

УДК 625:85

**РОЗРАХУНОК ЗЕРНОВОГО СКЛАДУ МІНЕРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ РЕГЕНЕРОВАНИХ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ ПРИ ВИКОРИСТАННІ НЕФРАКЦІОНОВАНОГО АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ГРАНУЛЯТУ**

**Терещенко Т. А., канд. хім. наук**

*Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП ДерждорНДІ)*

---

Необхідність економії природних ресурсів і проблема утилізації відходів приводять до зростання актуальності технологій ресайклінгу – повторного використання відпрацьованих матеріалів. Одним з найбільш важливих об'єктів ресайклінгу є дорожній асфальтобетон. Згідно з даними [1] щорічний обсяг ресайклінгу асфальтобетону в США в 2010 р. перевищував загальний обсяг ресайклінгу інших стратегічно важливих матеріалів (алюмінію, пластичних мас, паперу, скла).

Матеріал видалених асфальтобетонних шарів може бути застосований при виконанні низки робіт з будівництва, реконструкції і ремонту автомобільних доріг, проте найбільш економічно ефективним є використання такого матеріалу в технологіях ресайклінгу дорожнього асфальтобетону. Механічна обробка видаленого асфальтобетону дозволяє отримувати високоякісний кондиційний продукт – асфальтобетонний гранулят, який складається з мінеральної частини і бітумного в'язучого і застосовується для часткового заміщення сировини при виготовленні регенерованих асфальтобетонних сумішей (РГС). В США в 2011 р. завдяки високим обсягам ресайклінгу дорожнього асфальтобетону було забезпечено економію 3,3 млн. т. бітуму та 310 млн. т. кам'яних матеріалів [2].

Процес ресайклінгу дорожнього асфальтобетону з застосуванням асфальтобетонного грануляту складається з наступних основних стадій: видалення і складування асфальтобетону у вигляді асфальтобетонного лому або асфальтобетонного грануляту (АГ); виготовлення АГ з асфальтобетонного лому – за необхідності; виготовлення, укладання і ущільнення РГС [3]. До обсягу робіт включають також аналіз проб АГ і підбір складу РГС, які повинні задовольняти нормативні вимоги до асфальтобетонних сумішей відповідних класів. Підбір складу РГС передбачає розрахунок зернового складу мінеральної частини РГС та підбір складу РГС за вмістом бітумного в'язучого.

Для виготовлення РГС використовують АГ, нові мінеральні матеріали, бітумні в'язучі, за необхідності - добавки. Особливістю застосування АГ є можливість використання цього матеріалу у фракціонованому або нефракціонованому вигляді. Згідно з [4] при здійсненні гарячого ресайклінгу дорожнього асфальтобетону використання АГ у нефракціонованому вигляді рекомендовано при обмеженні вмісту АГ до 10 %, 15 % та 20 % у верхніх, середніх та нижніх асфальтобетонних шарах дорожніх одягів відповідно.

Запропонована методика розрахунку зернового складу мінеральної частини РГС при використанні АГ в нефракціонованому вигляді ґрунтується на розрахунку гранулометричного

складу мінеральних матеріалів, наданого в [5], зі змінами, що враховують відсутність обмежень за вмістом матеріалів. Вихідними даними для розрахунку є:

- зерновий склад мінеральної частини АГ;
- зерновий склад нових мінеральних матеріалів;
- відносний вміст мінеральної частини АГ в мінеральній частині РГС;
- дані щодо нормованого зернового складу мінеральної частини асфальтобетонної суміші, яку планується виготовляти з застосуванням технологій ресайклінгу.

При виконанні розрахунків прийнято наступні позначення:

$B_{нв}$  – заданий вміст нових мінеральних матеріалів в мінеральній частині РГС, % за масою;

$B_{фв}$  – заданий вміст мінеральної частини АГ в мінеральній частині РГС, % за масою;

$\Phi_n$  – фактичний зерновий склад мінеральної частини АГ за вмістом зерен, менших даного розміру, % за масою;

$\Phi_{нр}$  – усереднений нормований зерновий склад РГС за вмістом зерен, менших даного розміру, % за масою;

$\Phi_{РГС}$  – підібраний зерновий склад РГС за вмістом зерен, менших даного розміру, % за масою;

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

$\Phi_{рр}$  – розрахунковий вміст мінеральних зерен АГ, менших даного розміру, в мінеральній частині РГС, % за масою;

$\Phi_ч$  – фактичний зерновий склад мінеральної частини АГ за частковим залишком на ситі, % за масою;

$Z_i$  – підібраний зерновий склад суміші нових мінеральних матеріалів за частковим залишком на ситі, % за масою;

$\Sigma Z_i$  – підібраний зерновий склад суміші нових мінеральних матеріалів за вмістом зерен, менших даного розміру, % за масою;

$\Delta_n$  – кориговані значення  $\Phi_{рн}$ ;

$\Delta_\phi$  – розрахунковий вміст зерен нових мінеральних матеріалів, менших даного розміру, в мінеральній частині РГС, % за масою.

Розрахунок за пропонованою методикою складається з наступних етапів:

I – розрахунок зернового складу суміші нових мінеральних матеріалів, необхідного для забезпечення відповідності зернового складу РГС усередненому нормованому зерновому складу стандартної асфальтобетонної суміші призначеного типу;

II – підбір складу суміші нових мінеральних матеріалів за вмістом фракцій у відсотках за масою, необхідного для забезпечення максимальної відповідності зерновому складу, обчисленому на I етапі; підбір складу суміші нових мінеральних матеріалів за вмістом фракцій здійснюють за допомогою програмного забезпечення (за його наявності) або за допомогою обчислювальної техніки шляхом варіювання співвідношення вмісту фракцій;

---

<sup>1</sup> Згідно з [5] обмеження за максимальним вмістом нових матеріалів встановлюються при виконанні гарячого ресайклінгу методом «на дорозі» в зв'язку з необхідністю дотримання проектної товщини шару дорожнього одягу. Якщо в результаті коригування зернового складу мінеральної частини утворюється кількість РГС, яка не забезпечує (перевищує) проектну товщину шару, попередньо методом холодного фрезерування видаляють частину зношеного шару асфальтобетону. При виготовленні РГС в стаціонарному обладнанні такі обмеження відсутні.

III – перевірка відповідності зернового складу РГС на відповідність вимогам [6] до зернового складу асфальтобетонної суміші призначеного типу.

Для прикладу розрахунку зернового складу мінеральної частини РГС відповідно до запропонованої методики використано дані, наведені в табл. 1.

Результат розрахунку за I етапом запропонованої методики наведено в табл. 2; розрахунок проведено на прикладі РГС, яка за зерновим складом мінеральної частини має задовільняти вимоги до зернового складу мінеральної частини гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші типу Б з непереривчастим різновидом гранулометрії згідно з [6] при вмісті мінеральної частини АГ в мінеральній частині РГС 10 % за масою ( $B_{не} = 90$ ;  $B_{фв} = 10$ ).

Результатом розрахунку згідно табл. 2 є зерновий склад суміші нових мінеральних матеріалів за вмістом зерен, менших даного розміру (відповідно до вимог [6]), який обчислено у відсотках за масою та внесено в колонку 7 табл. 2. Результат підбору складу суміші нових мінеральних матеріалів за вмістом фракцій за II-м етапом запропонованої методики наведено в табл. 3, рядки 1 – 6, та на рис. 1. За результатами обчислень при підборі складу встановлено, що максимальна відповідність зернового складу суміші нових матеріалів значенням колонки 7 досягається при вмісті фракцій у відсотках за масою:

- щебінь фракції (10-20) мм – 15;
- щебінь фракції (5-10) мм – 29 ;
- відсів дроблення гірських порід (0-5) мм – 47;
- мінеральний порошок – 9.

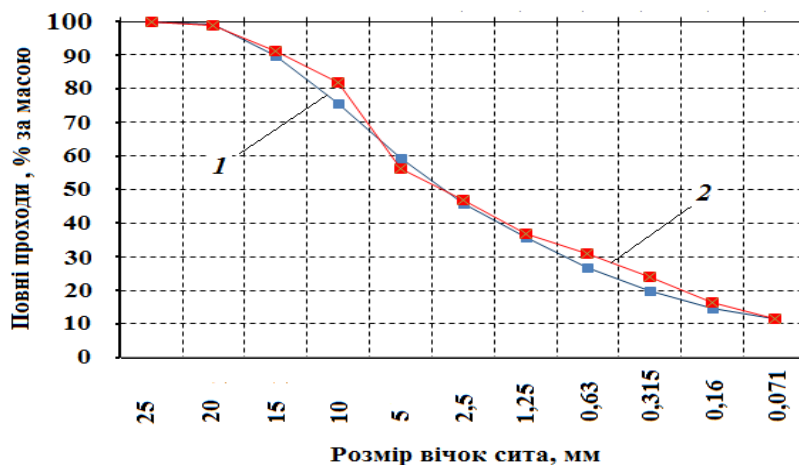
**Таблиця 1** – Дані, використані для прикладу розрахунку зернового складу мінеральної частини РГС

Найменування матеріалу	Зерновий склад мінеральних матеріалів 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	
Мінеральна частина АГ*	6,7	6,4	12,7	12,0	7,6	10,1	11,8	7,0	3,5	5,1	17,1			
Нові мінеральні матеріали														
Щебінь фр. (10-20) мм								0,5	40,0	51,0	8,0	0,5		
Щебінь фр. (5 -10) мм						6,5	3,5	80,0	10,0					
Відсів дроблення гірських порід фр. (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									
*Примітка. Зерновий склад мінеральної частини АК визначається згідно з [7]														

**Таблиця 2** – Приклад розрахунку зернового складу нових мінеральних матеріалів для виготовлення РГС, зерновий склад мінеральної частини якої задовольняє вимоги [6] щодо гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші тип Б з непереривчастим різновидом гранулометрії

Розмір вічок сита, мм	Фактичний зерновий склад мінеральної частини АГ		$\Phi_{pp} = \frac{\Phi_{p_i} \times B_{фв}}{100}$	$\Phi_{np}$	Розрахунковий зерновий склад нових мінеральних матеріалів		
	$\Phi_{ч}$	$\Phi_{н}$			$\Delta\phi = \Phi_{np} - \Phi_{pp}$	$\Phi_{p_n} = \frac{\Phi_{p_i} \phi_n}{B_{нв}} \times 100$	$\Delta_n$
1	2	3	4	5	6	7	8
0	6,7						
0,071	6,4	6,7	0,7	11,0	10,3	11,4	11,4
0,14	12,7	13,1	1,3	14,5	13,2	14,7	14,7
0,315	12,0	25,8	2,6	20,5	17,9	19,9	19,9
0,63	7,6	37,8	3,8	28,0	24,2	26,9	26,9
1,25	10,1	45,4	4,5	36,5	32,0	35,6	35,6
2,5	11,8	55,5	5,6	47,0	41,4	46,0	46,0
5	9,5	67,3	6,7	60,0	53,3	59,2	59,2
10	3,0	74,3	7,4	75,5	68,1	75,7	75,7
15	5,1	77,8	7,8	88,5	80,7	89,7	89,7
20	17,1	82,9	8,3	97,5	89,2	99,1	99,1
25	-	100,0	10,0	100,0	90,0	100,0	100,0

**Примітка.** За необхідності здійснюють коригування значень  $\Phi_{p_n}$ , результати якого заносять до колонки 8: якщо значення  $\Phi_{p_n}$  є від'ємним, його замінують найближчим позитивним значенням попереднього рядка. Якщо значення  $\Phi_{p_n}$  перевищує 100 % не більше ніж на 5, його приймають рівним 100 %. Рішення щодо додаткового коригування зернового складу приймають за результатами перевіряння зернового складу мінеральної частини зразків РГС



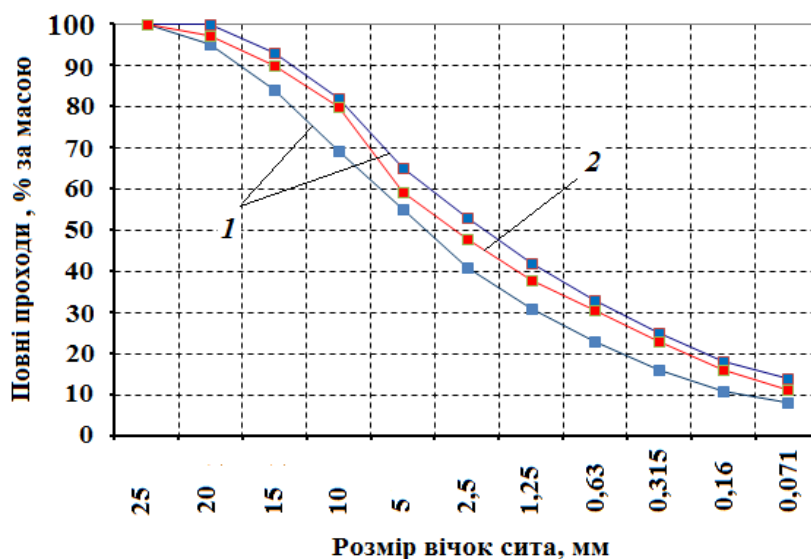
1 – розрахунковий зерновий склад суміші нових мінеральних матеріалів, якій відповідає значенням  $\Phi_{p_n}$  ( $\Delta_n$ ) табл. 2; 2 – підбраний зерновий склад суміші нових мінеральних матеріалів, який відповідає значенням  $\Sigma Z_i$  табл. 3

Рисунок 1 – Результат підбору зернового складу суміші нових мінеральних матеріалів

Таблиця 3 – Приклад підбору зернового складу нових мінеральних матеріалів та РГС

Ч.ч.	Підібраний склад нових мінеральних матеріалів за фракціями, % за масою	Підібраний 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			
1	фр. 10-20 15%											0,1	6,0	1,2	0,1	-	
2	фр. 5-10 29%						1,9	1,0	23,2	2,9						-	
3	фр. 0-5 47%	4,2	3,9	7,0	7,1	5,8	7,9	8,3	2,6	0,2						-	
4	МП 9%	7,3	1,0	0,5	0,1	0,1										-	
5	$Z_i$	11,5	4,9	7,5	7,2	5,9	9,8	9,3	25,9	9,1	7,7	1,2	0,1			-	
6	$\Sigma Z_i$		11,5	16,4	23,9	31,1	37,0	46,8	56,1	82,0	91,1	98,8	100,0				
Приклад підбору і перевіряння зернового складу РГС на відповідність вимогам [6] до зернового складу гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші тип Б з непереривчастим різновидом гранулометрії																	
7	$\Delta_n$		11,4	14,7	19,9	26,9	35,9	46,0	59,2	75,7	89,7	99,1	100,0				-
8	$\Sigma Z_i \times B_{неф}/100$		10,4	14,8	21,5	28,0	33,3	42,1	50,5	73,8	82,0	88,9	90,0				-
9	$\Phi_{PP}$		0,7	1,3	2,6	3,8	4,5	5,6	6,7	7,4	7,8	8,3	10,0				-
10	$\Phi_{РГС} = \Sigma Z_i \times B_{неф}/100 + \Phi_{PP}$		11,1	16,1	24,1	31,8	37,8	47,7	57,2	81,2	89,8	97,2	100,0				-
11	$\Phi_{np}$		11,0	14,5	20,5	28,0	36,5	47,0	60,0	75,5	88,5	97,5	100,0				-
12	$\Delta_n =  \Phi_{np} - \Phi_{РГС} $		0,1	1,6	3,6	3,8	1,3	0,7	2,8	5,7	1,3	0,3	0				-
13	Максимально допустиме відхилення від нормованого вмісту зерен менших даного розміру згідно з [6]		±3,0	±3,5	±4,5	±5,0	±5,5	±4,5	±5,0	±6,5	±4,5	±2,5	0				-
14	Відповідність вимогам [6]		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				-

Результат розрахунків за III етапом запропонованої методики – перевірка зернового складу РГС на відповідність вимогам [6] до зернового складу мінеральної частини гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші типу Б з непереривчастим різновидом гранулометрії наведено в табл. 3, рядки 7 – 10, та на рис. 2.



1 – граничні значення нормованого зернового складу мінеральної частини гарячої дрібнозернистої щільної АС тип Б з непереривчастим різновидом гранулометрії згідно з [6];  
2 – підібраний зерновий склад мінеральної частини РГС, якій відповідає значенням  $\Phi_{РГС}$  табл. 3

Рисунок 2 – Перевірка зернового складу мінеральної частини РГС на відповідність нормативним вимогам

### Висновки

Запропонована методика дозволяє здійснювати розрахунок зернового складу суміші нових мінеральних матеріалів, необхідний для забезпечення відповідності зернового складу мінеральної частини РГС нормативним вимогам до зернового складу мінеральної частини стандартних асфальтобетонних сумішей згідно з [6] при додаванні призначеної кількості АГ.

Запропонована методика може бути рекомендована також для розрахунку зернового складу бітумінеральних дорожніх сумішей марки І згідно з [8], які можуть бути використані на заміну дорожнього асфальтобетону за умов відповідності вимогам [6].

Запропоновану методику доцільно використовувати для прийняття рішення щодо можливості використання АГ у нефракціонованому вигляді у кожному конкретному випадку, оскільки процеси фракціонування АГ та складування у фракціонованому вигляді пов'язані з додатковими витратами і можуть підвищити собівартість робіт з ремонту та реконструкції автомобільних доріг з застосуванням технологій ресайклінгу.

**Література**

1. Santucci, L. Recycling Asphalt Pavement – A Strategy Revisited [Електронний ресурс] // Tech Topics – 2007. - №8 – Р. 1-12 – Режим доступу до журналу: <http://www.techtransfer.berkeley.edu/publications/tech-topics>
2. Acott, M. Reclaiming Acclaim [Електронний ресурс]//Roads & Bridges – February 2013 –Р. 4, 5 Режим доступу до журналу: <http://www.roadsridges.com/2013-asphalt-today>
3. Kandhal, P., Mallick, R. Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments [Електронний ресурс] // US Department of Transportation, Federal Highway Administration; Research, Development, and Technology. - Publ. № FHWA-SA-98-042. 1997 – Режим доступу до посібника: <http://www.fhwa.dot.gov>
4. Copeland, A. Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures. State of the Art [Електронний ресурс] // Report No FHWA-HRT-11-021. US Department of Transportation, Federal Highway Administration; Research, Development, and Technology. – April, 2011. – 60 p. – Режим доступу до посібника: <http://www.fhwa.dot.gov>
5. Рекомендації з відновлення зношених шарів асфальтобетонного покриття за технологією гарячого ресайклінгу на дорозі: Р В.3.2-03450778-837:2014 [Рекомендовано науковою радою Укравтодору; протокол від 03.12.2014 № 2] – К.: Укравтодор, 2014. – 23 с.
6. Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-119:2011. – [Чинний від 2012-10-01] – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2012. – 37 с. – (Національний стандарт України)
7. Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва. Методи випробувань: ДСТУ Б В.2.7-89-99 (ГОСТ 12801-98). – [Чинний від 2000-01-01] – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2012. – 52 с. – (Національний стандарт України)
8. Проект ДСТУ Б В.2.7-XX:201X Суміші бітумомінеральні дорожні. Загальні технічні умови. – 62 с. [Електронний ресурс] // Режим доступу до проекту національного стандарту України: <http://www.ukravtodor.gov.ua/proekti-normativnikh-dokumentiv>