

# АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ



УДК 625.85

© В. М. Нагайчук, канд. техн. наук, голов. наук. співроб.,

© С. І. Ілляш, завідувач відділу,

© Т. А. Терещенко, канд. хім. наук, провід. наук. співроб. (ДП «ДерждорНДІ»)

## ОСОБЛИВОСТІ ГАРЯЧОГО РЕСАЙКЛІНГУ НА ДОРОЗІ ЗІ ЗМІНОЮ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ АСФАЛЬТОБЕТОННОЇ СУМІШІ

© V. M. Nagaychuk, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Research Officer,

© S. I. Illiash, Chief of Department,

© T. A. Tereshchenko, Candidate of Chemical Sciences (Ph.D.), Senior Research Officer (SE «M. P. Shulhin State Road Research Institute»)

### PARTICULARITIES OF HOT-IN-PLACE RECYCLING WITH CHANGING OF ASPHALT CONCRETE MIXTURE AGGREGATE GRADATION

**Анотація.** Розглянуто особливості процесів гарячого ресайклінгу асфальтобетону на дорозі та питання коригування гранулометричного складу сумішей, які регенеруються. Наведено методики розрахунку та підбору гранулометричного складу з обмеженням та без обмеження максимальної товщини шару регенерованої суміші.

**Ключові слова:** гарячий ресайклінг асфальтобетону на дорозі, метод «Remix», метод «Remix Plus», регенерована асфальтобетонна суміш, коригування гранулометричного складу.

**Аннотация.** Рассмотрены особенности процессов горячего ресайклинга асфальтобетона на дороге и вопросы корректировки гранулометрического состава регенерируемых смесей. Приведены методики расчета и подбора гранулометрического состава с ограничением и без ограничения максимальной толщины слоя регенерированной смеси.

**Ключевые слова:** горячий ресайклинг асфальтобетона на дороге, метод «Remix», метод «Remix Plus», регенерированная асфальтобетонная смесь, корректировка гранулометрического состава.

**Annotation.** The hot in-place recycling (HIR) belongs to the successful strategies of asphalt concrete pavements rehabilitation that provides effective elimination of such surface defects as cracking, rutting, stripping, raveling, and bleeding including defects caused by the non-conformity of asphalt concrete to the standard specifications. The HIR technologies are divided into four methods: «Reshape», «Repave», «Remix», and «Remix Plus». Among those methods, «Remix» and «Remix Plus» are more complicated technologically and are connected with changing the composition of existed (old) asphalt concrete. The composition of existed asphalt concrete should be corrected through the addition some of new components (aggregates, asphalt binder, rejuvenating agent, or new hot-mixed asphalt concrete mixture) to the hot-milled old asphalt layer.

This article is dedicated to the methods of calculation of new and recycled aggregate mixture gradation regarding to the Ukrainian standards. The proposed methods of calculation consider such main peculiarities of HIR-recycled materials and layer design as: 1) old asphalt concrete, particularly its aggregate parts, can used in a non-fractioned form only; 2) HIR-recycled asphalt concrete layer should be designed with or



*without the maximal layer thickness restriction. The proposed methods also give the possibility to correct the technological process if the calculated amount of new material necessitated to the correction of old asphalt concrete aggregate grading does not allow to maintain the projected layer thickness.*

*The implementation of the proposed technique of calculation of aggregate grading with and without restriction of the maximal thickness of recycled asphalt concrete layer allows enhance quality of recycled materials and promotes the entire adaptation of HIR technologies to the Ukrainian standards.*

**Keywords:** hot in-place recycling of asphalt concrete, «Remix», «Remix Plus», recycled asphalt concrete mixture, correction of aggregate gradation.

### Вступ

Ефективним вирішенням проблем економії природних ресурсів є впровадження процесів ресайклінгу – повторного використання відпрацьованих матеріалів. Важливим напрямом ресурсозбереження у дорожньому будівництві є ресайклінг дорожнього асфальтобетону. Технології ресайклінгу дорожнього асфальтобетону класифікують залежно від виду і призначення робіт та діапазону технологічних температур процесів виготовлення і застосування регенерованих асфальтобетонних сумішей [1, 2].

Наявність в Україні потенційно великого обсягу робіт із ремонтів та реконструкції автомобільних доріг з асфальтобетонним покриттям дає змогу прогнозувати широке впровадження технологій ресайклінгу дорожнього асфальтобетону, зокрема гарячого ресайклінгу на дорозі, який забезпечує повне використання матеріалів зношеного асфальтобетонного покриття [3, 4].

Гарячий ресайклінг асфальтобетону на дорозі (англомовний термін «Hot In-Place Recycling», HIR) визначають як процес гарячої регенерації без зміни або зі зміною складу асфальтобетону існуючого покриття, який виконується спеціальним комплексом дорожніх машин без винесення будь-яких технологічних операцій за межі дорожньої ділянки. Гарячий ресайклінг асфальтобетону на дорозі виконують одним із методів:

- метод «Reshape»;
- метод «Repave»;
- метод «Remix»;
- метод «Remix Plus».

Методи «Reshape» та «Repave» призначені для усунення дефектів переважно на глибину (20-25) мм без зміни складу асфальтобетону існуючого покриття. Методи «Remix» та «Remix Plus» призначені для усунення дефектів існуючого покриття на глибину до 60 мм та передбачають коригування складу асфальтобетону.

Метою цієї статті є обґрунтування особливостей підбору складу гарячих регенерованих асфальтобетонних сумішей (далі – РГС) при виконанні ресайклінгу на дорозі методами «Remix» та «Remix Plus» із застосуванням нових мінеральних

матеріалів, а також опис методики розрахунку та підбору зернового складу суміші нових мінеральних матеріалів із перевіркою зернового складу РГС на відповідність нормативним вимогам.

### Основна частина

#### *Особливості процесів гарячого ресайклінгу асфальтобетону на дорозі*

Процеси гарячого ресайклінгу на дорозі застосовують для регенерації асфальтобетонних покриттів, строк служби яких не перевищує 10 років, за умов структурної цілісності та належної несучої здатності розташованих нижче шарів дорожнього одягу [5]. Виконання гарячого ресайклінгу на дорозі дає змогу ефективно усувати дефекти асфальтобетонного покриття, такі як: колійність та інші нерівності, тріщинуватість, виступання бітуму та викришування кам'яних матеріалів, а також дає змогу коригувати профіль покриття та підвищувати шорсткість поверхні.

Згідно з даними [6, 7] у процесі гарячого ресайклінгу на дорозі внаслідок розігрівання покриття асфальторозігрівачем відбувається інтенсивне старіння бітуму, що виявляється у додатковому (поряд з набутим у процесі експлуатації) зниженні показника penetрації бітуму на 20–25 % [6], а також у підвищенні верхнього значення температурного інтервалу роботи в'язучого в покритті<sup>1</sup> [7]. У зв'язку з цим при виконанні гарячого ресайклінгу на дорозі доцільним є використання регенеруючих добавок – продуктів на основі важких нафтових олів, або іншого складу, введення яких забезпечує пластифікацію вторинного бітуму [8]. Застосування регенеруючих добавок у випадках, коли властивості вторинного бітуму відповідають нормативним вимогам, є превентивним заходом.

При виконанні ресайклінгу методами «Remix» та «Remix Plus» склад асфальтобетону коригують шляхом додавання нових мінеральних матеріалів, бітуму, регенеруючої добавки, або нової асфальтобетонної суміші до гарячого розрихленого асфальтобетону існуючого покриття. Склад і кількість нових матеріалів для коригування складу та властивостей асфальтобе-

<sup>1</sup> Визначають при випробуваннях бітумного в'язучого в системі «Superpave».



тону визначають для кожного об'єкту окремо. Згідно з даними [9] відносний вміст матеріалів старого асфальтобетону в РГС, виготовлених за технологіями гарячого ресайклінгу на дорозі, становить переважно від 80 % до 100 % за масою.

*Особливості технологічних процесів зі зміною складу асфальтобетону існуючого покриття*

Процес гарячого ресайклінгу на дорозі зі зміною складу асфальтобетону складається з технологічних операцій розігрівання шару покриття, рихлення розігрітого шару, механічної переробки розрихленої суміші з додаванням нових матеріалів, укладання і ущільнення РГС. Метод «Remix Plus» передбачає також укладання на шарі РГС поверхневого (накладного) шару нової асфальтобетонної суміші з попереднім ущільненням шарів регенованої та нової суміші за один прохід [3, 4]. До обсягу робіт включають обстеження стану дорожнього одягу та випробування матеріалів, отриманих зі зразків-кernів асфальтобетонного покриття, а також підбір складу РГС.

Колона дорожніх машин для виконання гарячого ресайклінгу на дорозі складається з самохідного асфальторозігрівача інфрачервоного опромінювання панельного типу для попереднього розігрівання (або двох асфальторозігрівачів, які працюють послідовно), ресайклера, котків. Робочі вузли та агрегати в складі ресайклера дають змогу виконувати технологічні операції розігрівання, рихлення, додавання нових матеріалів, перемішування, укладання та попереднього ущільнення шару асфальтобетонної суміші.

Покриття розігрівають до температури не вище ніж 180 °С (інтервал технологічних температур становить переважно (140÷170) °С), що забезпечує необхідну глибину рихлення асфальтобетону за допомогою фрезерувального агрегату. Максимальна глибина рихлення розігрітого шару становить 60 мм.

При використанні нових мінеральних матеріалів для коригування гранулометричного складу старого асфальтобетону матеріали розподіляють із дотриманням встановлених під час підбору складу норм витрат по поверхні розігрітого шару безпосередньо перед передньою панеллю другого асфальторозігрівача. При виконанні робіт методом «Remix» розігріті нові мінеральні матеріали можуть бути введені безпосередньо до змішувального агрегату через систему подачі нової асфальтобетонної суміші реміксером (приймальний бункер, скребковий транспортер).

Залежно від обраного методу пластифікації асфальтобетонної суміші на фрезерувальний барабан через форсунку дозатора подають регенеруючу добавку або розігрітий бітум. Розрихлена суміш змішується з доданими компонентами: регенеруючою добавкою, новим бітумом або новими мінераль-

ними матеріалами; перемішування компонентів здійснюють за допомогою змішувача примусової дії в складі ресайклера. На виході зі змішувача суміш укладається та вирівнюється з дотриманням вимог щодо профілю поверхні, і ущільнюється. Попереднє ущільнення здійснюють за допомогою трамбувального бруса в складі ресайклера. Подальше ущільнення здійснюють із застосуванням гладковальцевого котка та вібраційного котка комбінованої дії. Попереднє ущільнення має бути завершеним при температурі суміші не нижчій за 105° С.

Під час виконання робіт методом «Remix plus» для укладання і вирівнювання шару нової асфальтобетонної суміші використовують додатковий розподільний шнек і трамбувальний брус із вигладжувальною плитою в складі ресайклера. Укладання накладного шару здійснюють при температурі шару РГС ~105 °С. Після розподілення обидва шари ущільнюють за допомогою вібробруса й укочують вібраційним котком і котком на пневматичних шинах.

*Особливості підбору складу асфальтобетонної суміші в технологіях гарячого ресайклінгу на дорозі*

Підбір складу РГС складається з підбору складу мінеральної частини, підбору складу бітуму – за необхідності, а також підбору складу РГС за вмістом в'язучого відповідно до стандартних вимог [10].

Підбір складу бітуму здійснюють відповідно до положень [1]. Підбір складу за вмістом добавки здійснюють з урахуванням рекомендацій виробника добавки.

Підбір складу мінеральної частини РГС складається з етапів:

- визначення втрат матеріалу в асфальтобетонному покритті – за необхідності;
- визначення складу старого асфальтобетону;
- розрахунок та підбір гранулометричного складу суміші нових мінеральних матеріалів для коригування складу старого асфальтобетону;
- перевірка підібраного гранулометричного складу РГС на відповідність вимогам [10] до матеріалів необхідного типу, виду та групи<sup>2</sup>.

Особливості підбору складу мінеральної частини РГС у технологіях гарячого ресайклінгу на дорозі полягають у застосуванні асфальтобетону існуючого покриття виключно у нефракціонованому вигляді. Також при виконанні робіт із ресайклінгу асфальтобетону на дорозі розрахункова кількість нових мінеральних матеріалів, яка за-

<sup>2</sup> У наведених прикладах розрахунків вміст нових мінеральних матеріалів визначається у відсотках від маси мінеральної частини РГС.



безпечує відповідність гранулометричного складу РГС вимогам [10] до асфальтобетону необхідного типу, виду та групи, не завжди забезпечує дотримання проектною товщини шару.

Відповідно до прийнятих проектних рішень можливі два варіанти розрахунків: з обмеженням та без обмежень максимальної товщини шару РГС.

*Приклад розрахунку з обмеженнями максимальної товщини шару регенованої суміші*

Для визначення втрат матеріалу в асфальтобетонному покритті використовують результати оцінювання стану покриття із застосуванням руйнівних методів (відбирання кернів, розкриття дорожнього одягу з визначенням товщини асфальтобетонного шару) або неруйнівних методів (підповерхневе георадарне зондування [11]). Результати визначення втрат матеріалу в покритті рекомендується наводити за формою **табл. 1**. Вихідні дані для розрахунків наведені в **табл. 2**.

Таблиця 1

Дані щодо втрат матеріалів у покритті

Показник, одиниця вимірювання	Значення показника
Проектна товщина шару асфальтобетонного покриття, Н, см	5,0
Фактична товщина шару асфальтобетонного покриття, Н <sub>ф</sub> , см	4,5
Фактична густина асфальтобетону покриття, визначена за результатами випробувань зразків-кернів, ρ, кг/м <sup>3</sup>	2353
Проектна витрата асфальтобетонної суміші, В, кг/м <sup>2</sup>	120,0
Фактичний вміст матеріалу в покритті, В <sub>ф</sub> , кг/м <sup>2</sup> ( $B_f = \frac{\rho \cdot H_f}{100}$ )	106,0
Витрата нових матеріалів для регенерації асфальтобетонного шару, В <sub>н</sub> , кг/м <sup>2</sup> ( $B_n = B - B_f$ )	17,5
Відносний вміст нових матеріалів у регенованій суміші, В <sub>нв</sub> , % за масою ( $B_{nv} = \frac{B_n \cdot 100}{B}$ )	14,6
Відносний вміст старого асфальтобетону в регенованій суміші, В <sub>фв</sub> , % за масою ( $B_{fv} = 100 - B_{nv}$ )	85,4

Таблиця 2

Зерновий склад нових мінеральних матеріалів

Найменування матеріалу	Зерновий склад у відсотках за масою, за частковим залишком на ситі з розміром вічок, мм													
	0	0,071	0,14	0,315	0,63	1,25	2,5	5	10	15	20	25	40	70
Щебінь фракції (10-20) мм	-	-	-	-	-	-	-	0,8	40,0	51,0	8,0	0,2	-	-
Щебінь фракції (5 -10) мм	-	-	-	-	-	6,5	3,5	80,0	10,0	-	-	-	-	-
Відсів дроблення гірських порід фракція (0-5) мм	9,0	8,2	14,9	15,1	12,3	16,9	17,6	5,5	0,5	-	-	-	-	-
Мінеральний порошок	81,6	10,6	5,6	1,0	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Мінеральна частина старого асфальтобетону	11,9	6,7	8,6	9,9	8,2	13,2	15,5	13,5	5,1	3,5	3,9	-	-	-

Приклад розрахунку гранулометричного складу суміші нових мінеральних матеріалів для коригування гранулометричного складу асфаль-

тобетону з обмеженням максимальної товщини шару РГС наведено в **табл. 3**.

Таблиця 3

Розрахунок гранулометричного складу суміші нових мінеральних матеріалів для виготовлення регенованої гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші тип Б із непереривчастим різновидом гранулометрії з обмеженням максимальної товщини шару РГС

Розмір вічок сита, мм	Зерновий склад мінеральної частини старого асфальтобетону, % за масою		$\Phi_{pp}, \%$ $\Phi_{pp} = \frac{\Phi_n \cdot B_{nv}}{100}$	$\Phi_{pr}, \%$	Розрахунковий зерновий склад нових мінеральних матеріалів		
	$\Phi_{ch}$	$\Phi_n$			$\Delta_{\Phi} = \Phi_{pr} - \Phi_{pp}$	$\Phi_{pr}^{*}, \%$ $\Phi_{pr}^{*} = \frac{\Delta_{\Phi}}{B_{nv}} \cdot 100$	$\Delta_n$
0	11,9						
0,071	6,7	11,9	10,2	11,0	0,8	5,5	5,5
0,14	8,6	18,6	15,9	14,5	-1,4	5,5	5,5





Продовження таблиці 3

0,315	9,9	27,2	23,2	20,5	-2,7	5,5	5,5
0,63	8,2	37,1	31,7	28,0	-3,7	5,5	5,5
1,25	13,2	45,3	38,7	36,5	-2,2	5,5	5,5
2,5	15,5	58,5	50,0	47,0	-3,0	5,5	5,5
5	13,5	74,0	63,2	60,0	-3,2	5,5	5,5
10	5,1	87,5	74,7	75,5	0,8	5,5	5,5
15	3,5	92,6	79,1	88,5	9,4	64,4	64,4
20	3,9	96,1	82,1	97,5	15,4	105,5	100,0
25	-	100,0	85,4	100,0	14,6	100,0	100,0

**Примітка.** Фч – фактичний склад мінеральної частини старого асфальтобетону за частковим залишком на ситі;

$\Phi_n$  – фактичний склад мінеральної частини старого асфальтобетону за вмістом зерен, менших даного розміру;

$\Phi_{pp}$  – розрахунковий вміст мінеральних зерен старого асфальтобетону, менших даного розміру, в мінеральній частині РГС;

$\Phi_{np}$  – стандартний зерновий склад асфальтобетонної суміші за середнім значенням вмісту зерен, менших даного розміру;

$\Delta_{\phi}$  – розрахунковий вміст зерен нових мінеральних матеріалів, менших даного розміру, в мінеральній частині РГС;

$\Phi_{pn}$  – розрахунковий склад суміші нових мінеральних матеріалів за вмістом зерен, менших даного розміру;

$\Delta_n$  – кориговані значення  $\Phi_{pn}$ .

\* – При складанні цієї графі таблиці від'ємне значення замінюється позитивним значенням попередньої строки.

Якщо окремі значення  $\Phi_{pn}$  суттєво перевищують 100 %, встановлена розрахункова кількість нових мінеральних матеріалів є недостатньою для коригування складу асфальтобетону. В таких випадках за погодженням із Замовником та з урахуванням результатів попередніх розрахунків, розглядають можливість підвищення відносного вмісту

нових мінеральних матеріалів завдяки видаленню частини старого асфальтобетонного покриття попереднім холодним фрезеруванням.

Приклад підбору складу суміші нових мінеральних матеріалів, розрахунковий склад якої наведено в табл. 3, з перевіркою гранулометричного складу РГС на відповідність нормативним вимогам наведено в табл. 4.

Таблиця 4

**Підбір складу суміші нових мінеральних матеріалів і регенованої гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші тип Б із непереривчастим різновидом гранулометрії з перевіркою на відповідність вимогам [10], з обмеженням максимальної товщини шару РГС**

Підібраний склад нових мінеральних матеріалів за фракціями, % за масою		Підібраний зерновий склад суміші нових мінеральних матеріалів за вмістом зерен, менших даного розміру (мм), % за масою												
		інше	0,071	0,14	0,315	0,63	1,25	2,5	5	10	15	20	25	40
фр. 10-20	80	-	-	-	-	-	-	-	0,7	32,0	40,8	6,5	-	-
фр. 5-10	10	-	-	-	-	-	0,7	0,3	8,0	1,0	-	-	-	-
фр. 0-5	5	0,5	0,4	0,7	0,8	0,6	0,8	0,9	0,3	-	-	-	-	-
МП	5	4,1	0,5	0,3	0,0	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
$Z_i$		4,6	0,9	1,0	0,8	0,7	1,5	1,2	9,0	33,0	40,8	6,5	-	-
$\Sigma Z_i$			4,6	5,5	6,5	7,3	8,0	9,5	10,7	19,7	52,7	93,5	100	-
<b>Перевірка підбраного складу РГС на відповідність нормативним вимогам</b>														
$\Delta_n$			5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	64,4	100	100	-
$\frac{\Sigma Z_i - P_{\text{норм}}}{100}$			0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	2,9	7,7	13,6	14,6	-
$\Phi_{pp}$			10,2	15,9	23,2	31,7	38,7	50,0	63,2	74,7	79,1	82,1	85,4	-
$\Phi_{\text{РГС}} = \frac{\Sigma Z_i - P_{\text{норм}}}{100} + \Phi_{pp}$			10,9	16,7	24,2	32,8	39,9	51,4	64,8	77,6	86,8	95,7	100	-
$\Phi_{np}$			11,0	14,5	20,5	28,0	36,5	47,0	60,0	75,5	88,5	97,5	100	100
$\Delta_k =  \Phi_{np} - \Phi_{\text{РГС}} $			0,1	2,2	3,7	4,8	3,4	4,4	4,8	2,1	1,7	1,8	0	-
Допустимі відхилення від нормованого вмісту зерен менших даного розміру			±3,0	±3,5	±4,5	±5,0	±5,5	±6,0	±5,0	±6,5	±4,5	±2,5	0	-
Відповідність нормативним вимогам			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-



**Примітка.**  $Z_i$  – підібраний склад суміші нових мінеральних матеріалів за частковим залишком на ситі;  
 $\Sigma Z_i$  – підібраний склад суміші нових мінеральних матеріалів за вмістом зерен, менших даного розміру;  
 $\Phi_{\text{РГС}}$  – підібраний склад РГС за вмістом зерен, менших даного розміру;  
 $\Delta_k$  – абсолютне значення фактичного відхилю вмісту зерен підбраного складу від нормованих значень.

Згідно з **табл. 4** для коригування зернового складу мінеральної частини старого асфальтобетону з метою отримання регеноерованої гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші тип Б із непереривчастим різновидом гранулометрії для компенсації втрат матеріалів у покритті необхідно ввести суміш нових мінеральних матеріалів складу: щебінь фракції (10-20) мм – 80 %, щебінь фракції (5-10) мм – 10 %, відсів подрібнення гірських порід фракції (0-5) мм – 5 %, мінеральний порошок – 5 %, при загальній кількості такої суміші 14,6 %.

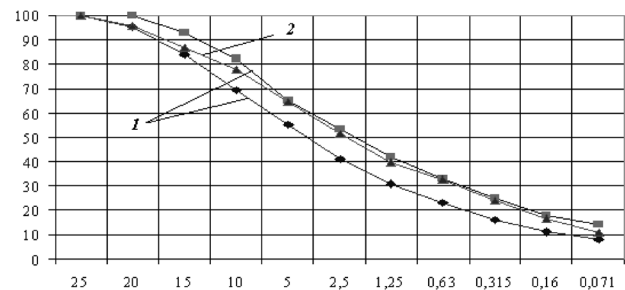
Результати підбору зернового складу РГС у графічному вигляді наведено на **рис. 1**.

*Приклад розрахунку без обмеження максимальної товщини шару регеноерованої суміші*

У такому випадку розрахунок доцільно здійснювати для вмісту нових мінеральних матеріалів, наближеного до максимально можливого вмісту.

Приклад розрахунку гранулометричного складу суміші нових мінеральних матеріалів для кори-

гування гранулометричного складу асфальтобетону при вмісті нових мінеральних матеріалів, наближеному до максимального, наведено в **табл. 5**. Вихідні дані для розрахунку прийняті згідно з **табл. 2**.



**Рис. 1.** Гранулометричний склад регеноерованої гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші тип Б із непереривчастим різновидом гранулометрії, підібраний з обмеженням максимальної товщини шару РГС, де: 1 – граничні криві гранулометричного складу згідно з [10], 2 – крива гранулометричного складу РГС

Таблиця 5

**Розрахунок гранулометричного складу суміші нових мінеральних матеріалів для регеноерованої гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші тип Б із непереривчастим різновидом гранулометрії при вмісті нових мінеральних матеріалів, наближеному до максимального**

Розмір вічок сита, мм	Зерновий склад мінеральної частини старого асфальто-бетону, % за масою*)		$\Phi_{\text{пр}}, \%$	$\Phi_{\text{Рв}}, \%$ $\Phi = \frac{\Phi_{\text{вн}} - 100}{\Phi_{\text{н}}}$	$\Phi_{\text{Рр}}, \%$ $\Phi = \frac{\Phi_{\text{н}} - \Phi_{\text{вн}}}{100}$	Розрахунковий зерновий склад нових мінеральних матеріалів		
	$\Phi_{\text{ч}}$	$\Phi_{\text{п}}$				$\Delta_{\Phi} = \Phi_{\text{пр}} - \Phi_{\text{Рр}}$	$\Phi_{\text{РН}}, \%$ $\Phi = \frac{\Delta_{\Phi} - 100}{\Delta_{\Phi \text{ макс}}}$	$\Delta_{\text{н}}$
0	11,9							
0,071	6,7	11,9	11,0	92,4	9,0	2,0	8,1	8,1
0,14	8,6	18,6	14,5	78,0	14,0	0,5	2,0	2,0
0,315	9,9	27,2	20,5	75,4	20,5	0	0	0
0,63	8,2	37,1	28,0	75,5	28,0	0	0	0
1,25	13,2	45,3	36,5	80,6	34,2	2,3	9,4	9,4
2,5	15,5	58,5	47,0	80,3	44,1	2,9	11,8	11,8
5	13,5	74,0	60,0	81,1	55,8	4,2	17,1	17,1
10	5,1	87,5	75,5	86,3	66,0	9,5	38,6	38,6
15	3,5	92,6	88,5	95,6	69,8	18,7	76,01	76,0
20	3,9	96,1	97,5	100	72,5	25,0	100,0	100,0
25	-	100,0	100,0	100	75,4	24,6	100,0	100,0



Приклад підбору складу суміші нових мінеральних матеріалів, розрахунковий склад якої наведено в табл. 5,

із перевіркою гранулометричного складу РГС на відповідність нормативним вимогам наведено в табл. 6.

Таблиця 6

Підбір складу суміші нових мінеральних матеріалів та регенованої гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші тип Б із непереривчастим різновидом гранулометрії з перевіркою на відповідність вимогам [10], з вмістом нових мінеральних матеріалів, наближеним до максимального

Підбраний склад нових мінеральних матеріалів за фракціями, % за масою		Підбраний зерновий склад нових мінеральних матеріалів за вмістом зерен, менших даного розміру (мм), % за масою												
		інше	0,071	0,14	0,315	0,63	1,25	2,5	5	10	15	20	25	40
фр. 10-20	65	-	-	-	-	-	-	-	0,6	26,0	33,2	5,2	-	-
фр. 5-10	18	-	-	-	-	-	1,2	0,6	14,4	1,8	-	-	-	-
фр. 0-5	9	0,8	0,8	1,3	1,4	1,1	1,5	1,6	0,5	-	-	-	-	-
МП	8	6,5	0,8	0,4	0,1	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
$Z_i$	7,3	1,6	1,7	1,5	1,3	2,7	2,2	15,5	27,8	33,2	5,2	0,0	-	-
$\Sigma Z_i$		7,3	8,9	10,6	12,1	13,4	16,1	18,3	33,8	61,6	94,8	100		
Перевірка складу РГС на відповідність нормативним вимогам														
$\Delta_n$			8,1	2,0	0	0	9,4	11,8	17,1	38,6	76,0	100	100	-
$\frac{\Sigma Z_i - B_{нн}}{100}$			1,8	2,2	2,6	3,0	3,3	4,0	4,5	8,3	15,2	23,3	24,6	-
$\Phi_{pp}$			9,0	8,8	20,5	28,0	34,2	44,1	55,8	66,0	69,8	72,5	75,4	-
$\Phi_{РГС} = \frac{\Sigma Z_i - B_{нн}}{100} + \Phi_{pp}$			10,8	11,0	23,1	31,0	37,5	48,1	60,3	74,3	85,0	95,8	100	-
$\Phi_{пр}$			11,0	14,5	20,5	28,0	36,5	47,0	60,0	75,5	88,5	97,5	100	100
$\Delta_k =  \Phi_{пр} - \Phi_{РГС} $			0,2	3,5	2,6	3,0	1,0	1,1	0,3	1,2	3,5	1,7	0	-
Допустимі відхилення від нормованого вмісту зерен менших даного розміру			$\pm 3,0$	$\pm 3,5$	$\pm 4,5$	$\pm 5,0$	$\pm 5,5$	$\pm 6,0$	$\pm 5,0$	$\pm 6,5$	$\pm 4,5$	$\pm 2,5$	0	-
Відповідність нормативним вимогам			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-

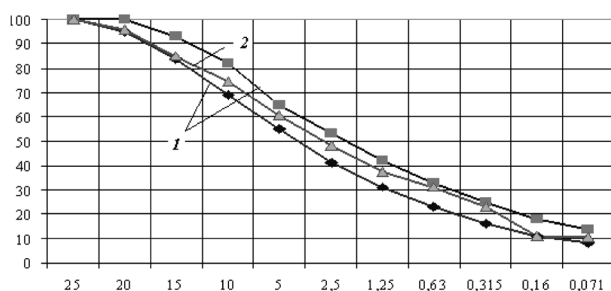


Рис. 2. Гранулометричний склад регенованої гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші тип Б із непереривчастим різновидом гранулометрії, підбраний для вмісту нових мінеральних матеріалів, наближеного до максимального, де: 1 – граничні криві гранулометричного складу згідно з [10], 2 – крива гранулометричного складу РГС

Згідно з табл. 6 для коригування зернового складу мінеральної частини старого асфальтобетону з метою отримання регенованої гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші тип Б із непереривчастим різновидом гранулометрії при вмісті нових мінеральних матеріалів, наближеному до максимального, необхідно ввести суміш нових мінеральних матеріалів складу:

щебінь фракції (10-20) мм – 65 %, щебінь фракції (5-10) мм – 18 %, відсів подрібнення гірських порід фракції (0-5) мм – 9 %, мінеральний порошок – 8 % при загальній кількості такої суміші 24,6 %.

Результати підбору зернового складу РГС у графічному вигляді наведено на рис. 2.

У такому випадку для досягнення більш плавної форми кривої гранулометричного складу РГС вміст суміші нових мінеральних матеріалів може бути зменшено на декілька відсотків.

### Висновки

1. Методи гарячого ресайклінгу на дорозі «Remix» та «Remix Plus» належать до найбільш ефективних методів усунення дефектів асфальтобетонного покриття, пов'язаних з невідповідністю складу асфальтобетону нормативним вимогам, зокрема внаслідок часткової втрати матеріалів. Регенерація асфальтобетонних шарів дорожнього одягу із застосуванням методів «Remix» та «Remix Plus» дає змогу усувати колійність та інші нерівності, тріщинуватість, виступання бітуму та викришування кам'яних матеріалів, а також коригувати профіль покриття та підвищувати шорсткість поверхні.

2. Особливості підбору складу мінеральної частини РГС у технологіях гарячого ресайклінгу на



дорозі полягають у застосуванні асфальтобетону існуючого покриття виключно у нефракціонованому вигляді. Також при виконанні робіт із ресайклінгу асфальтобетону на дорозі розрахункова кількість нових мінеральних матеріалів, яка забезпечує відповідність гранулометричного складу РГС нормативним вимогам до асфальтобетону необхідного типу, виду та групи, не завжди забезпечує дотримання проектної товщини шару. У зв'язку з цим під час застосування нових мінеральних матеріалів для коригування складу старого асфальтобетону розрахунок гранулометричного складу необхідно виконувати з урахуванням проектних вимог за однією зі схем: з обмеженням або без обмеження максимальної товщини шару РГС.

3. Якщо кількість нових мінеральних матеріалів є недостатньою для досягнення проектної товщини шару, матеріальний баланс досягається додаванням нової асфальтобетонної суміші відповідного складу, або влаштуванням поверхневого шару нового асфальтобетону (накладного шару) методом «Remix Plus».

Для підвищення відносного вмісту нових мінеральних матеріалів, за відповідних попередніх розрахунків та погоджень із Замовником, може бути прийняте рішення щодо видалення частини шару старого асфальтобетонного покриття попереднім холодним фрезеруванням.

## ЛІТЕРАТУРА

- 1 Всесвітня дорожня асоціація. Технічний комітет C7/8 «Дорожні покриття». Рециркування дорожніх одягів. Ч. 3. : посібник з гарячого рециркування асфальтобетону зі старих покриттів на заводі. / Під заг. ред. В. Жданюка, Д. Сибільського. – Х.: Вид-во ХНАДУ, 2006. – 52 с.
2. Терещенко, Т. А. Аспекти успішного впровадження промислового ресайклінгу дорожнього асфальтобетону / Т. А. Терещенко // 36. «Дороги і мости», Вип. 17. – К.: ДП «ДерждорНДІ», 2017. – С. 5–13.
3. Р В.3.2-03450778-837:2014 Рекомендації з відновлення зношених шарів асфальтобетонного покриття за технологією гарячого ресайклінгу на дорозі [Текст]. – Рекомендовано Науковою радою Укравтодору; протокол від 03.12.2014 № 2. – 28 с. (Офіційний документ державного агентства автомобільних доріг України).
4. ТТК 37641918/03450778-174:2014 Типова технологічна карта на виконання робіт з відновлення зношених шарів асфальтобетонного покриття за технологією гарячого ресайклінгу на дорозі методом «Ремікс» [Текст]. – Рекомендовано Науковою радою Укравтодору; протокол від 03.12.2014 № 2. (Офіційний документ державного агентства автомобільних доріг України).
5. A Synthesis of Highway Practice: Recycling and Reclamation of Asphalt Pavements Using In-Place Methods National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Synthesis 421 [Електронний ресурс] // Stroup-Gardiner, M. Transportation Research Board (TRB), Washington, D.C. – ISBN 978-0-309-14344-8, 70 p. – 2011. – Режим доступу: <http://www.trb.org> – Заголовок з екрану.
6. Hafeez, I. Performance Characterization of Hot In-Place Recycled Asphalt Mixtures [Текст] / Imran Hafeez, Hasan Ozer, and Imad L. Al-Qadi // Journ. of Transportation Engineering. – 2014, August. – Vol. 140. – № 8. – 04014029. – 9 p.
7. Cox, B. C. Case Study of High-Traffic In-Place Recycling on U.S. Highway 49: Multilayer Performance Assessment / Ben C., Cox, Isaac L., Howard, and Alex, Middleton // Journ. of Transportation Engineering. – 2016. – Vol. 142. – № 12. – 05016008. – 12 p.
8. Р В.2.7-37641918-887:2017 Рекомендації з підбору складу та застосування бітумінеральних сумішей з використанням асфальтобетонної крихти: [Текст]. – Рекомендовано Науковою радою Укравтодору, протокол від 05.10.2017 № 1. – 40 с. (Офіційний документ Державного агентства автомобільних доріг України)

9. Kandhal, P. Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments. Chapter 10: Hot In-Place Recycling (Materials and Mix Design) [Електронний ресурс] // P. Kandhal, R. Mallick. – US Department of Transportation, Federal Highway Administration; Research, Development, and Technology. – Publ. № FHWA-SA-98-042. – 1997. – Режим доступу: <http://www.fhwa.dot.gov> – Заголовок з екрану.

10. Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови : ДСТУ В В.2.7-119:2011. – [Чинний з 2012-10-01]. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2012. – 45 с. – (Національний стандарт України)

11. Р В 2.3-218-02071168-781:2011 Рекомендації щодо визначення товщини конструктивних шарів існуючого дорожнього одягу [Текст]. – Рекомендовано Науковою радою Укравтодору (Офіційний документ державного агентства автомобільних доріг України).

## REFERENCES

1. V. Zhdanyuk, D. Sy'bil'sky'j (ed) (2006) Vsesvitnya dorozhnyia asociaciya. Tehnichny'j komitet S7/8 «Dorozhni pokry'ttya». Recy'klyuvannya dorozhnyih odyagiv [World Road Association. Technical Committee C7 / 8 «Road cover». Recycling of road clothes]. Kharkiv: KhNADU, 52 p.
2. Tereshhenko, T. A. (2017) Aspekty' uspishnogo vprovadzhennya promy'slovogo resajklingu dorozhn'ogo asfal'tobetonu [Aspects of the successful implementation of industrial road reclamation road asphalt concrete]. «Roads and Bridges» Digest, vol. 17, pp. 5–13.
3. State Road Agency of Ukraine (Ukravtodor) (2014) Rekomendaciyi z vidnovlennya znosheny'h shariv asfal'tobetonnoho pokry'ttya za tekhnologiyeyu garyachogo resajklingu na dorozhi. P B.3.2-03450778-837:2014 [Recommendations for the restoration of worn-out layers of asphalt concrete coating on the technology of hot recaikeling on the road. P B.3.2-03450778-837:2014]. Oficijny'j dokument derzhavnogo agentstva avtomobil'ny'h dorog Ukrainy' [Official document of the State Agency of Motor Roads of Ukraine], no. 2, 28 p.
4. State Road Agency of Ukraine (Ukravtodor) (2014) Ty' pova tekhnologichna karta na vy'konannya robiz z vidnovlennya znosheny'h shariv asfal'tobetonnoho pokry'ttya za tekhnologiyeyu garyachogo resajklingu na dorozhi metodom «Remiks». TTK 37641918/03450778-174:2014 [A typical technological map for the implementation of works on the restoration of worn-out layers of asphalt concrete coatings on the technology of hot recaikeling on the road by the method of «Remix». TTK 37641918/03450778-174:2014]. Oficijny'j dokument derzhavnogo agentstva avtomobil'ny'h dorog Ukrainy' [Official document of the State Agency of Motor Roads of Ukraine], no. 2.
5. Stroup-Gardiner, M. Transportation Research Board (TRB) (2011) A Synthesis of Highway Practice: Recycling and Reclamation of Asphalt Pavements Using In-Place Methods National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Synthesis 421. Washington, D.C., 70 p. Available at: <http://www.trb.org>
6. Imran, Hafeez, Hasan, Ozer, and Imad, L. Al-Qadi (2014) Performance Characterization of Hot In-Place Recycled Asphalt Mixtures. Journ. of Transportation Engineering, vol. 140, no. 8, 9 p.
7. Ben C., Cox, Isaac L., Howard, and Alex, Middleton (2016) Case Study of High-Traffic In-Place Recycling on U.S. Highway 49: Multilayer Performance Assessment. Journ. of Transportation Engineering, vol. 142, no. 12, 12 p.
8. State Road Agency of Ukraine (Ukravtodor) (2017) Rekomendaciyi z pidboru skladu ta zastosuvannya bitumomineral'ny'x sumishej z vy'kory'stannjam asfal'tobetonnoyi kry'tty. P B.2.7-37641918-887:2017 [Recommendations on the selection and application of bituminous mixtures using asphalt concrete crumb. P B.2.7-37641918-887:2017]. Oficijny'j dokument derzhavnogo agentstva avtomobil'ny'h dorog Ukrainy' [Official document of the State Agency of Motor Roads of Ukraine], no. 1, 40 p.
9. P. Kandhal, R. Mallick (1997) Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments. Chapter 10: Hot In-Place Recycling (Materials and Mix Design). US Department of Transportation, Federal Highway Administration; Research, Development, and Technology. Available at: <http://www.fhwa.dot.gov>
10. Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine (2012) Sumishi asfal'tobetonni ta asfal'tobeton dorozhnij ta aerodromny'j. Technichni umovy' : DSTU B V.2.7-119:2011. National'ny'j standart Ukrainy' [Asphaltic Concrete Mixtures, Road and Aerodromes Asphaltic Concrete. Specifications: DSTU B V.2.7-119:2011. National standard of Ukraine]. Kyiv, Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 45 p.
11. State Road Agency of Ukraine (Ukravtodor) (2011) Rekomendaciyi shhodo vy'znachennya tovshhy'ny' konstrukty'vny'h shariv isnuuyuchogo dorozhn'ogo odyagu. P B 2.3-218-02071168-781:2011 [Recommendations for determining the thickness of the constructive layers of existing road clothing. P B 2.3-218-02071168-781:2011]. Oficijny'j dokument derzhavnogo agentstva avtomobil'ny'h dorog Ukrainy' [Official document of the State Agency of Motor Roads of Ukraine].