

УДК 625.7/.8

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

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Вступ**

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

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

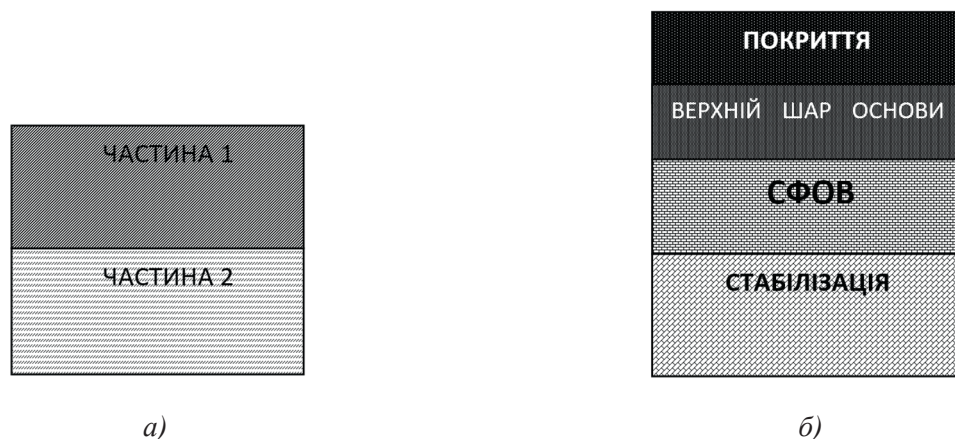
### Основна частина

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

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

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

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



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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

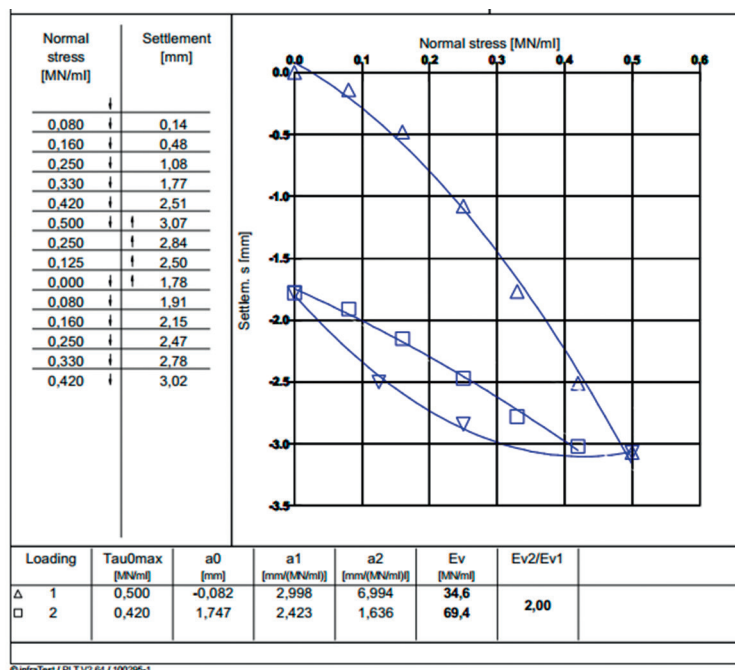
оптимізації зернового складу (за потреби), обробки суміші в'язучим з добавкою спеціальних домішок (за потреби), перемішування та ущільнення, формується конструктивний шар заданої міцності та товщини, і за рахунок цього ми забезпечуємо потрібну міцність для влаштування вище влаштованих шарів [1, 4].

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

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



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



**Рисунок 4** — Результати обробки даних штампових випробувань існуючої дорожньої основи



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

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

$$E_{\text{мат}} = 200 \text{ МПа}$$

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

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

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

Визначено, що модуль пружності ґрунту становить 25 МПа.

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

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

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

На етапі конструювання розроблено таку конструкцію дорожнього одягу:

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

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

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

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

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

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

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

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

7. Ґрунт земляного полотна з надмірним зволоженням.

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

**Таблиця 1**

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

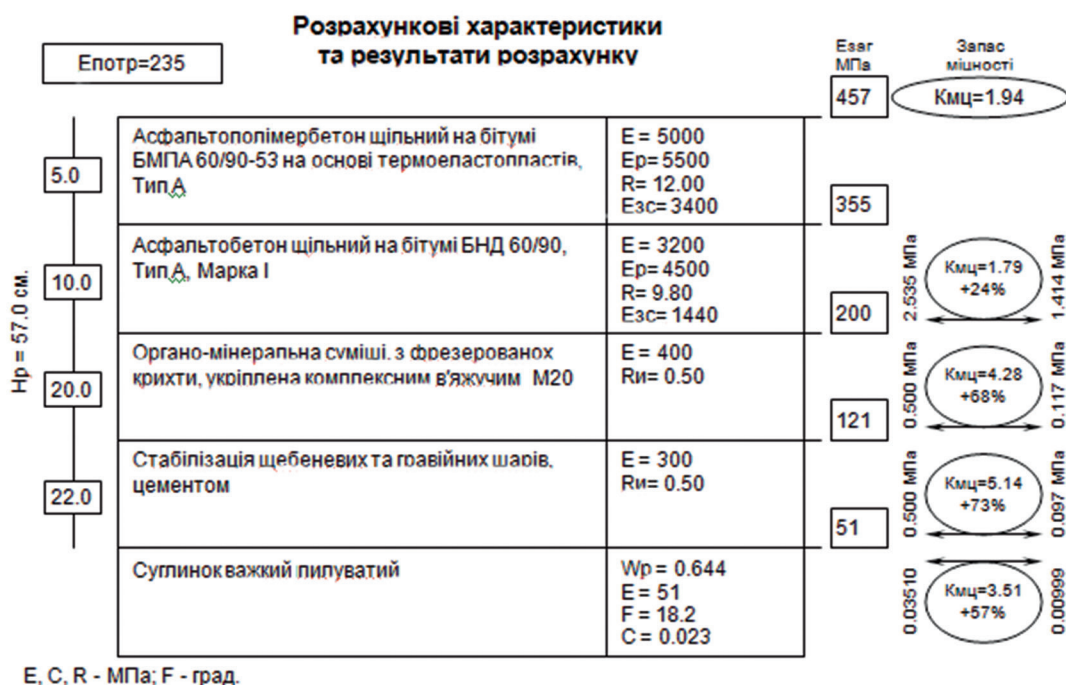
2. Асфальтобетон АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І.БНД 60/90 згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011 — 10 см.

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

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

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

5. Ґрунт земляного полотна з надмірною кількістю органічних домішок.



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

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

### Висновки

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

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

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

### Список літератури

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

### References

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



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

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

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

***Abstract***

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

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

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

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

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

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

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

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