

УДК 625.70

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.92.2.17

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ ПРИ РЕМОНТІ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ ІСНУЮЧИХ ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ ПОКРИТТІВ, ЗРУЙНОВАНИХ ВІБРОРЕЗОНАНСНИМ МЕТОДОМ НА СЛАБКІХ ОСНОВАХ

Гамеляк І.П.¹, Райковський В.Ф.²

¹ Національний транспортний університет, ² ДП «ДерждорНДі»

***Анотація.** Ремонт і реконструкція існуючих цементобетонних покриттів жорстких дорожніх одягів мають виконуватися за результатами оцінки стану покриття, оцінки їх придатності в якості основи під нові шари і особливо у разі посилення асфальтобетонними шарами. У статті наведено методу визначення фактичного загального модуля пружності дорожнього одягу, за допомогою статичного та динамічного штампного обладнання, та оцінку результатів вимірювання модуля деформації та пружності бетонної основи при різних проходах віброрезонатора для прийняття рішення про метод ремонту. Зроблено висновок, що при слабкій основі віброрезонансний метод не придатний і повинно використовуватися зняття напружень за мінімальної кількості проходів руйнуючого обладнання.*

***Ключові слова:** ремонт жорсткого дорожнього одягу, віброрезонансний метод, щепенування, модуль деформації, модуль пружності.*

Вступ

Існують такі методи при ремонті та посиленні існуючих ЦБ покриттів [1–5]:

- ремонт тріщин та використанням бетонного шару в якості основи;
- зняття напружень з використання гільйотини або обладнання типу багатомолоткових установок і динамічного катка Імпактор;
- віброрезонансне руйнування (пазлювання, або щепенування на місці);
- фрезерування;
- розбирання бетоноломами та заміна зруйнованого шару.

При обґрунтуванні методу обробки існуючого цементобетонного шару й використанні доцільності того чи іншого методу мають використовуватися експериментальні та неруйнуючі методи оцінки стану покриття.

Дане питання надзвичайно важливе, оскільки існуюча практика в Україні є обмеженою. А необґрунтоване використання при ремонті, наприклад, автодороги Кіпті–Глухів – Бачівськ призвело до того, що в загальній вартості ремонту вартість віброрезонансного руйнування існуючого цементобетонного покриття на слабкій основі досягла 25 %. На цій же дорозі після науково-технічного супроводу підтверджено початкове рішення авторів стосовно ремонту з використанням геосинтетичних матеріалів, без руйнування бетонної основи на слабких ґрунтах [3]. Дорога протягом останніх 10 років експлуатації знаходиться у нормальному експлуатаційному стані.

Однак історія нічому не вчить, і в силу незрозумілих причин експериментально обґрунтоване рішення знову і знову замінюється спробами руйнування бетону, чому присвячена дана стаття.

Аналіз публікацій

Через кілька років після влаштування асфальтобетонного покриття поверх існуючого цементобетонного покриття можуть проявитись відображені тріщини, які виникають, коли наявні тріщини в шарі бетону відбиваються вгору в шар покриття. Одним із методів запобігання відображенню тріщин є зняття напружень у шарі бетону (деструктуризація) за допомогою машин та механізмів, що перетворюють існуючий шар цементобетонного покриття в щепеневий шар.

Дефрагментована бетонна плита перетворюється у структурний шар із часток розміром від 0,14 до 7,5 см заповнювача поблизу поверхні та часток розміром від 10 до 30 см заповнювача біля основи. Цей процес не вимагає нових матеріалів, не потребує розбирання та дозволяє продовжувати виконувати технологічні операції з влаштування наступних шарів дорожнього одягу, оскільки не потребує видалення старого бетону. Цей метод широко застосовується у країнах Європи та Сполучених Штатах Америки, а Вісконсін є одним із кількох штатів, які широко застосовували деструктуризацію з 1988 року та виконали близько 80 проєктів [1, 2].

Мета і постановка завдання

Хоча багато дорожніх агентств продовжують використовувати деструктуризацію, та на сьогодні відсутні чіткі рекомендації, які можуть вплинути на продуктивність, або відповідні проєктні параметри для використання цієї технології. Технічні характеристики WisDOT містять вказівки щодо допустимих максимальних розмірів частинок, але рішення на практиці залишаються на розсуд інженерів. Жодні задокументовані дослідження не співвідносять розподіл розміру частинок з робочими характеристиками шару, а також не існує вказівок, які допоможуть інженерам проаналізувати очікувані переваги деструктуризації на певній ділянці. Не маючи цієї інформації, інженери можуть відмовитись від проєкту деструктуризації, коли це може бути перспективним, і можуть обрати його, коли це є недоречним.

Дослідження має за мету заповнити прогалини в даних та керівних принципах проєктування деструктуризованих дорожніх покриттів. Під час проведення досліджень необхідно:

- задокументувати історичну інформацію та дані про проєкти деструктуризації, що вже побудовані;
- розробити керівні принципи щодо вибору, проєктування, випробування та будівництва деструктуризованих цементобетонних плит;
- визначити умови, за яких деструктуризація є можливою для відновлення дорожніх покриттів.

Методологія. Використовуючи дані системи управління дорожнім покриттям WisDOT, наявних будівельних записів та інтерв'ю з будівельниками автодоріг, створено історичний каталог проєктів деструктуризації та проаналізовано ефективність проєктів [2].

Результати. За результатами досліджень встановлено, що влаштовані шари покриття з ЦМА на деструктуризованому цементобетонному шарі у Вісконсіні добре працюють, відповідають або перевищують їх проєктні параметри та забезпечують термін експлуатації. Вік структури покриття та товщина влаштованого асфальтобетонного шару є вагомим фактором, що впливає на експлуатаційні характеристики. Дослідники рекомендують WisDOT продовжувати використовувати деструктуризований шар і шар покриття з ЦМА. На основі вище наведених даних розроблено посібник із проєктування та бу-

дівництва деструктуризованих покриттів, які WisDOT можуть включатись до Посібника з розвитку об'єктів [2].

Конкретні висновки та рекомендації включають висновок: технологія щебенування не використовується за товщини бетонної плити менше 23 см за наявності слабких ґрунтів та на перезволоженій основі.

Проєкти, побудовані після 1998 року, виконані навіть краще, ніж проєкти, побудовані до того; ці об'єкти дослідники приписують до методик з їх використанням у методі проєктування Суперпейв, в тому числі якості в'язучого, і збільшення товщини влаштованих вище шарів дорожнього одягу з використанням гарячих асфальтобетонних сумішей.

В Україні питання забезпечення надійності під час ремонту з використанням цементобетонного покриття в якості основи розглянуто в роботі [3]. Теоретичні основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу наведено в роботі [4].

Теоретичне обґрунтування

Збір даних для оцінювання бетонного покриття дозволяє проаналізувати проєкт на предмет придатності до щебенування. Виконання наступних кроків дозволяє зробити це визначення (Sebesta і Scullion, 2007): Оцінити дані визначення динамічного пробивання конусом DCP, Каліфорнійського числа несної здатності CBR (або модуля пружності на поверхні основи під існуючим бетонним покриттям ($E_{осн}$), використовуючи діаграми вибору методу щебенування IDOT (показана на рис. 1) наступним чином:

- Нанести товщину бетону проти CBR основи. Ці дані використовуються для того, щоб визначити, чи буде бетон розбиватися, оскільки достатня несна здатність основи під плитою має вирішальне значення для задовільного руйнування та роботи основи в подальшому.

- Нанести комбіновану товщину бетону та основи проти CBR підоснови. Використовуйте «фіктивний» шар основи товщиною не менше 15 см (6 дюймів), якщо дані DCP не розрізняють базовий рівень. Ці дані використовуються для оцінки того, чи може основа під існуючим покриттям витримувати навантаження від будівельної техніки після щебенування.

- Високий ризик щебенування повинен переводити до помірного ризику тріщини та просідання, а помірний ризик для щебенування повинен переходити до низького ризи-

ку тріщин та просідання (а також обломів, тріщиноутворення та просідання).

Для визначення модуля пружності ґрунту в залежності від CBR використовуються апроксимуючі залежності

$$E_{cp} = 10,34214 \cdot CBR,$$

при $0,5 < CBR < 4,39$. (1)

$E_{cp} = 17,6161 \cdot CBR^{0,64}$, при $CBR > 4,39$, де CBR приведено в %.

Після перерахунку з використанням формули (1) отримано модифіковану діаграму вибору методу щебенування (рис. 2).

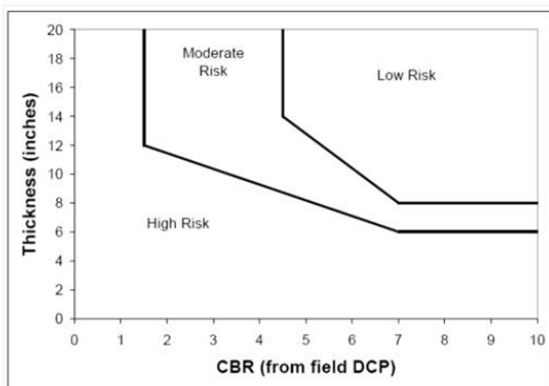


Рис. 1. Діаграма вибору щебенування IDOT, запропонована ГПІ-ТхDOT (Sebesta and Scullion, 2007)

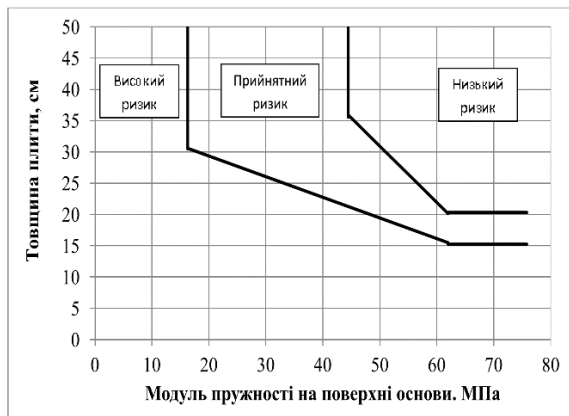


Рис. 2. Модифікована діаграма вибору щебенування (деструктуризації)

Основна частина

У процесі виконання робіт з науково-технічного супроводу будівництва автомобільної дороги Н-32 Покровськ – Бахмут – Михайлівка на ділянці км 16+800 – км 31+000 виникла необхідність у корегуванні проектних рішень запроєктованих конструкцій дорожнього одягу, передбачених проектом. Необхідність корегування обумовлена

наявністю родючих ґрунтів I та II групи (чорнозем оброблений дьогтем із середньою товщею до 1,5 м), які мають низьку несну здатність – 12 МПа.

У ході робіт були виконані наступні дослідження:

1. Виконано роботи з шурфування від поверхні корита під дорожній одяг у зоні розширення:

- на ПК 308+00 (праворуч): дьогтеґрунт – 1,10 м; суглинок важкий пілуватий;
- на ПК 301+00 (праворуч): дьогтеґрунт – 1,00 м; суглинок важкий пілуватий;
- на ПК 301+00 (ліворуч): дьогтеґрунт – 1,20 м; суглинок важкий пілуватий.

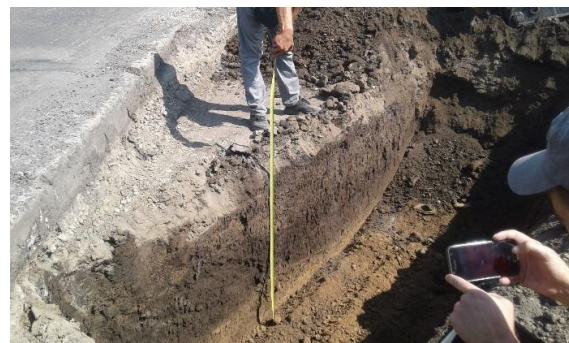


Рис. 3. Шурфування земляного полотна у зонах розширення



Рис. 4. Робота віброрезонансного бетонолому RB-500 по бетонних плитах

2. Визначено модулі деформації земляного полотна на відстані 10–20 см від краю цементобетонної плини становить в межах 13–64 МПа (середнє значення 28 МПа), а на відстані 1,0 м модуль пружності становить 5–92 МПа (середнє значення 47 МПа).

3. Визначено схему та необхідну кількість проходів віброрезонансного бетонолому RB-500 по плитах з наступним визначенням модуля деформації на поверхні зруйнованого покриття. Найбільш оптимальною схемою руйнування плит є проходження віброрезонансного бетонолому на відстанях 0,5 м від

крайок плити та по центру плити (0,5–1,25–0,5 м). За даної схеми досягається максимальна несна здатність шару, фактичний модуль пружності знаходиться в межах 38–61 МПа (рис. 6).

4. Визначено модулі деформації (статичний та динамічний) на поверхнях існуючого цементобетонного покриття після зняття внутрішнього напруження. Результати наведено на рис. 5 та у табл. 1–2.



Рис. 5. Стан бетонного покриття після віброрезонансного бетонолома RB-500



Рис. 6. Визначення модуля пружності на поверхні покриття

5. Запропоновано скореговану конструкцію дорожнього одягу із застосуванням армуючого геосинтетичного матеріалу (рис. 7).

6. Встановлено існуючі модулі деформації (статичний та динамічний) на поверхнях існуючого цементобетонного покриття після зняття напруги та влаштування на його поверхні вирівнюючого шару із суміші ЦПС С 13. Результати порівняння даних наведено у табл. 1–2.

Епотр=263		Езг МПа	Запас міцності Кмц=1.59
5.0	ЩМА-20 на бітумі БМКП 60/90-65	E = 2700 E _p = 3700	339
12.0	Асфальтобетон АСГ Кр.Щ.А1.НП.І. на бітумі БМКП 60/90-65	E = 5000 E _p = 5500	158 3,455 МПа Кмц=2.54 +49%
17.0	ЩПС-20, оброблена цементом, марки М 20	E = 400 R _и = 0.50	92 0,500 МПа Кмц=3.36 +61%
21.0	Щебенево-піщана суміш С5	E = 350	0,149 МПа
	Геотратка з міцністю на розтяг 90 кН/м та відносним вилляженням не більше 12 %		38
	Модуль пружності на поверхні зруйнованого цементобетонного покриття	E = 38	

E, C, R - МПа; F -

Рис. 7. Конструкція дорожнього одягу основного проїзду



Рис. 8. Загальний вигляд зруйнованих цементобетонних плит із влаштуванням вирівнюючим шаром ЦПС С 13 на тестових ділянках

Таблиця 1 – Результати визначення динамічного модуля пружності на автомобільній дорозі Н-32 Покровськ – Бахмут – Михайлівка на ділянці км 16+800 – км 31+000 після відборезонансного руйнування на існуючому цементобетонному покритті із влаштованим вирівнюючим шаром ЩПС С 13

Ч.ч.	Місце визначення ПК+	Кількість проходів бетонолома	Динамічний модуль пружності, МПа	
			зруйнована цементобетонна плита	зруйнована цементобетонна плита + вирівнюючий шар із ЩПС С 13 (5 проходів катка)
1	ПК 271+55 (ліворуч, 2 смуга)	11	(44)	(33)
2	ПК 271+55 (ліворуч, 1 смуга)	6	23	63
3	ПК 271+35 (ліворуч, 1 смуга)	4	32	32
5	ПК 270+80 (ліворуч, 1 смуга)	3	34	82
6	ПК 270+40 (ліворуч, 1 смуга)	3 з кроком 0,5-1,25-0,5м	77	100
7	ПК 270+30 (ліворуч, 1 смуга)	3 з кроком 0,5-1,25-0,5м	47	73

Таблиця 2 – Результати визначення статичного модуля пружності на автомобільній дорозі Н-32 Покровськ – Бахмут – Михайлівка на ділянці км 16+800 – км 31+000 після відборезонансного руйнування на існуючому цементобетонному покритті із влаштованим вирівнюючим шаром ЩПС С 13

Ч.ч.	Місце визначення ПК+	Кількість проходів бетонолома	Статичний модуль пружності, МПа	
			зруйнована цементобетонна плита	зруйнована цементобетонна плита + вирівнюючий шар із ЩПС С 13 (5 проходів катка)
1	ПК 271+55 (ліворуч, 2 смуга)	11	19	28
2	ПК 271+55 (ліворуч, 1 смуга)	6	-	40
3	ПК 271+35 (ліворуч, 1 смуга)	4	-	40
5	ПК 270+80 (ліворуч, 1 смуга)	3	61	107
6	ПК 270+40 (ліворуч, 1 смуга)	3 з кроком 0,5-1,25-0,5м	87	60
7	ПК 270+30 (ліворуч, 1 смуга)	3 з кроком 0,5-1,25-0,5м	38	60

Примітка. Розрахунковий модуль пружності запропонованої конструкції на поверхні вирівнюючого шару з ЩПС С 13, 38 МПа.

Середній модуль пружності на поверхні шару ЩПС С 13, згідно прийнятої схеми руйнування плит, три проходи бетонолому з кроком (0,5-1,25-0,5 м), становить 60 МПа та відповідає розрахункову значенню.

Враховуючи, що товщина бетонної плити становить 20 см, для прийняттого ризику щепенування модуль пружності основи під існуючим бетонним покриттям має бути від 48 МПа до 62 МПа (рис. 9).

Якщо всі точки даних потрапляють у зони, які вказують на щепенування, то, з високою ймовірністю, проєкт повинен бути придатним для щепенування.

Якщо деякі, але не всі, точки даних потрапляють у зону з високим рівнем ризику, певні частини проєкту можуть бути непридатними для щепенування.

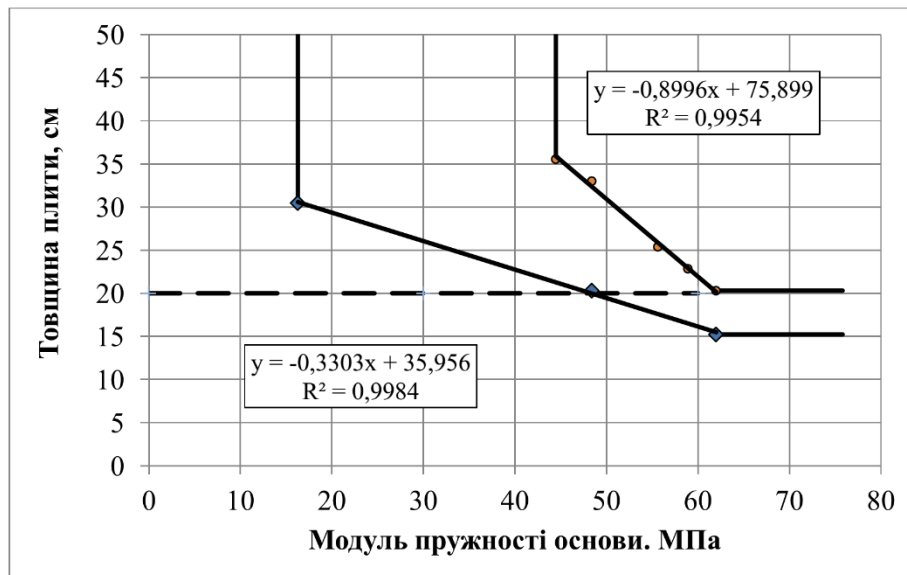


Рис. 9. Визначення необхідного модуля пружності основи для вибору щебенування

Якщо всі точки даних потрапляють у зону високого ризику діаграми, слід врахувати інші способи реабілітації, ніж щебенування (розробка швів та герметизація тріщин, зняття напружень з розбивкою на блоки та ущільнення (осадження плит) тощо).

Зазвичай ці випадки зустрічаються на старих бетонних покриттях, де немає або недостатня несна здатність основи, або слабкий ґрунт.

Наприклад, для товщини плити 15 см, на слабкій основі, яка погано дренає, проблеми почалися по центру при щебенуванні навіть без періоду випадіння опадів та замочування основи.

Оскільки за результатами визначення модуля пружності ДерждорНДІ модуль основи менший навіть у сухий період, і ще буде зменшуватися в розрахунковий період або у разі замочування основи при опадах, метод щебенування не забезпечує необхідного прийняттого ризику.

Висновки

1. На сьогодні в Україні відсутній нормативний документ щодо оцінки стану покриття для прийняття рішення про посилення чи ремонт з урахуванням несної здатності основи та її деструктуризації.
2. За кордоном такі документи чітко регламентують стан існуючого цементобетонного покриття і заходи з його руйнування чи посилення при ремонті асфальтобетонними шарами чи посиленні новими шарами.
3. Виконано експериментальні дослідження з визначення модуля пружності та

модуля деформації, які показали, що при 11 проходах віброрезонатора модуль зруйнованого шару практично не відрізняється від модуля слабкої основи.

4. За результатами вимірювань після різної кількості проходів віброрезонатора прийнято рішення про мінімальну кількість проходів (не більше 3) для забезпечення несної здатності цементобетонного покриття на рівні 42–60 МПа, що забезпечує раціональну несну здатність для забезпечення надійності дорожнього одягу після ремонту на рівні нормативних вимог.

5. Необхідно розробити Методичні рекомендації з оцінки стану цементобетонного покриття в якості основи при ремонті та реконструкції автомобільних доріг і внести відповідні зміни в ДБН В.2.3-4:2015, залежно від методу обробки бетонної основи (ремонт та заповнення тріщин, зняття напружень (гільйотина), щебенування (віброрезонансний метод)) тощо.

Література

1. James McDonnell, WisDOT Research and Communication Services Project 0092-05-07, "Guidance, Parameters, and Recommendations for Rubblized Pavements," produced through the Wisconsin Highway Research Program for the Wisconsin Department of Transportation Research Program, 4802 Sheboygan Ave., Madison, WI 53707.
2. Guidelines for evaluation of existing pavements for hma overlay FHWA/TX-07/0-5123-2 Technical Report: September 2005-August 2006. P. <http://tti.tamu.edu/documents/0-5123-2.pdf>.

3. Гамеляк І.П., Даценко В.М. - Забезпечення надійності конструкції дорожнього одягу за несною здатністю при капітальному ремонті та реконструкції. - Автошляховик України, 2015. - - irbis-nbuv.gov.ua.
4. Гамеляк І.П. Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу: Автореферат дисертації на здобуття вченого ступеня д-ра техн. наук : 05.22.11 / І.П.Гамеляк; М-во освіти і науки України, Нац. Транспортний ун-т. - Київ, 2005. - 33 с.
5. ТТИ-ТхDOT. (Sebesta and Scullion, 2007).
6. ДСТУ Б В.2.3-42:2016 Автомобільні дороги. Методи визначення деформаційних характеристик земляного полотна та дорожнього одягу.

References

1. James McDonnell, WisDOT Research and Communication Services Project 0092-05-07, "Guidance, Parameters, and Recommendations for Rubblized Pavements," produced through the Wisconsin Highway Research Program for the Wisconsin Department of Transportation Research Program, 4802 Sheboygan Ave., Madison, WI 53707.
 2. Guidelines for evaluation of existing pavements for hma overlay FHWA/TX-07/0-5123-2 Technical Report: September 2005-August 2006. R. <http://tti.tamu.edu/documents/0-5123-2.pdf>.
 3. Gamelyak I.P., Daczenko V.M. - Zabezpechennya nadijnosti konstrukciyi dorozhnogo odyagu za nesnoyu zdatnistyu pri kapi'tal'nomu remontu ta rekonstrukciyi. - Avtoshlyakhovik Ukrayini, 2015. - irbis-nbuv.gov.ua.
 4. Gamelyak I.P. Osnovi zabezpechennya nadijnosti konstrukciyj dorozhnogo odyagu: Avtoreferat disertaciyi na zdobuttya vchenogo stupenya d-ra tekhn. nauk : 05.22.11 / I.P.Gamelyak; M-vo osviti i nauki Ukrayini, Nacz. Transportnij un-t. - Kyiv, 2005. - 33 s.
 5. ТТИ-ТхDOT. (Sebesta and Scullion, 2007).
- Гамеляк Ігор Павлович**, д.т.н., проф., ORCID: 0000-0001-9246-7561, Національний транспортний університет, Київ, М. Омеляновича-Павленка 1, 01010, gip65n@gmail.com
Райковський Віталій Францевич, ORCID: 0000-0002-6391-7647, ДП «ДерждорНДІ», Київ, пр. Перемоги 57, 03113, v.raykovskiy@ukr.net
- Ensuring the reliability of pavements in the repair and reconstruction of existing cement-concrete pavements destroyed by vibroresonance on a weak basis**
Abstract. Repair and reconstruction of existing cement-concrete pavements of hard pavements should be performed based on the results of the assessment of the condition of the pavement, assessment of their suitability as a basis for new layers and especially when reinforced with asphalt concrete layers. The article presents a method of determining the actual total modulus of elasticity of pavement, using static and dynamic stamping equipment and evaluating the results of measuring the modulus of deformation and elasticity of the concrete base at different passes of the vibrating cavity to decide on the method of repair. It is concluded that with a weak base, the vibroresonance method is unsuitable and stress relief should be used with a minimum number of passes of destructive equipment.
Key words: crushing, deformation module, elasticity module, vibroresonance method, repair of rigid pavement.
- Gameliak Ihor**, d.t.s., prof., ORCID: 0000-0001-9246-7561, National Transport University, Kyiv, M. Omelyanovich-Pavlenko 1, 01010, gip65n@gmail.com
Raikovskiy Vitalii, ORCID: 0000-0002-6391-7647, DerzhdorNDI SE, Kyiv, 57 Peremohy Ave., 03113, v.raykovskiy@ukr.net