets' V. V. (2013). Zastosuvannya tsementobetonnoho pokryttya v dorozhn'omu budivnytstvi [Application of cement-concrete covering in road construction]. Dorozhnyia haluz' Ukrainy, 6, 46–51.
5. Mushtakov M. Y., Korolev A. S., Butakova M. D., Zyryanov F. A. (2006). Bystrotverdeyushchye betony dlya monolynoho stroitel'stva [Fast hardening concrete for monolithic construction]. Sbornyk trudov Vserossyyskoy nauchno-praktycheskoy konferentsyy «Stroytel'noe materialovedenye – teoryya y praktyka» Moscow, SIP RIA, 183–185.
6. Dobshyts L. M., Fedunov V. V., Klybanov A. L. (2009). Tekhnolohyya poluchenyya vysokoprochnykh ekolohychesky chystykh, dolhovechnykh betonov s rannymy srokamy nabora prochnosti [The technology of obtaining high-strength environmentally friendly, durable concrete with early curing]. Visnyk ODABA, 35, 131–135.
7. Artelt C., Garcia E. (2008). Impact of superplasticizer concentration and ultra-fine particles on the rheological behaviour of dense mortar suspensions. Cem. Concr. Res., 38, 5, 633–642.
8. Solodkyy S. Y., Markiv T. Ye., Kholod T. P. (2011). Sposoby rehulyuvannya trishchynostiykosti vysokomitsnykh betoniv [Methods of regulating crack resistance of high-strength concrete]. Resursoekonomni materialy, konstruksiyi, budivly ta sporudy. Rivne, 31, 357–362.
9. Solodkyy S. Y., Livsha R. Ya. (2015). Otsynuyannya termonapruzhenoho stanu dorozhnykh pokryttiv na rannikh stadiyakh tverdnennya tsementnoho betonu [Evaluation of thermal stress of road surfaces in the early stages of hardening of cement concrete]. Kyiv, Avtoshlyakhovyyk Ukrainy, 1, 2–4.
10. Takahashi K., Asamoto S., Sooriyaarachchi H., Bier T. (2018). Reducing Effects of Shrinkage Reducing Agents on Early-Age Shrinkage in High Temperature Conditions. Weimar, 911–926.

UDC 625.7/8

© Tatiana Tereshchenko, PhD, Senior Research Officer,  
e-mail: chemistry@dornidi.org.ua, ORCID: 0000-0001-7584-9031;  
© Serhii Illiash, Chief of Department,  
e-mail: sergillyash@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3001-8012  
(N.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise)

DOI: 10.33868/0365-8392-2020-2-262-35-42

© Т. А. Терещенко, канд. хім. наук, провідний науковий співробітник, e-mail: chemistry@dornidi.org.ua, ORCID: 0000-0001-7584-9031;  
© С. І. Ілляш, завідувач відділу, e-mail: sergillyash@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3001-8012  
(ДП «ДерждорНДІ»)

# СТАНДАРТИЗАЦІЯ ВИМОГ ДО МАТЕРІАЛІВ ТА ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ВЛАШТУВАННЯ ШАРІВ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ, УКРІПЛЕНИХ КОМПЛЕКСНИМ В'ЯЖУЧИМ

## STANDARDIZATION OF REQUIREMENTS FOR MATERIALS AND PROCESSES FOR CONSTRUCTION OF ROAD PAVEMENT LAYERS STRENGTHENED BY COMPLEX BINDER

**Abstract.** This paper presents some results of a research supported by the State Road Agency of Ukraine and deals with the standardization of materials and processes for construction of the binder-strengthened layers of road pavements from granular materials treated by bituminous binder and cement at the factory or mixed in-situ.

Investigation of relationship between bound mixtures composition and properties showed the dependence of proportion of binder components on the mixture grading and on the required strength where the bituminous binder proportion should be higher when using granular materials with more fines or designing mixtures for the upper layers but cement proportion should be higher when requiring higher strength. Specifications elaborated using these results were proved by testing plant-produced mixture that was used to replace the cold recycling.

Requirements elaborated for construction of road layer from granular mixtures treated by complex binder were divided as requirements for processes using plant or in-situ techniques and consist of the requirements for technological operations on preparative works, transporting, laying, compaction and curing. Applying the obtained results, the State Road Research Institute State Enterprise (DerzhdorNDI SE) elaborated the Amendment № 1 DSTU-N B V.2.3-39:2016 "Guide on construction of road pavement courses from stone materials".

Elaborated normative document widens the nomenclature of road materials and technologies for construction of strengthened layers of road pavements

and should be implemented when building the new road pavement construction or when the enhancement of bearing capacity of an existing road pavement is required.

**Keywords:** granular material bound by complex binder, binder-strengthened layers of road pavement, requirements for construction.

**Анотація.** Представлено окремі результати досліджень, виконаних за підтримки Державного агентства автомобільних доріг України та спрямованих на стандартизацію матеріалів та процесів влаштування укріплених шарів дорожнього одягу з матеріалів, оброблених бітумним в'язучим та цементом у змішувальній установці або змішуванням на дорозі.

Під час виконання експериментальних досліджень встановлено залежність співвідношення компонентів комплексного в'язучого від гранулометричного складу суміші та потрібних значень показників міцності. З урахуванням результатів лабораторних досліджень встановлено вимоги до технічних характеристик укріплених матеріалів, які перевірено шляхом випробувань суміші, виготовленої у стаціонарному змішувачі та застосованої при влаштуванні шару дорожнього одягу на заміну суміші холодного ресайклінгу.

За результатами виконання роботи розроблено вимоги щодо процесів влаштування шарів дорожнього одягу, які встановлено залежно від методу виготовлення суміші (в установці або змішуванням на дорозі) та наведено для технологічних операцій під час виконання підготовчих робіт, транспортування, укладання, ущільнювання та догляду.

Із врахуванням отриманих результатів колективом ДП «ДерждорНДІ» розроблено Зміну № 1 ДСТУ-Н Б В.2.3-39:2016 Настанова з влаштування шарів дорожнього одягу з кам'яних матеріалів. Розроблений нормативний документ розширює номенклатуру дорожньо-будівельних матеріалів та технологій для влаштування укріплених шарів дорожнього одягу та призначений для впровадження під час будівництва автомобільних доріг, зокрема під час виконання робіт з підвищення несучої здатності дорожнього одягу.

**Ключові слова:** дисперсний матеріал, укріплений комплексним в'язучим; шари дорожнього одягу, укріплені в'язучим; вимоги до влаштування.

**Аннотация.** Представлены отдельные результаты исследований, выполненных при поддержке Государственного агентства автомобильных дорог Украины и направленных на стандартизацию материалов и процессов устройства укрепленных слоёв дорожной одежды из материалов, обработанных битумным вяжущим и цементом в смесительной установке или смешением на дороге.

При выполнении экспериментальных исследований установлена зависимость соотношения компонентов комплексного вяжущего от гранулометрического состава смеси и требуемых значений показателей прочности. С учётом результатов лабораторных исследований разработаны требования к техническим характеристикам укрепленных материалов, проверенные путем испытания смеси, изготовленной в стационарном смесителе и использованной при устройстве слоя дорожной одежды на замену смеси холодного ресайклинга.

В зависимости от метода изготовления смеси (в установке или смешением на дороге) разработаны требования к процессам устройства слоёв дорожной одежды, которые приведены для технологических операций при выполнении подготовительных работ, транспортировке, укладке, уплотнении и уходе.

С учётом полученных результатов колективом ГП «ГосдорНИИ» разработано Изменение № 1 ДСТУ-Н Б В.2.3-39: 2016 «Руководство по устройству слоёв дорожной одежды из каменных материалов». Разработанный нормативный документ расширяет номенклатуру дорожно-строительных материалов и технологий для устройства укреплённых слоёв дорожной одежды и предназначен для внедрения при строительстве автомобильных дорог, в том числе при выполнении работ по повышению несущей способности дорожной одежды.

**Ключевые слова:** дисперсный материал, укреплённый комплексным вяжущим; слои дорожной одежды, укреплённые вяжущим; требования к устройству.

## Introduction

Granular materials – mixtures of crushed stone, gravel and sand – treated by binders are commonly used to construct the binder-strengthened layers of road pavements. To obtain the hydraulically bound mixtures a diversity of hydraulic binders may be used (as alone binder or as combination thereof): cement, slag, fly ash, lime, or as according to the European standards it may be hydraulic road binder. Granular mixtures bound by complex binder should be obtained through treatment the above listed granular materials by cement and one of the bituminous binders from the list: bitumen emulsion, or foamed bitumen, or road petroleum liquid bitumen.

The concept of complex treatment of granular materials first appeared in cold recycling technologies where cement or lime were used in a proportion of about 1 % to enhance the water resistance of materials when treating by bitumen emulsion or foamed bitumen [1]. Lately fulfilled investigations dealing with an increased proportion of cement in a range of 3 % by mass demonstrated that addition of cement increases, to some extent, the resistance of materials treated by bituminous binders to the temperature-related stresses [2 – 4].

Thus investigations proved the advantages of a complex treatment of granular materials over an individual treatment by bitumen emulsion or foamed bitumen. An essential advantage of such complex treatment over treatment by hydraulic binders especially by rapid hardening those is the possibility to eliminate temperature/shrinkage cracking that causes premature destruction of road pavement.

This paper presents some results of a research supported by the State Road Agency of Ukraine (Ukravtodor) and deals with the standardization of materials and processes for construction of the binder-strengthened layers of road pavements from granular materials treated by complex binder at the factory or mixed in-situ. Applying the obtained results, the State Road Research Institute State Enterprise (DerzhdorNDI SE) elaborated the Amendment № 1 DSTU-N B V.2.3-39:2016 “Guide on construction of road pavement courses from stone materials”.

## Experimental

An experimental part was aimed on working out the standard requirements for materials and processes for construction of road pavement layers from

granular materials treated by complex binder and was consisted of Laboratory and Trial.

#### Laboratory

The laboratory part was aimed on the investigation of relationship between the composition and properties of crushed stone/sand mixture bound by complex binder through the study of following parameters approved in [5]:

- unconfined compressive strength defined at a temperature of 20 °C in accordance with [6];
- unconfined compressive strength defined at a temperature of 50 °C in accordance with [6];
- water absorption defined in accordance with [6];
- water resistance after a long-lasting water soaking defined in accordance with [7];
- frost resistance factor defined in accordance with [6].

Study was carried out using specimens of granular materials with three values of nominal maximum diameter D (D=40 mm, D=20 mm, and D=10 mm) bound by standard binders [8 – 10]. Data on grading of granular mixtures and source materials are presented in Tables from 1 to 3. The results of

estimation of the grading of mixtures are plotted on Figures from 1 to 3.

The content of bituminous binder counted as the content of residual bitumen was set from 3 % to 5 % by the total mass of granular materials and then was proved to be higher (within set limits) when using granular materials with more fines content or designing mixtures for upper layers.

Proportion of cement was set by the total mass of granular materials as:

- 2 % when requiring the compressive strength value at 20 °C not less than 1 MPa;
- 3 % when requiring the compressive strength value at 20 °C not less than 2 MPa;
- 4 % when requiring the compressive strength value at 20 °C not less than 4 MPa.

Cement should be added in a minimum amount sufficient to assure the required compressive strength. To select that amount several batches of mixtures with the same bituminous binder content and various content of cement should be produced and tested; the proportion of cement should be varied with an increment of 0,5 % up and down from the

Table 1

**Data on grading of granular mixture with D = 40 mm and source granular materials**

| Grading of source materials by the partial residue, % by mass, on a sieve with a cell size, in mm |            |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
|---|------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Fraction size, in mm  | 40         | 20   | 10   | 5    | 2,5  | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,14  | 0,071 | pan   | Σ     |       |
| Over 20 to 40 incl.   | 1,6        | 88,7 | 9,2  | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,1   | 0,3   | 100,0 |       |
| Over 10 to 20 incl.   | 0,0        | 7,1  | 70,4 | 15,6 | 2,6  | 0,9  | 0,9  | 0,6   | 0,6   | 0,5   | 0,8   | 100,0 |       |
| Over 5 to 10 incl.  |            | 0,0  | 13,5 | 74,5 | 5,5  | 1,7  | 1,3  | 0,9   | 1,5   | 0,4   | 0,7   | 100,0 |       |
| Over 0 to 5 incl.   |            |      | 0,4  | 10,0 | 18,4 | 10,4 | 15,2 | 15,3  | 17,4  | 6,8   | 6,1   | 100,0 |       |
| Grading of mixture, % by mass   |            |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| Fraction size, in mm  | Proportion | 40   | 20   | 10   | 5    | 2,5  | 1,25 | 0,63  | 0,315 | 0,16  | 0,071 | pan   | Σ     |
| Over 20 to 40 incl.   | 20         | 0,3  | 17,7 | 1,9  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,1   | 20,0  |
| Over 10 to 20 incl.   | 29         |      | 2,1  | 20,4 | 4,5  | 0,7  | 0,2  | 0,3   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 29,0  |
| Over 5 to 10 incl.  | 22         |      | 0,0  | 3,0  | 16,4 | 1,2  | 0,3  | 0,3   | 0,2   | 0,3   | 0,1   | 0,2   | 22,0  |
| Over 0 to 5 incl.   | 29         |      | 0,0  | 0,1  | 2,9  | 5,3  | 3,1  | 4,4   | 4,4   | 5,0   | 2,0   | 1,8   | 29,0  |
|   | 100        | 0,3  | 19,8 | 25,4 | 23,8 | 7,2  | 3,6  | 5,0   | 4,8   | 5,5   | 2,3   | 2,3   | 100,0 |
|   |            | 0,3  | 20,1 | 45,5 | 69,3 | 76,5 | 80,1 | 85,1  | 89,9  | 95,4  | 97,7  | 100,0 |       |
| Percentage of mixture passing by mass   |            | 99,7 | 79,9 | 54,6 | 30,7 | 23,5 | 19,9 | 14,9  | 10,1  | 4,6   | 2,3   |       |       |
| Amendment № 1<br>DSTU-N B V.2.3-<br>39:2016   | 90         | 60   | 35   | 20   | 15   | 10   | 5    | 3     | 2     | 0     |       |       |       |
|   | 100        | 90   | 65   | 50   | 40   | 30   | 25   | 20    | 15    | 13    |       |       |       |

Table 2

**Data on grading of granular mixture with D = 20 mm and source granular materials**

| Grading of source materials by the partial residue, % by mass, on a sieve with a cell size, in mm |            |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
|---|------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Fraction size, in mm  | 20         | 10   | 5    | 2,5  | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,14  | 0,071 | pan   | Σ     |       |
| Over 10 to 20 incl.   | 7,1        | 70,4 | 15,6 | 2,6  | 0,9  | 0,9  | 0,6   | 0,6   | 0,5   | 0,8   | 100,0 |       |
| Over 5 to 10 incl.  | 0,0        | 13,5 | 74,5 | 5,5  | 1,7  | 1,3  | 0,9   | 1,5   | 0,4   | 0,7   | 100,0 |       |
| Over 0 to 5 incl.   |            | 0,4  | 10,0 | 18,4 | 10,4 | 15,2 | 15,3  | 17,4  | 6,8   | 6,1   | 100,0 |       |
| Grading of mixture, % by mass   |            |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| Fraction size, in mm  | Proportion | 20   | 10   | 5    | 2,5  | 1,25 | 0,63  | 0,315 | 0,16  | 0,071 | pan   | Σ     |
| Over 10 to 20 incl.   | 30         | 2,1  | 21,1 | 4,7  | 0,8  | 0,3  | 0,3   | 0,2   | 0,2   | 0,1   | 0,2   | 30,0  |
| Over 5 to 10 incl.  | 25         | 0,0  | 3,4  | 18,6 | 1,4  | 0,4  | 0,3   | 0,2   | 0,4   | 0,1   | 0,2   | 25,0  |
| Over 0 to 5 incl.   | 45         | 0,0  | 0,2  | 4,5  | 8,3  | 4,7  | 6,8   | 6,9   | 7,8   | 3,1   | 2,7   | 45,0  |
|   | 100        | 2,1  | 24,7 | 27,8 | 10,5 | 5,4  | 7,4   | 7,3   | 8,4   | 3,3   | 3,1   | 100,0 |
|   |            | 2,1  | 26,8 | 54,6 | 65,1 | 70,5 | 77,9  | 85,2  | 93,6  | 96,9  | 100,0 |       |
| Percentage of mixture passing by mass   |            | 97,9 | 73,2 | 45,4 | 34,9 | 29,5 | 22,1  | 14,8  | 6,4   | 3,1   |       |       |
| Amendment № 1 DSTU-N B V.2.3-39:2016  |            | 90   | 60   | 35   | 20   | 15   | 10    | 5     | 3     | 0     |       |       |
|   |            | 100  | 80   | 65   | 50   | 40   | 30    | 25    | 20    | 15    |       |       |

Table 3

**Data on grading of granular mixture with D = 10 mm and used source granular materials**

| Grading of source materials by the partial residue, % by mass, on a sieve with a cell size, in mm |            |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |  |
|---|------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| Fraction size, in mm  | 10         | 5    | 2,5  | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,14  | 0,071 | pan   | Σ     |       |  |
| Over 5 to 10 incl.  | 6,8        | 84,0 | 7,6  | 1,1  | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,5   | 100,0 |       |  |
| Over 0 to 5 incl.   | 0,5        | 11,6 | 22,0 | 13,6 | 12,4 | 13,8  | 10,8  | 6,3   | 9,0   | 100,0 |       |  |
| Grading of mixture, % by mass   |            |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |  |
| Fraction size, in mm  | Proportion | 10   | 5    | 2,5  | 1,25 | 0,63  | 0,315 | 0,14  | 0,071 | pan   | Σ     |  |
| Over 5 to 10 incl.  | 30         | 2,0  | 25,2 | 2,3  | 0,3  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,2   | 30,0  |  |
| Over 0 to 5 incl.   | 70         | 0,4  | 8,1  | 15,4 | 9,5  | 8,7   | 9,7   | 7,6   | 4,3   | 6,3   | 70,0  |  |
|   | 100        | 2,4  | 33,3 | 17,7 | 9,8  | 8,7   | 9,7   | 7,6   | 4,3   | 6,5   | 100,0 |  |
|   |            | 2,4  | 35,7 | 53,4 | 63,2 | 71,9  | 81,6  | 89,2  | 93,5  | 100,0 |       |  |
| Percentage of mixture passing by mass   |            | 97,6 | 64,3 | 46,6 | 36,8 | 28,1  | 18,4  | 10,8  | 6,5   |       |       |  |
| Amendment № 1 DSTU-N B V.2.3-39:2016  |            | 90   | 60   | 35   | 20   | 15    | 10    | 5     | 0     |       |       |  |
|   |            | 100  | 75   | 55   | 40   | 30    | 25    | 20    | 15    |       |       |  |

above recommended values. The usage of gravel as granular constituent in comparison with the usage of crushed stone may require an increased amount of cement.

The optimum water content of mixture should be determined in accordance with [11].

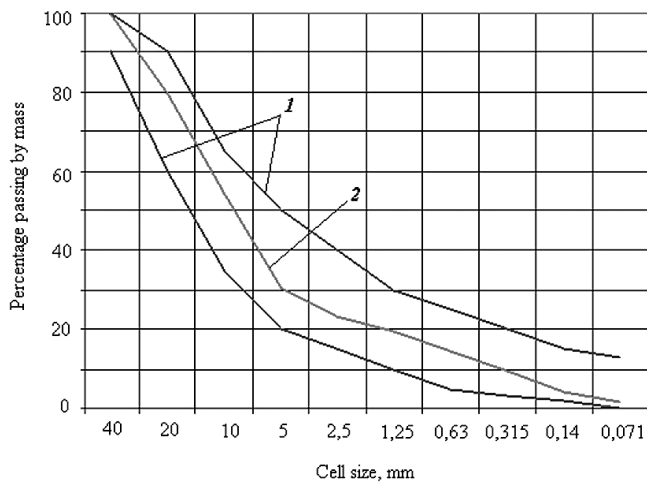
After such preliminary testing, one mixture with the selected proportion of constituents should be

tested to verify the compliance with the requirements listed in **Table 4**. If the mixture meets these requirements, the selected content of binders should be accepted as optimum and the mixture was designed correctly.

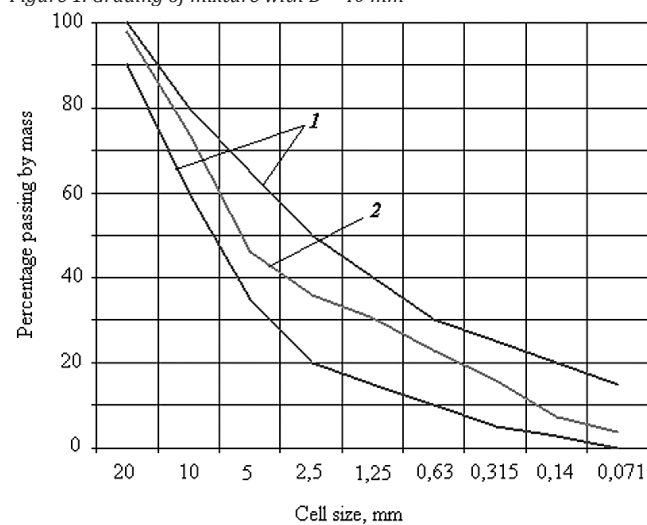
It is to note that mixture should be produced taking the reduced amount of water when using:

- bitumen emulsion – then the optimum water content should be reduced by an amount equal to the content of water in the bitumen emulsion;
- road petroleum liquid bitumen – then the optimum water content should be reduced by an amount equal to the content of the liquid bitumen considered as a liquid phase.

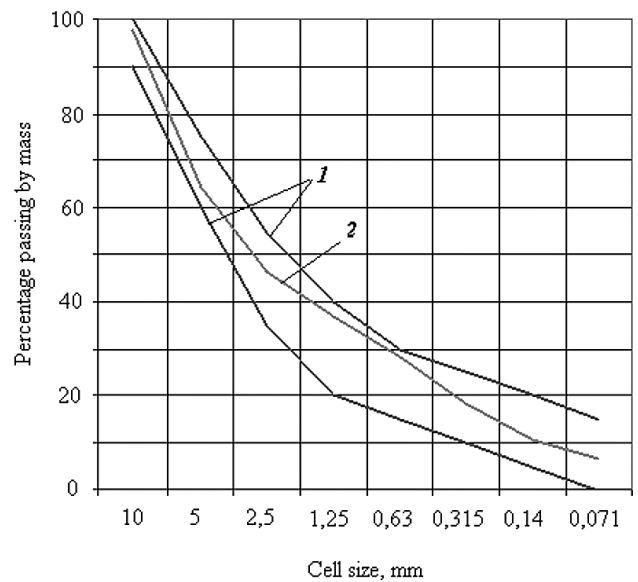
Granular mixture that has correctly calculated grading and was properly treated by the selected proportions of binders and water shall be homogeneous without non-treated particles of stone materials or binder-glued conglomerates.



1 – grading envelope in accordance with Amendment № 1 DSTU-N B V.2.3-39:2016; 2 – percentage of mixture passing by mass  
Figure 1. Grading of mixture with D = 40 mm



1 – grading envelope in accordance with Amendment № 1 DSTU-N B V.2.3-39:2016; 2 – percentage of mixture passing by mass  
Figure 2. Grading of mixture with D = 20 mm



1 – grading envelope in accordance with Amendment № 1 DSTU-N B V.2.3-39:2016; 2 – percentage of mixture passing by mass  
Figure 3. Grading of mixture with D = 10 mm

Table 4

**Technical requirements for granular materials bound by complex binder**

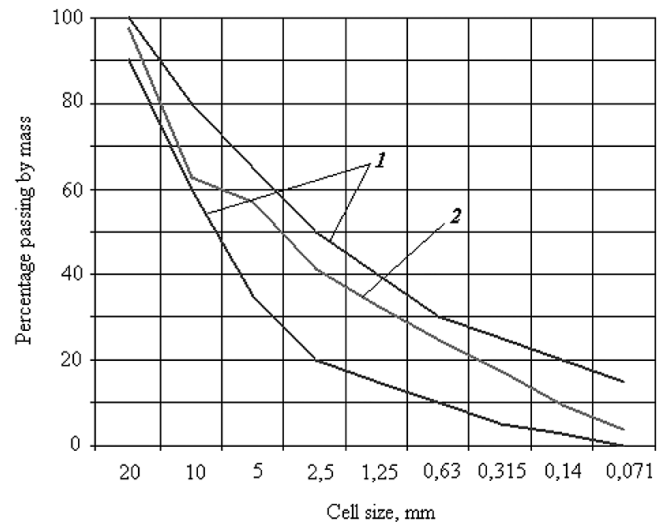
| Characteristic, unit   | Class                 |                       |                       | The according testing method |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|
|  | MC 40                 | MC 20                 | MC 10                 |                              |
| Unconfined compressive strength at 20 °C, MPa  | From 4,0 to 5,9 incl. | From 2,0 to 3,9 incl. | From 1,0 to 1,9 incl. | [6]                          |
| Unconfined compressive strength at 50 °C, MPa, not less  | 1,0                   | 0,8                   | 0,7                   | [6]                          |
| Water resistance after a long-lasting water soaking, not less  | 0,70                  | 0,65                  | 0,60                  | [7]                          |
| Frost resistance factor, not less  | 0,70*                 |                       |                       | [6]                          |
| Water absorption, % by volume, not more  | 8,0                   | 9,0                   | 10,0                  | [6]                          |
| <p><b>Note 1.</b> Clauses concerning MC 10 set the requirements for granular materials bound by road petroleum liquid bitumen and cement.</p> <p><b>Note 2.</b> All classes shall comply with the requirements at an age of 28 days.</p> <p><b>Note 3.</b> The quantity of freezing/thawing cycles depends on a class of material:<br/>MC 40 – 15 cycles, MC 20 and MC 10 – 10 cycles.</p> |                       |                       |                       |                              |
| * Trial value that should be subjected to verification by statistical data.  |                       |                       |                       |                              |

### Trial

The Trial part was aimed on elaboration of the relationship between the technological parameters of construction processes and the operational characteristics of a layer constructed from the crushed stone/sand mixture treated by bitumen emulsion and cement.

A batch of mixture treated by bitumen emulsion and cement was produced at the factory and applied in the process of construction of road base layer to replace the cold recycling. Data on grading of factory-produced mixture and source materials are presented in **Table 5**.

The results of estimation of the grading of the factory-produced mixture with D = 20 mm are plotted on **Figure 4**.



1 – grading envelope in accordance with Amendment № 1 DSTU-N B V.2.3-39:2016; 2 – percentage of mixture passing by mass  
Figure 4. Grading of the factory-produced mixture with D = 20 mm

Table 5

**Data on grading of factory-produced mixture (D = 20 mm) and source materials**

| Grading of source materials by the partial residue, % by mass, on a sieve with a cell size, in mm |            |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
|---|------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Fraction size, in mm  | 20         | 10   | 5    | 2,5  | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,16  | 0,071 | pan   | Σ     |       |
| Over 5 to 20 incl.  | 6,0        | 82,9 | 9,5  | 0,5  | 0,0  | 0,0  | 0,3   | 0,3   | 0,2   | 0,3   | 100,0 |       |
| Over 0 to 5 incl.   | -          | 0,0  | 3,0  | 26,5 | 15,0 | 13,4 | 12,5  | 13,4  | 9,7   | 6,5   | 100,0 |       |
| Grading of mixture, % by mass   |            |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| Fraction size, in mm  | Proportion | 20   | 10   | 5    | 2,5  | 1,25 | 0,63  | 0,315 | 0,16  | 0,071 | tray  | Σ     |
| Over 5 to 20 incl.  | 42         | 2,5  | 34,9 | 4,0  | 0,2  | 0,0  | 0,0   | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 42,0  |
| Over 0 to 5 incl.   | 58         | 0,0  | 0,0  | 1,7  | 15,3 | 8,7  | 7,8   | 7,3   | 7,8   | 5,6   | 3,8   | 58,0  |
|   | 100        | 2,5  | 34,9 | 5,7  | 15,5 | 8,7  | 7,8   | 7,4   | 7,9   | 5,7   | 3,9   | 100,0 |
|   |            | 2,5  | 37,4 | 43,1 | 58,6 | 67,3 | 75,1  | 82,5  | 90,4  | 96,1  | 100,0 |       |
| Percentage of mixture passing by mass   |            | 97,5 | 62,6 | 56,9 | 41,4 | 32,7 | 24,9  | 17,5  | 9,6   | 3,9   |       |       |
| Amendment № 1 DSTU-N B V.2.3-39:2016  |            | 100  | 80   | 65   | 50   | 40   | 30    | 25    | 20    | 15    |       |       |
|   |            | 90   | 60   | 35   | 20   | 15   | 10    | 5     | 3     | 0     |       |       |

Table 6

**Consumption of source materials to produce 1 m3 of mixture**

| Source material  | Proportion, by mass |       | Consumption to produce 1 m3, in tons | Bulk density, in tone/m3 | Consumption to produce 1 m3, in m3 |
|--|---------------------|-------|--------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
|  | above 100 %         | 100 % |                                      |                          |                                    |
| Crushed stone, fraction (5 – 20) mm                          | 42                  | 38,5  | 0,867                                | 1,35                     | 0,642                              |
| Sand screened from crushed igneous rock, fraction (0 – 5) mm | 58                  | 53,2  | 1,197                                | 1,39                     | 0,861                              |
| Portlandcement, Class 400                                    | 4                   | 3,7   | 0,083                                | -                        | -                                  |
| Slow setting cationic emulsion ECS-60                        | 4                   | 3,7   | 0,083                                | -                        | -                                  |
| Technical water  | 1                   | 0,9   | 0,021                                | -                        | -                                  |
| In total:  | 109                 | 100   | 2,250                                | -                        | -                                  |



Technical properties of factory-produced mixture

| Characteristic, unit                                | Value  |                                     |
|---|--------|-------------------------------------|
|   | actual | required for MC 40<br>(see Table 4) |
| Unconfined compressive strength at 20 °C, MPa       | 4,2    | From 4,0 to 5,9 incl.               |
| Unconfined compressive strength at 50 °C, MPa       | 1,2    | Not less than 1,0                   |
| Water resistance after a long-lasting water soaking | 0,73   | Not less than 0,70                  |
| Water absorption, % by volume                       | 7,6    | Not more than 8,0                   |

Consumption of source materials and technical characteristics of mixture are presented in **Tables 6 and 7**.

As it can be seen from table 6, the composition of the designed mixture was selected to assure the compliance of mixture with the requirements for class MC 40 (**see Table 4**). Fulfilled testing proved class of mixture as MC 40 (**see Table 7**).

The standard requirements for construction of road layer using granular mixtures treated by complex binder were worked out as requirements for technological operations on preparative works, transporting, laying, compaction and curing taking into consideration the results of Trials including those obtained early [12]. Some of the elaborated standard requirements for processes are listed below.

As a part of preparative works, the lower layer surface should be undercoated with road petroleum liquid bitumen or bitumen emulsion within a period from 1 h to 6 h before beginning construction of a layer strengthened by complex binder. Consumption of a bituminous grout depends on the type of grout and also on the nature of the lower layer and shall be limited:

- for the road petroleum liquid bitumen, as:
  - from 0,5 l/m<sup>2</sup> to 0,8 l/m<sup>2</sup> when treating the surface of an unbound layer of stone materials;
  - from 0,2 l/m<sup>2</sup> to 0,3 l/m<sup>2</sup> when treating the surface of a layer containing bituminous binder;
- for bitumen emulsion containing bitumen in proportion of 60 % by mass, as:
  - from 0,6 l/m<sup>2</sup> to 0,9 l/m<sup>2</sup> when treating the surface of an unbound layer of stone materials;
  - from 0,3 l/m<sup>2</sup> to 0,4 l/m<sup>2</sup> when treating the surface of a layer containing bituminous binder.

If the period from the end of construction of a lower layer containing the bituminous binder to the beginning of an upper layer construction has been lasted less than 2 days the undercoating is optional.

Mixture should be transported in such a manner as to avoid intermingling, contamination or deteri-

oration that may affect the quality of the product. Any damaged batch should be rejected and utilized.

The delivered mixture shall be paved in a single lift, compacted and cured. In general the period from the unloading of a ready mixture from a mixer to the end of compaction of a layer shall not exceed 2 h. The compaction of a layer of granular mixture treated by bitumen emulsion commences as emulsion breaks therefore the delay of compaction until after the bitumen emulsion breaks can cause a crust to form on the top part of a layer. Exception could be made to mixtures based on bitumen emulsion if those were transported and laid at temperatures less than 15 °C – in the latter case the period from unloading to the end of compaction may be extended to 4 h. In all cases the compaction shall be accomplished before cement begins to set. These requirements should be considered when placing the construction plant.

Compaction should be performed using pneumatic or double drum vibratory steel-wheel rollers; the process should be completed using heavier rollers. The edges of the previously compacted layer shall be vertical and smooth before laying a fresh portion of mixture against it. The thickness of the compacted layer depends on a mixture grading and in general should be not less than 3D.

Curing shall be performed for 7 days by coating the surface of a layer by the rapid setting anionic or cationic bitumen emulsion in an amount from 0,8 l/m<sup>2</sup> to 1,0 l/m<sup>2</sup>; the integrity of a bituminous film during curing period shall be kept.

When constructing a layer by an in-situ method the usage of cement as a cement-water suspension is preferable. If it is unrealisable all technological operations on road using cement as a powder shall be fulfilled at a wind speed not more than 6 m/c.

In case of using the in-situ method the initial mixture of granular materials can be produced by mixing on road as well; that option is preferable if stone materials from different quarries will be used. In such

case the grading of granular mixture after mixing in situ shall be verified before treatment by binders. The overlap between adjacent passes of a recycler (or a stabilizer) shall be not less than 20 cm. Care should be taken to ensure that double application of any applied constituent (bituminous binder, cement, or water) does not occur in the overlap areas. A batch of mixture with any irreparable nonconformity should be rejected and utilized.

The requirements for compaction and curing of layers constructed via in-situ method and constructed using the factory-produced mixture are identical but in former case the grading of a layer surface may be needed before compaction.

When the designed thickness of a base layer strengthened by complex binder exceeds 125 mm (or 150 mm for proved cases) a base should be constructed in two or more layers where the lower layer could be mixed in-situ. The granular mixture for multilayer base should be bound using bitumen emulsion or foamed bitumen; road petroleum liquid bitumen is not permitted. Any upper layer could be constructed only after the mixture in the lower layer gains at least 70 % of the designed value of compressive strength.

### Conclusions

1. Mixtures of crushed stone, gravel and sand treated by complex binder compounded from bituminous binder and cement were standardized as road materials that could be produced and applied using plant or in-situ equipment for cold recycling. The standardized materials and technologies are intended to be used to build the new road pavement construction or to enhance the bearing capacity of an existing road pavement.

2. Performed work widens the nomenclature of road materials and technologies for construction of:

- base layer (including those designed as the lower layer for laying hot-mixed asphalt mixtures) of road pavements for motor roads classes from I to IV;
- base layer (including those designed as the lower layer for laying cold-mixed asphalt mixtures) of road pavements for motor roads classes IV or V;
- upper layer of road pavements of an improved facilitated type for motor roads classes IV or V with double surface treatment.

### References

1. Dunn, L., and Cross, S. (2001). Basic Asphalt Recycling Manual, 1st Edition. US Department of Transportation, Federal Highway Administration; Asphalt Recycling and Reclaiming Association. 77. Retrieved September 13, 2018 from <http://www.dot.state.mn.us/materials/pvmt/design/docs/BasicAsphaltRecyclingManual.pdf>

2. Hartman, M., Turos, M., Ghosh, D., and Marasteanu, M. (2016). Full Depth Reclamation (FDR) for Suburban/Urban and Local Roads Application. Minnesota Department of Transportation, Research Project Final Report No MN/RC 2016-37, 103. Retrieved January 28, 2020 from <https://www.state.mn.us/research/TS/2016/201637.pdf>
3. Schwartz, C. W., Diefenderfer, B. K., and Bowers, B. F. (2017). Material Properties of Cold In-Place Recycled and Full-Depth Reclamation Asphalt Concrete, NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) Research Report 863. Transportation Research Board, Washington, DC, 83. Retrieved March 22, 2018 from <http://nap.edu/24902>
4. Bleakley, A. M., and Cosentino, P. (2013). Improving Properties of Reclaimed Asphalt Pavement for Roadway Base Application through Blending and Chemical Stabilization. Journal of the Transportation Research Board, 18. Retrieved January 29, 2020 from <https://www.researchgate.net/publication/270209060>
5. Naukova rada Ukravtodoru. (2017). Rekomendatsiyi v pidboru skladu ta zastosuvannya shchebenevo-pishchanykh sumishey, obroblenykh kompleksnym bitumomineral'nym v'yazhuchym. R V.2.7-37641918-880:2017. [Recommendations on selection of composition and application of crushed stone/sandy mixes treated by complex bitumen-mineral binder]. Oficijnyj document derzhavnogo agentstva avtomobil'ny'x dorig Ukrayiny' [Official document of the State Road Agency of Ukraine], Kyiv, 26.
6. Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine. (2016). Grunty, ukripleni v'yazhuchym. Metody vyprobuvan': DSTU B V.2.7-309:2016. Nacional'ny'j standart Ukrayiny' [Binder-strengthened soils. Test methods. DSTU B V.2.7-309:2016. National standard of Ukraine]. Kyiv, 30.
7. Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine (2015) Sumishi bitumomineral'ni dorozhni. Metody vyprobuvan': DSTU B V.2.7-306:2015. Nacional'ny'j standart Ukrayiny' [Road bituminous mixes. Test methods. DSTU B V.2.7-306:2015. National standard of Ukraine]. Kyiv, 40.
8. State Standard Organization of Ukraine. (2001). Bitumy naftovi dorozhni v'yazki. Tekhnichni umovy. DSTU 4044-2001. Nacional'ny'j standart Ukrayiny' [Viscous petroleum road bitumens. Specifications. DSTU 4044-2001. National standard of Ukraine]. Kyiv, 14.
9. Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine. (2014). Emul'siyi bitumni dorozhni. Tekhnichni umovy: DSTU B V.2.7-129:2014. Nacional'ny'j standart Ukrayiny' [Bituminous road emulsions. Specifications. DSTU B V.2.7-129:2014. National standard of Ukraine]. Kyiv, 27.
10. Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine. (2016). Tsement. Chastyna 1. Sklad, tekhnichni umovy ta kryteriiji vidpovidnosti dlya zvyčajnykh tsementiv: DSTU B EN 197-1:2015 (EN 197-1:2011, IDT). Nacional'ny'j standart Ukrayiny' [Cement. Part 1: Composition, Specifications and conformity criteria for common cements. DSTU B EN 197-1:2015 (EN 197-1:2011, IDT). National standard of Ukraine]. Kyiv, 59.
11. Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine. (2010). Osnovy ta pidvalny budynkiv i sporud. Grunty. Metod laboratornoho vyznachennya maksimal'noyi shchil'nosti.: DSTU B V.2.1-12:2009. Nacional'ny'j standart Ukrayiny' [Bases and foundations of building and structures. Soils. Method for laboratory determination of maximum density. DSTU B V.2.1-12:2009. National standard of Ukraine]. Kyiv, 16.
12. Naukova rada Ukravtodoru. (2004). Tekhnolohichna karta na reheneratsiyu konstruktyvnoho sharu dorozhn'oho odyahu tovshchynoyu 18 sm z zastosuvannyam bitumnoyi emul'siyi (vmist emul'siyi 3% vid masy) ta tsementno-vodnoyi suspenziyi (vmist tsementu 1,5% vid masy) za tekhnolohiyeyu "kholodnyy resayklinh", mashynoyu resaykler WR 2500 u skladi iz zmishuval'noyu ustanovkoyu WM 1000 ta bitumovozom. TC 218-03449261-026-WR 2500 (7)-2004. [Technological Chart on recycling of a road pavement lift of a 18 cm thickness using bitumen emulsion (in a proportion of 3 % by mass) and cement-water suspension (with proportion of cement of 1,5 % by mass) via cold recycling technology using recycler WR 2500 combined with a mixing plant WM 1000 and a truck for bitumen]. Oficijnyj document derzhavnogo agentstva avtomobil'ny'x dorig Ukrayiny' [Official document of the State Road Agency of Ukraine]. Kyiv, 17.

© В. Л. Яструбінецький, канд. техн. наук, провідний науковий співробітник, ORCID: 0000-0002-4837-3303, e-mail: desbridge40@gmail.com ( ДП «ДерждорНДІ»);  
 © П. М. Коваль, канд. техн. наук, професор, зав. кафедри, ORCID: 0000-0002-0040-5900 (НАОМА);  
 © С. С. Завгородній, науковий співробітник, ORCID: 0000-0003-1928-4544, e-mail: zav\_ss@ex.ua;  
 © М. А. Борисенко, молодший науковий співробітник, ORCID: 0000-0001-9772-3536, e-mail: y-max@meta.ua (ДП «ДерждорНДІ»)

© Vitalii Yastrubynetskyi, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, ORCID: 0000-0002-4837-3303, e-mail: desbridge40@gmail.com (DerzhdorNDI SE);  
 © Petro Koval, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department Chair, ORCID: 0000-0002-0040-5900 (National Academy of Fine Arts and Architecture);  
 © Serhii Zavhorodnii, Research Officer, ORCID: 0000-0003-1928-4544, e-mail: zav\_ss@ex.ua;  
 © Maksym Borysenko, Research Assistant, ORCID: 0000-0001-9772-3536, e-mail: y-max@meta.ua (DerzhdorNDI SE)

# ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ТА СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ МОСТІВ ЗА ПОКАЗНИКОМ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ

## SOME FEATURES OF THE OPERATING CONDITION OF REINFORCED CONCRETE BRIDGES AND REINFORCED CONCRETE RUNNING STRUCTURES BRIDGES ACCORDING TO LOAD CAPACITIES

**Анотація.** Під час визначення експлуатаційного стану моста одним із визначальних факторів є забезпечення його надійної і безаварійної роботи. Тому встановлення реальної вантажопідйомності моста є важливою процедурою, від якої залежить правильна оцінка його експлуатаційного стану. Методика оцінки вантажопідйомності мостів враховує в розрахунку окремі випадкові величини, такі як фізико-механічні властивості матеріалів, характеристики тимчасових навантажень тощо, а це дає неточності у визначенні вантажопідйомності споруди загалом. Тому пропонується визначати вантажопідйомність прогонових будов мостів ймовірнісним методом, що дає змогу об'єктивніше визначити вантажопідйомність за діючими нормами з одночасними забезпеченням необхідного рівня їх надійності, а також виявити і використати резерви несної здатності залізобетонних балок прогонових будов. Залізобетонні прогонові будови автодорожніх мостів на дорогах України, масове будівництво яких почалося в 50–60 роках минулого століття, в основному, складаються зі збірних балок або плит, які виготовлялися на спеціалізованих виробництвах. В період масового проектування і будівництва мостів у СРСР із середини ХХ століття виконати просторовий розрахунок прогонової будови було неможливо існуючими тоді засобами обчислювальної техніки. Розробники типових проектів прогонових будов мостів використовували наближені напівемпіричні методи. Участь окремої балки (плити) в роботі прогонової будови оцінювалося так званим «коефіцієнтом поперечної установки».

Розглянуто відомі методи просторового розрахунку залізобетонних прогонових будов мостів для визначення їх вантажопідйомності. Запропоновано під час розрахунку багатобалочних прогонових будов визначати розрахункові зусилля в окремих балках пропорційно прогинам цих балок. Запропоновано також під час розрахунку сталезалізобетонних прогонових споруд за розрахункові фактори брати сумарні напруження розтягу за нижньою межею.

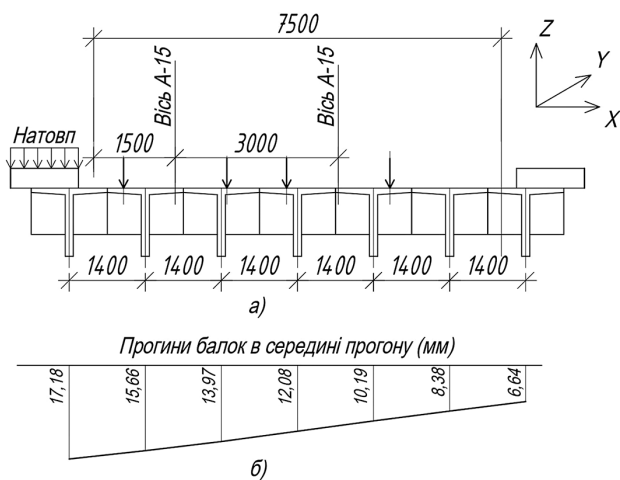
**Ключові слова:** вантажопідйомність, автодорожній міст, прогонова будова, просторовий розрахунок.

**Аннотация.** При определении эксплуатационного состояния моста, одним из определяющих факторов является обеспечение его надежной и безаварийной работы. Поэтому установление реальной грузоподъемности моста является важной процедурой, от которой зависит правильная оценка его эксплуатационного состояния. Методика оценки грузоподъемности мостов учитывает в расчете отдельные случайные величины, такие как физико-механические свойства материалов, характеристики временных нагрузок и т.д., а это дает неточности в определении грузоподъемности сооружения в целом. Поэтому предлагается определять грузоподъемность пролетных строений мостов вероятностным методом, что позволяет объективно определить грузоподъемность по действующим нормам с одновременным обеспечением необходимого уровня надежности, а также выявить и использовать резервы несущей способности железобетонных балок пролетных строений. Железобетонные пролетные строения автодорожных мостов на дорогах Украины, массовое строительство которых началось





Союздорпроект. У розрахунку скінченні елементи (СЕ) плити кожної балки представлені горизонтальними пластинами в площині xOy, СЕ стінок балки – вертикальними пластинами в площині zOy, СЕ діафрагм – вертикальними пластинами в площині xOz. Напрямки осей в даному розрахунку – **рис. 1**. Розрахунок виконаний за допомогою програмного комплексу SCADOffice. Розрахункове навантаження – 2 смуги нормативного навантаження А-15 і натовп на тротуарі [11]. На **рис. 1** наведено схему завантаження для максимального згинального моменту для лівої крайньої балки, тому навантаження від натовпу на правому тротуарі відсутнє.



**Рис. 1.** Поперечний переріз прогонової будови моста та схема завантаження А15 (а), прогини в середині прогону (б)

Результат статичного розрахунку за програмою SCADOffice – нормальні та дотичні напруження в центрі кожного СЕ, а також переміщення вузлів розрахункової схеми. Для визначення експлуатаційного стану прогонової будови необхідно визначити величину  $S_{\text{сум}}$ . В такому випадку – це згинальний момент в середині прогону найбільш завантаженої балки. Оскільки прогини балок від тимчасового навантаження пропорційні згинальним моментам, які виникають в балках, величину найбільшого моменту (в середині прогону) можна визначити за формулою:

$$S_{\text{сум}} = M_{\text{сум}} \frac{Z_{\text{max}}}{\sum Z} \quad (3)$$

де  $M_{\text{сум}}$  – загальний згинальний момент у середині прогону від тимчасового навантаження;  
 $Z_{\text{max}}$  – найбільший прогин у середині прогону, тобто найбільше вертикальне переміщення (за результатами розрахунку за програмою SCADOffice – **рис. 1**);

$\sum Z$  – сума прогинів балок у середині прольоту.

Під час визначення згинальних моментів у залізобетонних прогонових будовах із попере-

днім натягом арматури варто врахувати також перерозподіл зусиль між окремими балками в результаті утворення вертикальних тріщин від вигину в розтягнутій зоні балок і, отже, зменшення згинальної жорсткості відповідних СЕ. Таке завдання може бути вирішено шляхом послідовних наближень [12], [13].

Під час визначення експлуатаційного стану сталезалізобетонних прогонових будов необхідно врахувати особливість розрахунку таких конструкцій, а саме, дві стадії роботи:

- власна вага сталевих конструкцій (балок або ферм) і залізобетонної плити проїжджої частини сприймається сталевими конструкціями;

- вага решти постійних навантажень, а також тимчасове навантаження, сприймає об'єднана конструкція прогонової будови.

У цьому випадку за зусилля  $S$  варто приймати не згинальні моменти (як в залізобетонних балках, або сталевих конструкціях), а напруження розтягу по нижній межі сталевих конструкцій.

## Висновки

1. Під час визначення експлуатаційного стану залізобетонних балкових прогонових будов мостів розподіл згинальних моментів між окремими балками варто приймати за результатами розрахунку за допомогою МСЕ пропорційно прогину окремих балок.

2. При розрахунку сталезалізобетонних прогонових будов за розрахункові фактори варто приймати напруження розтягу по нижній межі сталевих балок або ферм.

## Література

1. Снитко В. П. Визначення вантажопідйомності прогонових будов сталезалізобетонних мостів / В. П. Снитко // «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво»: зб. наук. пр. НТУ. – Київ, 2012 – Вип. 85. – С.174-184.
2. Ключник С. В. До питання вантажопідйомності старих прогонових будов / С.В. Ключник // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика: зб. наук. пр. ДНУЗТ ім. акад. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2018. – Вип. 13. – С. 12-24.
3. Васильев А. И. Оценка грузоподъёмности и долговечности мостов: методическое пособие / А.И. Васильев. – М.: МАДИ, 2016. – С. 40.
4. Валиев Ш. Н. Определение грузоподъёмности железобетонных пролетных строений автодорожных мостов вероятностным методом / Ш. Н. Валиев // Вестник московского автомобильно-дорожного института (Государственного технического университета). – 2004. – МАДИ. – № 3 – С. 78-83.
5. Настанова з оцінки і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів : ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012. – [Чинний з 2013-12-01]. – НТУ.
6. Евграфов Г. К., Богданов Н. Н. Проектирование мостов. – Москва: Транспорт, 1966. – 692 с.
7. Поливанов Н. И. Проектирование и расчет железобетонных и металлических автодорожных мостов. – Москва: Транспорт, 1970. – 516 с.
8. Лившиц Я. Д., Онищенко М. М., Шкуратовский А. А. Примеры расчета железобетонных мостов. – Киев: Вища школа, 1986. – 263 с.
9. Улицкий Б. Е., Игнатъев Е. Г., Рубинчик Р. И. Пространственные расчеты пролетных строений мостов, косых и кривых в плане. – Москва: Транспорт, 1971. – 168 с.

10. Смирнов А. Ф., Александров А. В., Шапошников Н. Н., Лашеников Б. Я. Расчет сооружений с применением вычислительных машин. – Москва: Стройиздат, 1964. – 381 с.  
11. Мости та труби. Навантаження і впливи : ДБН В.1.2-15:2009. – [Чинний з 2009-11-11]. – Мінрегіонбуд України.  
12. Улицкий Б. Е., Васильев А. И., Шестоперов Г. С. Пространственные расчеты железобетонных мостов с учетом нелинейных деформаций. – Москва: Транспорт, 1975. – 62 с.  
13. Яструбинский В. Л. К расчету ж.б. предварительно напряженных пролетных строений мостов с учетом нелинейной зависимости между жесткостью и нагрузкой. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Москва, 1970. – 160 с.

## References

1. Snitko, V. P. (2012). Determination of load-bearing capacity of span structures of reinforced concrete bridges. «Roads and road construction»: coll. Science. etc. NTU. – Kyiv, 85, 174-184.  
2. Klyuchnik, S. V. (2018). On the issue of load capacity of old span structures. Bridges and tunnels: theory, research, practice: coll. Science. etc. DNUZT them. acad. Lazaryan, Dnepropetrovsk, 13, 12-24.  
3. Vasiliev, A. I. (2016). Estimation of load capacity and durability of bridges: a manual. Moscow, MADI, 40.  
4. Valiev, S. N. (2004). Determination of load-bearing capacity of reinforced concrete span structures of road bridges by the probabilistic

method. Bulletin of the Moscow Automobile and Road Institute (State Technical University). Moscow, MADI, 3, 78-83.  
5. NTU. (2012). Guidelines for assessing and forecasting the technical condition of road bridges: DSTU-N B B.2.3-23: 2012. Kyiv.  
6. Evgrafov, G. K., Bogdanov, N. N. (1966). Design of bridges. Moscow, Transport, 692.  
7. Polivanov, N. I. (1970). Design and calculation of reinforced concrete and metal road bridges. Moscow, Transport, 516.  
8. Livshits, Ya. D., Onishchenko M. M., Shkuratovsky A. A. (1986). Examples of calculation of reinforced concrete bridges. Kyiv, Higher School, 263.  
9. Ulitsky, B. E., Ignatiev, E. G., Rubinchik, R. I. (1971). Spatial calculations of span structures of bridges, obliques and curves in plan. Moscow, Transport, 168.  
10. Smirnov, A. F., Alexandrov, A. V., Shaposhnikov, N. N., Lashchenikov, B. Y. (1964). Calculation of structures using computers. Moscow, 381.  
11. Ministry of Regional Development of Ukraine. (2009). Bridges and pipes. Loads and effects: DBN B.1.2-15: 2009. Kyiv.  
12. Ulitsky, B. E., Vasiliev, A. I., Shestoperov, G. S. (1975). Spatial calculations of reinforced concrete bridges taking into account nonlinear deformations. Moscow, Transport, 62.  
13. Yastrubinsky, V. L. (1970). To the calculation of reinforced concrete prestressed span structures of bridges, taking into account the nonlinear dependence between stiffness and load. The dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Moscow, 160.

УДК 625.7/.8

© М. М. Стулій, начальник відділу,  
ORCID: 0000-0003-2980-1576;  
© Т. В. Лісниченко, провідний інженер,  
ORCID: 0000-0002-3188-1555 (e-mail: normdoc@ukr.net);  
відділ нормоконтролю Центру нормоконтролю, оцінки відповідності та міжнародного співробітництва ДП «ДерждорНД»

DOI: 10.33868/0365-8392-2020-2-262-47-52

© Mykola Stulii, Head of Department,  
ORCID: 0000-0003-2980-1576;  
© Tetiana Lisnichenko, Leading Engineer,  
ORCID: 0000-0002-3188-1555  
(e-mail: normdoc@ukr.net; Normal Inspection Department of the Center of Normal Inspection, Conformance Evaluation and International Cooperation of N.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise)

# ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ СУПРОВІД БУДІВНИЦТВА ОБ'ЄКТІВ ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА

## ENGINEERING AND TECHNICAL SUPPORT OF ROAD ECONOMY FACILITIES CONSTRUCTION

**Анотація.** Розглянуто основні завдання і функції інженерно-технічного супроводу під час нового будівництва, реконструкції та капітального ремонту автомобільних доріг загального користування та стандарт організації України СОУ 42.1-37641918-087:2019 «Автомобільні дороги. Інженерно-технічний супровід будівництва об'єктів дорожнього господарства», який розроблений у результаті перегляду стандарту, затвердженого у 2013 році.

Здійснено порівняння стандартів та ознайомлення з новими положеннями і вимогами, які приведені до відповідності з чинним законодавством, будівельними нормами та нормативними документами і будуть використовуватись під час інженерно-технічного супроводу.

**Ключові слова:** авторський нагляд, інженер-консультант, інженерно-технічний супровід, проектно-технологічна документація, технічний нагляд.

**Аннотация.** Рассмотрены основные задания и функции инженерно-технического сопровождения во время нового строительства, реконструкции и капитального ремонта автомобильных дорог общего пользования и стандарт организации СОУ 42.1-37641918-087:2019 «Автомобильные дороги. Инженерно-техническое сопровождение строительства объектов дорожного хозяйства», который разработан в результате пересмотра стандарта, утвержденного в 2013 году.

Осуществлено сравнение стандартов и ознакомление с новыми положениями и требованиями, которые приведены в соответствие с действующим законодательством, строительными нормами и нормативными документами и будут использоваться при инженерно-техническом сопровождении.

**Ключевые слова:** авторский надзор, инженер-консультант, инженерно-техническое сопровождение, проектно-технологическая документация, технический надзор.

**Abstract.** The article deals with the main tasks and functions of engineering and technical support during the new construction, reconstruction and major overhaul of public roads and the standard of organization of Ukraine SOU 42.1-37641918-087:2019 «Engineering and technical support for the construction of road facilities», which was developed as a result of the revision of the standard approved in 2013.

Comparison of standards and familiarization with new regulations and requirements, which are brought into compliance with the current legislation, building codes and normative documents, will be used during engineering and technical support.

Engineering and technical support for the construction of road objects is the activity of one or more organizations aimed at providing organizational and technical services of engineering and technical character at different stages of the life cycle of construction of road objects.

It is an optimal and cost-effective way of guaranteeing the exact adherence to the course of construction, safety measures and compliance of the object of construction with the conditions of the design documentation, which ensures the quality of construction works, compliance with the terms of their fulfilment, increases safety level and reliability of the object of construction during its construction and operation. .

The purpose of engineering and technical support for the construction of road objects is to control the quality of road construction works, materials, products and structures and the reliability of the construction object. This is achieved by continuous monitoring of compliance with the requirements of building codes and standards, rules of performance of works, quality control of building materials, products and structures throughout the period of work (at the stages of design, fulfilment and completion of construction), starting from preparatory works and ending with the commissioning of the object.

**Keywords:** author supervision, consulting engineer, engineering and technical support, design and technological documentation, technical supervision.

## Вступ

За час дії СОУ 42.1-37641918-087:2013 «Автомобільні дороги. Інженерно-технічний супровід будівництва об'єктів дорожнього комплексу» розроблено нові (або внесено до них зміни) Закони України, постанови Кабінету Міністрів України, нормативно-правові акти, що стосуються будівельної галузі, зокрема сфери регулювання містобудівної діяльності, питань із виконання підготовчих та будівельних робіт, проведення авторського і технічного нагляду під час будівництва, здійснення державного архітектурно-будівельного контролю, проведення контролю якості робіт з будівництва автомобільних доріг загального користування; внесено зміни до кваліфікаційної характеристики професії «Інженер-консультант (будівництво)»; розроблено нові державні та галузеві будівельні норми, такі як ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво», ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва», ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво», ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів» тощо; розроблені нові стандарти з безпеки руху, технічних умов на матеріали і методів їх випробувань; настанови з проектування та виконання різних видів робіт та інженерного захисту будівель, інші нормативні акти та нормативні документи, вимоги та положення яких враховано під час розробки нового стандарту.

*Мета роботи* – встановлення єдиних технічних вимог до дозвільної та виконавчої технічної документації на виконання дорожніх робіт із врахуванням їх лінійного характеру та специфіки шляхом розроблення на основі перегляду СОУ 42.1-37641918-087:2013 «Автомобільні дороги. Інженерно-технічний супровід будівництва об'єктів дорожнього комплексу» нового стандарту організації України, який визначить, відповід-

но до вимог нормативно-правових актів у сфері будівництва, державних і галузевих будівельних норм, стандартів, завдання та функції інженерно-технічного супроводу під час будівництва автомобільних доріг загального користування.

## Основна частина

Інженерно-технічний супровід будівництва об'єктів дорожнього господарства – це діяльність однієї або декількох організацій, спрямована на надання організаційно-технічних послуг інженерного та технічного характеру на різних етапах життєвого циклу будівництва об'єктів дорожнього господарства.

Це оптимальний і економічно вигідний спосіб гарантування точного дотримання ходу будівництва, заходів безпеки та відповідності об'єкта будівництва умовам проектної документації, який забезпечує якість будівельних робіт, дотримання строків їх виконання, сприяє більшій безпеці і надійності об'єкта будівництва під час його зведення та експлуатації.

Метою інженерно-технічного супроводу будівництва об'єктів дорожнього господарства є контроль якості виконання дорожньо-будівельних робіт, матеріалів, виробів і конструкцій, надійності будівельного об'єкта. Це досягається безперервним моніторингом дотримання вимог будівельних норм і стандартів, правил виконання робіт, контролем якості будівельних матеріалів, виробів і конструкцій протягом всього періоду проведення робіт (на етапах проектування, виконання та завершення будівництва), починаючи від підготовчих і закінчуючи введенням об'єкта в експлуатацію.

На етапі «Проектування» інженерно-технічний супровід виконується під час:

- інженерних вишукувань;
- розроблення проектної документації відповідно до договору і завдання на проектування;



- державної експертизи проектної документації згідно з чинним законодавством;
- затвердження проекту замовником;
- розроблення тендерної документації і проведення тендерів на виконання будівельно-монтажних робіт, на поставку обладнання та на інші роботи і послуги;

- розроблення остаточної робочої документації на основі затвердженого проекту.

На етапі «Виконання та завершення будівництва» виконується супровід під час:

- отримання дозволу на будівництво об'єкта;
- укладання договорів із підрядними організаціями та з постачальниками матеріалів;

- розгортання підготовчих робіт;
- організації виконання основних будівельних робіт зі зведення об'єкта;

- забезпечення безпеки ведення робіт;
- проведення контролю якості робіт, матеріалів і конструкцій, відповідності виконаних робіт проектній документації і вимогам будівельних норм, нормативних документів;

- здійснення авторського та технічного нагляду;
- ведення виконавчої документації;
- приймання виконаних робіт і об'єкта загалом.

Проведення інженерно-технічного супроводу дає змогу знизити їх собівартість, підвищує окупність інвестиційних вкладень за рахунок раціональної організації праці.

Завдання і функції інженерно-технічного супроводу під час будівництва автомобільних доріг загального користування визначає СОУ 42.1-37641918-087:2019 «Автомобільні дороги. Інженерно-технічний супровід будівництва об'єктів дорожнього господарства», який затверджений наказом Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) від 11.02.2019 № 43 та набрав чинності з 01.04.2019 року.

Стандарт встановлює склад та порядок ведення організаційно-технічної документації за інженерно-технічного супроводу об'єктів будівництва у дорожньому господарстві відповідно до вимог нормативно-правових актів у сфері будівництва, державних і галузевих будівельних норм та стандартів.

Стандарт СОУ 42.1-37641918-087:2019 буде використовуватись під час:

- складання проектів організації будівництва та проектів виконання робіт;

- контролю організації та якості виконання робіт;

- контролю якості будівельних матеріалів, виробів і конструкцій;

- дотримання вимог будівельних норм і стандартів протягом всього терміну проведення робіт.

У стандарті надані положення щодо:

- нормативно-правового та нормативного забезпечення організації будівництва об'єктів дорожнього господарства;

- порядку складання та оформлення дозвільних документів на виконання підготовчих і будівельних робіт;

- організації дорожньо-будівельних робіт;

- авторського та технічного нагляду;

- проектно-технологічного забезпечення будівництва об'єктів дорожнього господарства;

- складання виконавчої документації.

У додатках стандарту наведені:

- перелік нормативних документів на дорожньо-будівельні матеріали (технічні умови та методи випробувань);

- форми сторінок загального журналу робіт та авторського нагляду, спеціальних журналів на виконання окремих видів дорожньо-будівельних робіт, актів на закриття прихованих робіт та проміжного прийняття відповідальних конструкцій, оперативного журналу геодезичних робіт, а також форми документів лабораторного контролю.

Стандарт СОУ 42.1-37641918-087:2019 має 11 розділів та 9 додатків.

**Розділи стандарту:**

1 Сфера застосування

2 Нормативні посилання

3 Терміни та визначення понять

4 Позначки та скорочення

5 Загальні положення

6 Нормативно-правове та нормативне забезпечення організації будівництва об'єктів дорожнього господарства

7 Складання та оформлення дозвільних документів на виконання підготовчих і будівельних робіт

8 Організація дорожньо-будівельних робіт

9 Авторський та технічний нагляд

9.1 Авторський нагляд

9.2 Технічний нагляд

10 Проектно-технологічне забезпечення будівництва об'єктів дорожнього господарства

11 Складання та ведення виконавчої документації на будівництво об'єктів дорожнього господарства.

**Додатки стандарту:**

Додаток А Перелік нормативних документів на дорожньо-будівельні матеріали

Додаток Б Форми сторінок загального журналу робіт

Додаток В Форми сторінок Акта на закриття прихованих робіт

Додаток Г Форми сторінок журналу авторського нагляду

Додаток Д Форми спеціальних журналів на виконання окремих видів дорожньо-будівельних робіт

Додаток Е Форми сторінок Акта проміжного прийняття відповідальних конструкцій

Додаток Ж Форма оперативного журналу геодезичних робіт

Додаток И Форми документів лабораторного контролю

Додаток К Бібліографія.

**Під час розробки нового стандарту були внесені такі зміни та доповнення**

До розділу «Нормативні посилання» – долучено 102 нових національних стандарти, із них 42 стандарти гармонізовані з європейськими та 21 стандарт організації України (СОУ), та вилучені стандарти, які втратили чинність.

По тексті СОУ замінено посилання на не чинні документи чинними.

Розроблено новий розділ «Загальні положення», де надані характеристика і цілі інженерно-технічного супроводу, види робіт на етапах проведення інженерно-технічного супроводу та його виконавці (зокрема, долучено положення щодо можливості залучення до виконання інженерно-технічного супроводу інженера-консультанта).

Розділ «Нормативно-правове та нормативне забезпечення організації будівництва об'єктів дорожнього господарства» доповнено документами щодо вимог до інженерного захисту та забезпечення надійності об'єктів дорожнього господарства.

Розділ «Складання та оформлення дозвільних документів на виконання підготовчих і будівельних робіт» відкориговано відповідно до змін, внесених до «Порядку виконання підготовчих та будівельних робіт» та змін що стосуються класів наслідків (відповідальності) відповідно до Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності».

Окремо виділені розділи «Організація дорожньо-будівельних робіт» та «Авторський та технічний нагляд», які викладені з врахуванням змін до нормативно-правових актів, будівельних норм та стандартів за період з 2013 року.

Розділ «Організація дорожньо-будівельних робіт» доповнений положеннями щодо прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів дорожнього господарства відповідно до «Порядку

прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів».

Підрозділ «Авторський нагляд» доповнено положеннями стандарту ДСТУ-Н Б А.2.2-11:2014 «Настанова щодо проведення авторського нагляду за будівництвом».

Підрозділ «Технічний нагляд» доповнено новими вимогами відповідно до «Вимог щодо проведення контролю якості робіт з нового будівництва, реконструкції та капітального ремонту автомобільних доріг загального користування» (Постанова Кабінету Міністрів України від 28.12.2016 № 1065) та змін, внесених до «Порядку здійснення технічного нагляду під час будівництва об'єкта архітектури».

Розділ «Проектно-технологічне забезпечення будівництва об'єктів дорожнього господарства» відкориговано відповідно до вимог ДБН А.3.1-5:2016 щодо складання проєктів організації будівництва та виконання робіт.

Розділ «Складання та ведення виконавчої документації на будівництво об'єктів дорожнього господарства» розроблено з врахуванням вимог ДБН А.3.1-5:2016 та інших чинних будівельних норм і нормативних документів.

По тексті стандарту приведені до відповідності з чинним законодавством положення щодо віднесення об'єктів будівництва до класу наслідків (відповідальності) та порядку подачі й оформлення дозвільних документів про початок виконання підготовчих і будівельних робіт;

У додаток А «Перелік нормативних документів на дорожньо-будівельні матеріали» внесено зміни з врахуванням нових стандартів, зокрема європейських, та вилучення скасованих.

Додаток Б «Форми сторінок загального журналу робіт» надано з врахування вимог ДБН А.3.1-5:2016.

До додатку Г «Форми сторінок журналу авторського нагляду» долучені вказівки щодо ведення загального журналу робіт.

Інші додатки з формами журналів виконавчої документації дорожньо-будівельних робіт та документів лабораторного контролю уточнені відповідно до вимог ДБН А.3.1-5:2016.

Додаток «Бібліографія» надано відповідно до вимог ДСТУ 1.5:2015, вилучено документи, що скасовані, та надано нові нормативно-правові акти, будівельні норми, нормативні та технічні документи, що набрали чинності за період дії СОУ 42.1-37641918-087:2013.

У стандарті оновлено положення щодо:

- нормативно-правового та нормативного за-

безпечення організації будівництва об'єктів дорожнього господарства;

- порядку складання та оформлення дозвільних документів на виконання підготовчих і будівельних робіт;
- організації дорожньо-будівельних робіт; авторського та технічного нагляду;
- проектно-технологічного забезпечення будівництва об'єктів дорожнього господарства;
- складання виконавчої документації.

Надані нові додатки щодо:

- переліків нормативних документів на дорожньо-будівельні матеріали (технічні умови та методи випробувань);
- форм сторінок загального журналу робіт, журналів авторського нагляду, спеціальних журналів на виконання окремих видів дорожньо-будівельних робіт, оперативного журналу геодезичних робіт, актів на закриття прихованих робіт та проміжного прийняття відповідальних конструкцій та документів лабораторного контролю.

Функції інженерно-технічного супроводу може виконувати замовник, запрошена ним інжинірингова фірма, інженер-консультант – суб'єкт господарювання, що надає дорожні консультаційні послуги згідно з «Вимогами щодо проведення контролю якості робіт з нового будівництва, реконструкції та капітального ремонту автомобільних доріг загального користування», затвердженими Постановою Кабінету Міністрів України від 28.12.2016 № 1065 «Про затвердження вимог щодо проведення контролю якості робіт з нового будівництва, реконструкції та капітального ремонту автомобільних доріг загального користування», або генеральний підрядник.

### Висновки

Впровадження та використання стандарту під час розробки проектно-документації та виконання підготовчих і дорожньо-будівельних робіт забезпечить:

- виконання вимог нормативно-правових, нормативних актів і нормативних документів;
- удосконалення нормативно-технічної бази щодо інженерно-технічного супроводу будівництва об'єктів дорожнього господарства; встановлення єдиних організаційно-технічних вимог до технологічної та виконавчої технічної документації під час виконання дорожньо-будівельних робіт та єдиних форм технічних документів лабораторного контролю;
- раціональну організацію праці;
- контроль якості виконання робіт, дорож-

ньо-будівельних матеріалів, виробів і конструкцій.

Це підвищить організацію виконання робіт, дотриманням розрахункових строків будівництва, забезпечить відповідність об'єкта будівництва вимогам проектно-документації, будівельних норм і стандартів; покращить якість проектів, забезпечить надійність та конструктивну безпеку автомобільних доріг і штучних споруд на них у процесі будівництва, дасть змогу більш ефективно використовувати фінансові, матеріальні та трудові ресурси, забезпечить якість дорожньо-будівельних робіт.

### Література

1. Автомобільні дороги. Інженерно-технічний супровід будівництва об'єктів дорожнього господарства: СОУ 42.1-37641918-087:2019. – [Чинний з 2019-04-01]. – Київ: Державне агентство автомобільних доріг України, 2019. – 142 с. (Стандарт організації України).
2. Склад та зміст проектно-документації на будівництво: ДБН А.2.2-3:2014. – [Чинний з 2014-10-01]. – Київ: Мінрегіон України, 2014. – 31 с. (Державні будівельні норми України).
3. Організація будівельного виробництва: ДБН А.3.1-5:2016. – [Чинний з 2017-01-01]. – Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлового господарства України, 2016. – 51 с. (Державні будівельні норми України).
4. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво: ДБН В.2.3-4:2015. – [Чинний з 2016-04-01]. – Київ: Мінрегіон України, 2015. – 112 с. (Державні будівельні норми України).
5. Вулиці та дороги населених пунктів: ДБН В.2.3-5:2018. – [Чинний з 2018-09-01]. – Київ: Мінрегіон, 2018. – 61 с. (Державні будівельні норми України).
6. Наказ Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) «Про прийняття СОУ 42.1-37641918-087:2019». – Текст. дані. – Київ, 2019. – Режим доступу: [http://document.ua/projrijattja-sou-42\\_1-37641918-087-2019-doc382975.html](http://document.ua/projrijattja-sou-42_1-37641918-087-2019-doc382975.html)
7. Постанова Кабінету Міністрів України «Питання прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів», від 13.04.2011 № 461. [Електронний ресурс] / Кабінет Міністрів України: [сайт]. – Текст. дані. – Київ, 2019. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/461-2011-%D0%BF>
8. Настанова щодо проведення авторського нагляду за будівництвом: ДСТУ-Н Б А.2.2-11:2014. – [Чинний з 2015-07-01]. – Київ: Мінрегіон України, 2015. – 12 с. (Національний стандарт України)
9. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження вимог щодо проведення контролю якості робіт з нового будівництва, реконструкції та капітального ремонту автомобільних доріг загального користування», від 28.12.2016 № 1065. [Електронний ресурс] / Кабінет Міністрів України: [сайт]. – Текст. дані. – Київ, 2019. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1065-2016-%D0%BF>
10. Постанова Кабінету Міністрів України «Про авторський та технічний нагляд під час будівництва об'єкта архітектури», від 11.07.2007 № 903 [Електронний ресурс] / Кабінет Міністрів України: [сайт]. – Текст. дані. – Київ, 2019. – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/npas/85861630>
11. Національна стандартизація. Правила розроблення, викладання та оформлення національних нормативних документів: ДСТУ 1.5:2015 – [Чинний з 2017-02-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 65 с. (Національний стандарт України).

### References

State Roads Agency of Ukraine. (2019). SOU 42.1-37641918-087:2019 Avtomobilny dorogi. Ingenerno-technichniy suprovod budivniztva obyektiv dorozhnogo gospodarstva [SOU 42.1-37641918-087:2019 Engineering and technical support for the construction of road

facilities]. Kyiv, Standard of organization of Ukraine, 142.  
Ministry of Regional Development of Ukraine. (2014). DBN A.2.2-3:2014 Sklad ta zmist proectnoy documentazii na budivniztvo [DBN A.2.2-3:2014 Composition and content of lesing documentation for construction]. Kyiv, State building norms of Ukraine, 31.  
Ministry of Regional Development of Ukraine. (2016). DBN A.3.1-5:2016 Organizaciya budivelnogo virobniztva [DBN A.2.2-3:2014 Organization of construction production]. Kyiv, State building norms of Ukraine, 51.  
Ministry of Regional Development of Ukraine. (2015). DBN B.2.3-4:2015 Avtomobilni dorogi. Chastina [DBN B.2.3-4:2015 Roads. Part I. Designing. Part II. Construction]. Kyiv, State building norms of Ukraine, 112.  
Ministry of Regional Development of Ukraine. (2018). DBN B.2.3-5:2018 Vulizi ta dorogi naselenich punctiv [DBN B.2.3-5:2018 Streets and roads of settlements]. Kyiv, State building norms of Ukraine, 61.  
Order of the State road Agency of Ukraine (Ukravtodor) Pro priinyatya SOU 42.1-37641918-087:2019. Kyiv. Retrieved from [http://document.ua/pro-priinjattja-sou-42\\_1-37641918-087-2019-doc382975.html](http://document.ua/pro-priinjattja-sou-42_1-37641918-087-2019-doc382975.html)  
Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated April 13, 2011 No. 461 Pitanya priinyatya v ecspluataziyu zakinchenykh budivniztvom obyektiv [Issues of commissioning of objects completed by construction]. Kyiv. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/461-2011-%D0%BF>

Ministry of Regional Development of Ukraine. (2015). DSTU-NB A.2.2-11:2014 Nastanova chodo provedenya avtorskogo naglyadu za budivniztvom [DSTU-NB A.2.2-11:2014 Guideline for carrying out authors supervision]. Kyiv, National standard of Ukraine, 12.  
Cabinet of Ministers of Ukraine. (2019). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated December 28, 2016 No. 1065. Pro zatverdchenya vimog zodo provedenya controlyu yakosti robot z novogo budivniztva, reconstruczii ta kapitalnogo remontu avtomobilnykh dorig zagal'nogo coristuvanya. [On approval of requirements for quality control of works on new construction, reconstruction and overhaul of public roads]. Kyiv. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1065-2016-%D0%BF>  
Cabinet of Ministers of Ukraine. (2019). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated July 11, 2007 No. 903. Pro avtorskiy ta technichniy naglyad pid chas budivniztva obyecta architetury. [On autors and technical supervision during the construction of an architectural object]. Kyiv. Retrieved from <https://www.kmu.gov.ua/npas/85861630>  
DP "UkrNDNC". (2016). DSTU 1.5:2015 Nazionalna standartizatiya. Pravila rozroblenya, vikladenya ta oformlenya nazionalnykh normativnykh documentiv. [DSTU 1.5:2015 National standardization. Rules of development, teaching and design of national regulations]. Kyiv, National standard of Ukraine, 65.

А Н О Н С

## Міжнародний Виставковий Центр та XI Спеціалізована виставка ДОРТЕХЕКСПО – 2020 чекатимуть на Вас 10 - 12 листопада

Світ виходить з ізоляції, сподіваємось, вже незабаром ми повернемося до звичного ритму діяльності. Тож саме нині виставкова індустрія набуває особливого значення, організовуючи «живі» заходи для всіх суб'єктів ринку та економіки. Адже виставки – найкоротший шлях до відновлення призупинених контактів між компаніями, їх клієнтами та партнерами.

Участь у виставкових заходах дає можливість як найшвидше відновити/розгорнути нові продажі, налагодити або відновити зв'язки, повернути робочі місця, вийти на прибуток.

Спеціалізовані експозиції виставок «КомунТех» та «ДорТехЕкспо» з кожним роком стають все більш насиченими і створюють масштабний демонстраційний майданчик, де можна отримати повну інформацію про всі ланки, необхідні для розбудови українських громад: від найновіших тенденцій для модернізації міської інфраструктури, благоустрою, освітлення вулиць до раціонального комплексного управління відходами тощо.

За матеріалами [www.iec-expo.com.ua](http://www.iec-expo.com.ua)



# ОНЛАЙН-МАРАФОН: СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЄКТУВАННЯ ТА БУДІВНИЦТВА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

11 червня відбувся мабуть наймасштабніший онлайн-семінар від початку 2020 року, організований для фахівців дорожньої галузі УКРАВТОДОРОМ та ДП «ДерждорНДІ».

«Сучасні підходи до проектування та будівництва автомобільних доріг» – мейнстрім заходу та назва семінару.

Захід впевнено набув статусу міжнародного, адже доповіді лунали не лише від представників нашої країни, а й Німеччини, Кореї, Польщі та Білорусі. Понад 300 учасників стежили з моніторів своїх гаджетів за перебігом події. 40 доповідачів презентували свої наробки та інновації у сфері проектування та будівництва автодоріг.

- Семінар було поділено за такими секціями:
- Стратегічні питання розвитку дорожньої галузі;
- Бітум та асфальтобетон;
- Цемент та цементобетон;
- Інші прогресивні матеріали;
- Транспортні споруди;
- Безпека дорожнього руху;

## Сучасні підходи до проектування та будівництва автомобільних доріг



- Сучасні тенденції в проектуванні доріг. 9 годин 15 хвилин неперервного стріму онлайн-марафону дали змогу учасникам дізнатися про таке:
  - сучасні новації в законодавчих і нормативних документах з проектування та будівництва автомобільних доріг, зокрема із заходів безпеки руху;



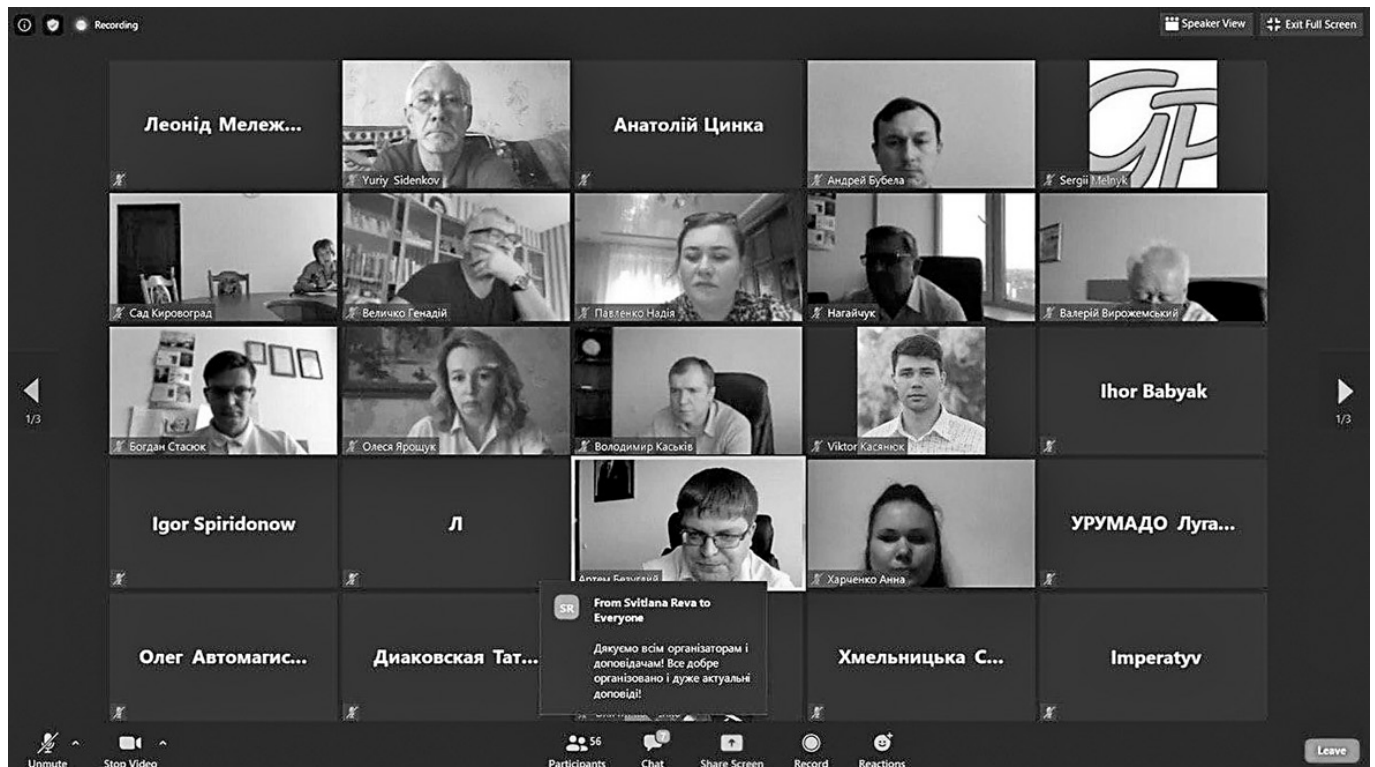
- критерії для оптимального вибору марки бітуму під час проектування конструкції дорожнього одягу;
- можливості сучасних добавок для стабілізації ґрунтової основи та модифікації бітумів; практичні поради під час застосування переважувачів асфальтобетонної суміші;
- варіанти посилення існуючого асфальтобетонного покриття цементобетоном, зокрема укочуванним;
- можливості застосування відходів промисловості у дорожньому будівництві; сучасні матеріали для армування та гідроізоляції бетонних конструкцій мостів, а також інженерного облаштування на штучних спорудах;
- доцільність встановлення різних типів бар'єрного огороження на автомобільних дорогах загального користування та у містах;
- сучасні європейські рішення для підвищення безпеки руху на автомобільних дорогах (пластикові стримувальні стовпи та різнокольорове бар'єрне огороження);
- необхідність використання та можливості сучасних інформаційних баз для обробки та зберігання даних (BIM, CREDO, АЕСУМ);
- важливість проектування біопереходів;
- сучасні тенденції у проектуванні водовідведення;

- можливості застосування біоенергетичної верби, силових установок для перетворення вітрової енергії в електричний струм тощо.

Серед основних тем були розглянуті:

- останні законодавчі та нормативні новації в дорожній галузі;
- оновлені сучасні будівельні норми з урахуванням кращих світових практик;
- презентація нових матеріалів і технологій, що забезпечують високу якість та довговічність дорожніх та мостових конструкцій;
- дороги з цементобетонним покриттям, презентація технологій «укочуваного бетону» та Whitetopping;
- застосування відходів промисловості в дорожньому будівництві (металургійних шлаків і золошлаків); сучасні рішення із безпеки руху та багато іншого.

Загалом учасники семінару залишилися дуже задоволеними отриманим досвідом та набутими знаннями. Організатори ж своєю чергою обіцяють час від часу повторювати подібні онлайн-марафони. Адже в сучасних реаліях це надзвичайно мобільна форма обміну інформацією з перших вуст, отримання ділових контактів, змога налагодження нових партнерських зв'язків та запуску проектів.



# АВТОМОБІЛІ ДЛЯ ДОРОЖНЬОГО БУДІВНИЦТВА З КОРЕЇ



Станом на сьогодні Республіка Корея входить до першої п'ятірки Світових Автовиробників.

Основним корейським виробником автомобілів для роботи в складних дорожніх умовах є компанія DAEWOO TRUCKS. Ця перевага стала можлива завдяки тому, що основними ринками збуту автомобілів є країни Африки, Азії та Південної Америки, а вони, як відомо, мають слабкорозвинуту дорожню мережу.

У Республіці Корея в сегменті будівництва доріг і видобувній промисловості використовують вантажні автомобілі Daewoo різного призначення.



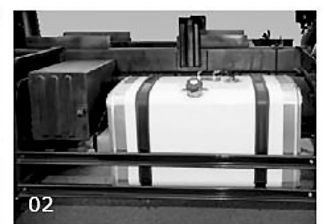
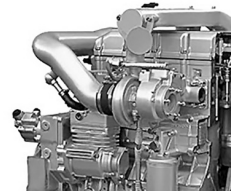
Переваги конструктивних особливостей:

- допустима конструктивна вантажопідйомність автомобілів, що більше ніж втричі перевищує власну масу автомобіля;
- це спеціальна конструкція підсиленої рами, виготовленої з спеціального сплаву;
- надійні та потужні двигуни компанії Doosan,



що спеціалізується в сегменті виробника двигунів для спеціальної техніки, екскаваторів та танків;

- мости з колісними редукторами та блокуванням міжосьових і міжколісних диференціалів, які поліпшують позашляхові характеристики та кліренс автомобілів.



- зручний та ергономічний дизайн кабіни, що забезпечує відмінну оглядовість, а також дає змогу проводити мийку та прибирання;



- ківш самоскида завдяки вдалій конструкції та використанню дорогих видів сталі має за низької ваги надвисоку міцність.

Завдяки переліченим особливостям автомо-





білі без зауважень працюють у складних умовах гірської місцевості Кореї, завантажені автомобілі долають підйом бездоріжжям до 60 % (такі ж значення прохідності, як і для автомобілів військового призначення).

Самоскиди представлені в сегментах 6x4 та 8x4, рідше 4x2.

Сідельні тягачі DAEWOO для буксирування великогазових та негабаритних вантажів повною масою до 100 т мають колісну формулу бхб.



Спеціальні автомобілі (автомобільні цистерни, кранові установки, бетонососи, міксери та краново-маніпуляторні установки) випускаються з колісними формулами 8x4, 10x4 та навіть 12x4.

Офіційний дистриб'ютор Daewoo Truck в Україні ТОВ «АВТО-РЕГІОН» представляє в Україні повний модельний ряд автомобілів різного призначення, зокрема зі змонтованим обладнанням всесвітньо відомих Корейських Компаній Horyong, Reetech та інших.

Вантажні автомобілі Daewoo за надійністю та функціональністю не поступаються світовим лідерам автопрому, але завдяки вдалим конструктивним рішенням та масовому

виробництву автомобілів, мають набагато конкурентнішу ціну. Офіційний дистриб'ютор ТОВ «АВТО-РЕГІОН» впевнений, що вантажна спеціальна техніка Daewoo-Trucks буде користуватися великим попитом на українському ринку.

ТОВ «АВТО-РЕГІОН» було засновано в 2004 році, за цей період зарекомендувала себе як ком-



панія, що динамічно розвивається, пропонує клієнтам готові рішення для бізнесу, швидко реагує на зміну потреб ринку та завжди виконує свої зобов'язання перед замовником. Компанія виконує значні обсяги поставки автомобілів за тендерами для державних та комерційних підприємств, а також для Міністерства оборони на МВС.

Завдяки партнерській підтримці виробників ТОВ «АВТО-РЕГІОН» забезпечує контроль технічного стану та цілодобову сервісну підтримку проданих автомобілів.

Клієнтам пропонуються різні форми оплати, придбання в кредит і лізинг вантажної техніки, комерційних автомобілів, спеціальних автомобілів та обладнання. Фінансові програми розроблені для державних і приватних компаній. Фінансування здійснюється в рамках існуючих партнерських програм із провідними банками, лізинговими компаніями та фінансовими групами України

До слова, ТОВ «АВТО-РЕГІОН» – ексклюзивний дистриб'ютор та офіційний представник на території України спеціалізованого обладнання від провідних світових виробників, а саме:

- DAEWOO TRUCKS Commercial Vehicle Co., Ltd - самоскиди, тягачі, вантажні універсальні шасі, повнопривідні версії вантажних автомобілів 4x4 та бхб (Республіка Корея);
- HORYONG Co., Ltd. – автогідропідіймачі від 18 м до 90 м, бетоно-насосні станції та міксери (Республіка Корея);
- Titan Manufacturing Inc. – машини для нанесення дорожньої розмітки (Турецька Республіка, США);
- Retech Co. Ltd – виробник №1 спеціальних машин для дорожнього господарства в Південній Кореї;
- Ustun El Ekip Makina Tic. Ltd. – дорожньо-підмільне обладнання (Турецька Республіка);
- EFE Industries – комунальне обладнання, напівпричепи, трали (Турецька Республіка).



+38 067 577 88 88

Ексклюзивний дистриб'ютор автомобільної техніки  
Daewoo Trucks на території України

autoregion.com.ua  
autoregion@ukr.net