

УДК 625.70
UDC 625.70

DOI: 10.33744/0365-8171-2022-112-021-032

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РЕГЕНЕРОВАНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ
QUALITY IMPROVING OF REGENERATED ASPHALT CONCRETE



Гамеляк Ігор Павлович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Аеропорти», Національний транспортний університет

<https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>



Дмитриченко Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного права та логістики, Національний транспортний університет

<https://orcid.org/0000-0001-6144-7533>



Журавський Дем'ян Леонардович, начальник лабораторії, ДП ШРБУ №100 (м. Київ, Україна)

<https://orcid.org/0000-0003-2277-4333>

Анотація. Регенерація асфальтобетону - технологія переробки старого асфальтобетонного фрезерованого матеріалу, що передбачає відновлення і поліпшення його характеристик з метою повторного використання при влаштуванні покриття, а також проведенні інших дорожніх робіт.

Переробка старого асфальтобетону є ресурсозберігаючої технології, яка дозволяє істотно знизити матеріаломісткість дорожньо-ремонтних робіт і робіт пов'язаних з влаштуванням дорожніх покриттів. Регенерована асфальтобетонна суміш крім влаштування шарів дорожнього покриття, може також застосовуватися і для створення верхніх шарів дорожньої основи.

В залежності від способу регенерації і обсягу старого матеріалу який використовується при приготуванні регенерованої суміші, можливе зменшення витрат на відновлення дорожнього одягу на 30 % в порівнянні з традиційною технологією, коли роботи виконуються із застосуванням нової асфальтобетонної суміші.

Основні способи регенерації асфальтобетону [1 - 5]. Регенерація старого асфальтобетонного матеріалу може здійснюватися двома основними способами:

- на асфальтобетонному заводі, коли переробка попередньо знятого (шляхом холодного або гарячого фрезерування) старого асфальтобетонного матеріалу здійснюється в стаціонарних або пересувних змішувальних установках;

- на місці проведення робіт, коли регенерація старого асфальтобетонного матеріалу здійснюється безпосередньо в процесі укладання покриття за допомогою спеціальної дорожньо-будівельної техніки (термопрофілювальників, реміксерів, ресайклерів і ін.). Фрезерування старого асфальтобетонного покриття може здійснюватися холодним або гарячим способом. У разі гарячого фрезерування, для попереднього розігрівання асфальтобетону застосовуються інфрачервоні нагрівачі.

Існує кілька основних методів регенерації старого асфальтобетону на місці проведення робіт:

- гаряча регенерація;
- метод термопластифікації - гаряча регенерація старого асфальтобетонного матеріалу з додаванням до його складу пластифікатора;

- метод термозмішування - гаряча регенерація старого асфальтобетонного матеріалу з додаванням нової асфальтобетонної суміші, а також щебеню, бітумного в'язучого і пластифікатора;

- метод термопрофілювання - гаряча регенерація старого асфальтобетонного матеріалу без додавання нової асфальтобетонної суміші.

- холодна регенерація - відновлення старого асфальтобетонного матеріалу без його розігрівання із додаванням органічних та мінеральних в'язучих, кам'яного матеріалу, а також різноманітних домішок, що поліпшують характеристики регенерованого матеріалу.

Важливим етапом, що передує регенерації старого асфальтобетону, є проектування складу нової регенерованої суміші. При підборі складу визначають технологію переробки, тип змішувальної установки, визначають кількість старого асфальтобетону в складі регенерованої суміші. Потім визначають склад і властивості фрезерованого асфальтобетону, оцінюють зерновий склад мінеральних матеріалів, в'язкість бітуму і його вміст в старій суміші. Аналогічно оцінюють властивості нових мінеральних матеріалів і в'язучого.

Після цього розраховують склад мінеральної частини регенерованої суміші і уточнюють кількість старого асфальтобетону, виходячи з отриманого співвідношення мінеральних компонентів. На основі даних про вміст і в'язкість бітуму в старій суміші, підбирають кількість і в'язкість нового бітуму для приготування регенерованої суміші. При високій в'язкості бітуму в старому асфальтобетоні передбачають використання пластифікаторів. З урахуванням отриманих даних остаточно визначають склад регенерованої суміші.

Порядок підбору складу регенерованого асфальтобетону:

- Визначення зернового складу мінеральних матеріалів, вмісту і властивостей в'язучого у старому асфальтобетоні.

- Визначення зернового складу нових матеріалів і властивостей нового в'язучого.

- Розрахунок складу мінеральної частини регенерованої суміші і визначення кількості старого асфальтобетону з урахуванням типу змішувальної установки.

- Визначення кількості нового бітуму в складі регенерованої асфальтобетонної суміші.

- Визначення необхідної в'язкості нового бітуму і кількості пластифікатора.

- Визначення складу регенерованої суміші, приготування і випробування контрольних зразків регенерованого асфальтобетону.

- Уточнення складу регенерованої суміші за результатами випробувань контрольних зразків.

Ключові слова: регенерація асфальтобетону, фрезерування, способи регенерації асфальтобетонної суміші, склад асфальтобетону

Постановка проблеми. У роботі НТУ [10] вперше було запропоновано весь комплекс дій для отримання із фрезерованого асфальтобетону матеріалу придатного для покриття. Розроблено методіку проектування гранулометричного складу та розрахунку вмісту нового доданого бітуму, методи випробування, також наведена та розроблена методіка визначення групового хімічного складу бітуму виділеного із фрезерованого матеріалу що є початком для вирішення проблеми відновлення в'язучого.

У сучасних нормативних документах [16,17] не приділяється увага вивченню та нормуванню хімічного складу бітуму хоча таке пропонувалося робити НТУ ще у 2003 році. Замість серйозного підходу пропонується стандартне визначення пенетрації та температури розм'якшення. Хоча навіть це ніяк не використовується для визначення можливості відновлення бітуму. І так практично в усіх документах.

Істотним недоліком є відсутність системи по підвищенню коефіцієнта однорідності, що є одним із найважливіших показників для досягнення успіху в проектуванні складу суміші.

Пропонується розробити та ввести такі показники якості регенованого асфальтобетону:

- коефіцієнт варіації міцності

$$C_R = S/R, \quad (1)$$

де S – середнє квадратичне відхилення міцності від середнього арифметичного значення границі міцності на стиск МПа (кгс/см²).

R – середнє арифметичне значення міцності зразків на стиск МПа (кгс/см²).

Середнє арифметичне значення міцності зразків на стиск вираховують за формулою:

$$R = \sum R_i / n, \quad (2)$$

де R_i – границя міцності на стиск окремого зразка, МПа (кгс/см²),

n – число випробуваних зразків.

Середнє квадратичне відхилення вираховують за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (R_i - R)^2}{n-1}}. \quad (3)$$

Коефіцієнт однорідності регенованого асфальтобетону вираховують за формулою:

$$K = 100 - 3C_R / 100. \quad (4)$$

Мінімально допустима величина коефіцієнта однорідності повинна бути встановлена окремо для кожного виду конструкції.

Аналіз останніх досліджень Проведені дослідження, дозволили чітко визначити технологію виконання робіт, розкрити механізм деструкції асфальтобетону, вивчити основні фактори дезінтеграції кам'яного матеріалу та використати інформацію для оптимізації властивостей матеріалу [13, 14].

Тому завдання оптимізації зводиться до того, щоб підібрати асфальтобетон з необхідними показниками міцності і деформативності в широкому температурному діапазоні, при мінімальних економічних витратах. Слід відмітити, що особливість такого розгляду полягає ще й в тому, що замість невизначеного поняття “матеріал з оптимальними властивостями”, розглядається більш конкретне поняття “матеріал з оптимальними властивостями для даної конструкції”.

В різних роботах дослідників можна спостерігати негативне відношення до фрезерованого матеріалу як до відходу. Наприклад у перших дослідженнях ДП «ДерждорНДІ» де фрезерований матеріал розглядається як сміття що потребує утилізації, а не як цінний будівельний матеріал.

Інші дослідження стосуються виключно приготування регенованого асфальтобетону на основі цементу, що дозволяє без особливих труднощів отримати більш однорідне покриття із значними фізико-механічними характеристиками. Але в цьому випадку фрезерований матеріал не розкриває весь свій потенціал а виступає в ролі заповнювача. Існуючий бітум ніяк не використовується. І досліджень в цьому напрямку не проводиться [1,15].

Також є можливість ознайомитися із дослідженнями по гарячій технології (метод REMIX) яка є ефективною але не завжди може конкурувати із холодними технологіями та має ряд істотних недоліків. Це недотримання температурних режимів, що відбувається практично постійно, значне подорожчання енергоносіїв, не вирішення проблеми відновлення старого бітуму, при змішуванні на дорозі значна неоднорідність покриття. Треба відмітити складність розрахунку підбору складу регенованої суміші [8, 16] та неможливість дотримання однорідності.

Також відсутні роботи у напрямку розробки повноцінних шарів покриття із фрезерованого асфальтобетону.

Також викликає подив суттєве обмеження вмісту фрезерованого матеріалу в регенованому асфальтобетоні [8] максимальна кількість фрезерованого матеріалу в деяких дослідженнях у щільному асфальтобетоні складає всього 35%.

Також в усіх роботах регенований асфальтобетон розглядається виключно як нижній шар покриття хоча у такого матеріалу є перспектива та при належному відношенні можна розробити технологію влаштування верхніх шарів покриття [11,12].

Цілі роботи полягають в забезпеченні якості регенованих шарів дорожнього одягу за рахунок удосконалення методики підбору складу регенованої суміші з фрезерованого матеріалу, встановлення фактичної неоднорідності шарів існуючого дорожнього одягу та неоднорідності показників фізико – механічних характеристик регенованого асфальтобетону при змішуванні на місці та в установці.

Основний матеріал.

1. Встановлення фактичної неоднорідності шарів існуючого дорожнього одягу

Досвід впровадження технології холодного ресайклінгу на місці має недоліки, що часто унеможливує використання даного способу в умовах України. В основному через неоднорідність існуючого дорожнього одягу який будувався у різні роки з порушеннями вимог нормативних документів. На рис. 1. наведено приклад зміни товщини шарів дорожнього одягу по глибині.

2. Удосконалення методики підбору складу рецикльованої суміші

Для визначення показників якості існуючого шару асфальтобетону були відібрані проби фрезерованого покриття в трьох ділянках автомобільної дороги. Визначалися наступні показники: зерновий склад із бітумом, зерновий склад без бітуму, вміст старого бітуму.

Зерновий склад готової наведено у на рис. 2 а.

Із експериментальних даних можна зробити висновок, що фрезерований асфальтобетон є дуже подрібненим фрезою та потребує додавання нового матеріалу. В даному випадку прийнято рішення додавати суміш фр. 0-40 мм у кількості 63 % необхідній для підбору суміші, яка за гранулометричним складом відповідає гарячому пористому асфальтобетону.

Зернові склади готової суміші наведено на рис. 2б.

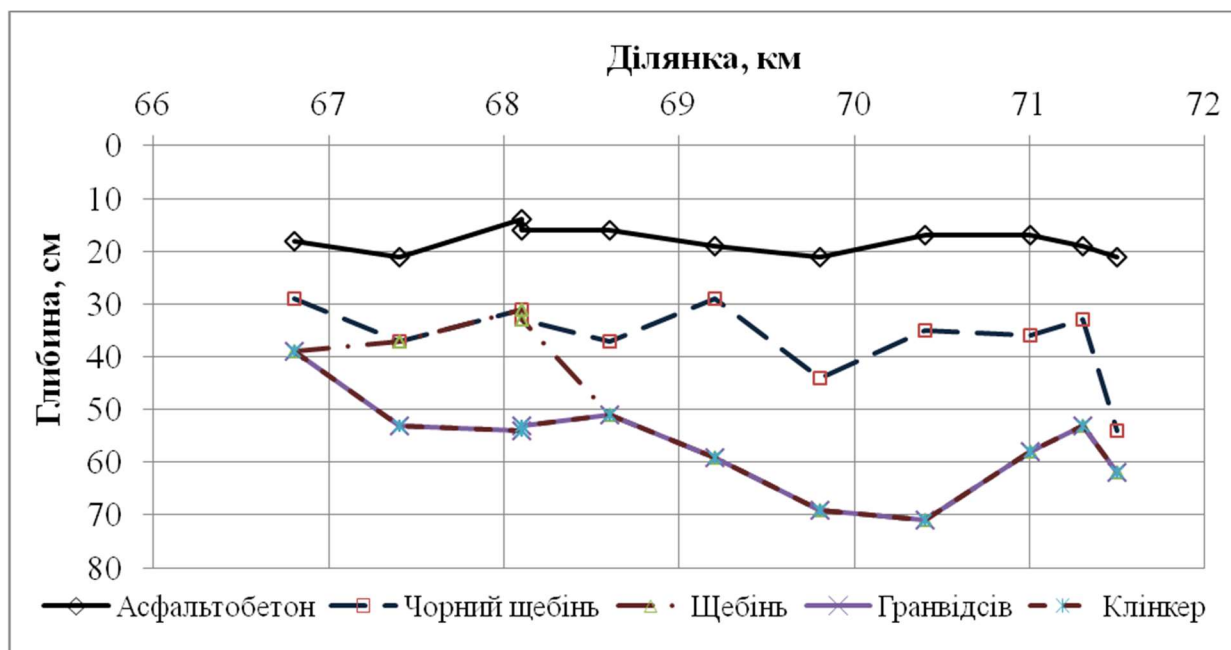


Рисунок 1 – Зміна товщини шарів дорожнього одягу
Figure 1 – Layers thickness changing by depth road clothing

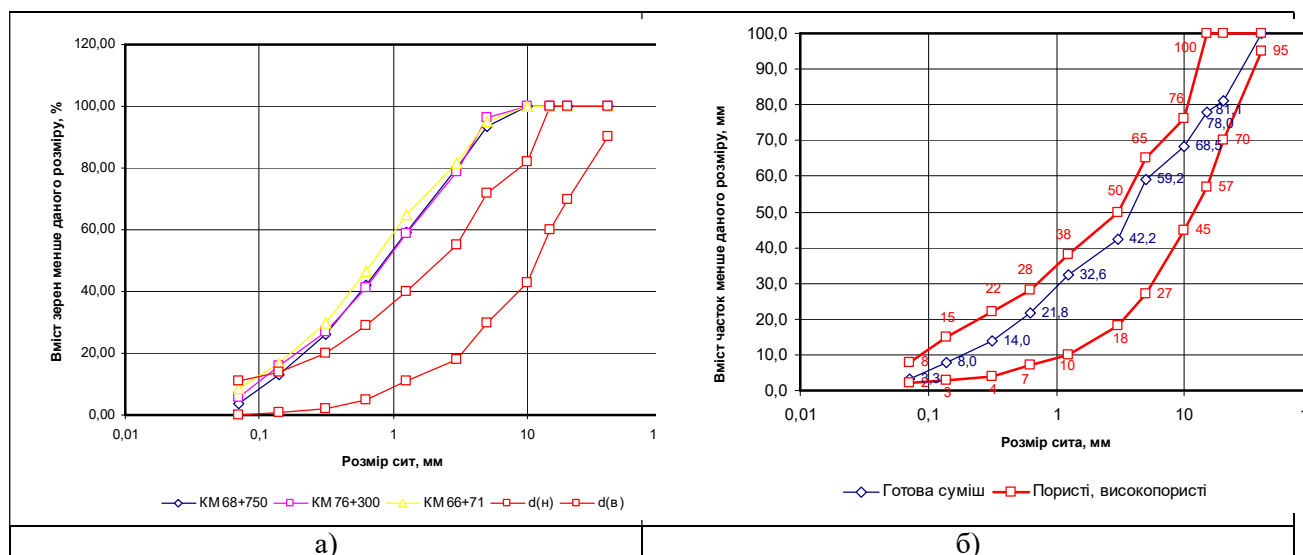


Рисунок 2 – Зерновий склад а) готової суміші; б) фрезерованого матеріалу без бітуму
 Figure 2 – Grain composition a) finished mixture; b) milled material without bitumen

Необхідну кількість органічного в'язучого розраховуємо по бітумоемкості підібраної суміші

$$B_6 = ((0,05 * (100 - I_{2,5}) + 0,12 * ((100 - I_{0,071}) - (100 - I_{2,5})) + 0,6 * I_{0,071}) * 55) / B_e, \quad (5)$$

де,

I – вміст зерен менше даного розміру для відповідного сита, %

B_e – вміст бітуму в емульсії

Для даної суміші вміст емульсії становить 8,73 %

Вміст бітуму при 60 % емульсії – 5,24 %

Від розрахункової кількості бітуму віднімаємо бітум який знаходиться у фрезерованому асфальтобетоні – 2,81 % та отримуємо необхідну кількість бітуму –

$$5,24 - 2,81 = 2,43 \%$$

За аналітичним аналізом складу органо-мінеральної суміші визначено, що для забезпечення оптимальної гранулометрії у суміш необхідно додати щебінь фракції 0-40 мм в кількості – 63 % за масою або щебенево-піщану суміш С-7 згідно з ДСТУ Б В.7-30-95. Кількість органічного в'язучого (бітуму) в органо-мінеральній суміші, яке становить від 7,4 до 7,9 % від маси кам'яного матеріалу.

Дослідження показали, що для укріплення основи необхідно використовувати комбіноване в'язуче: бітумна емульсія, спінений бітум та портландцемент марки М400.

Органо-мінеральну суміш потрібно укріплювати комбінованим в'язучим, за умови забезпечення розрахункових характеристик: модуля пружності 1600 МПа та фактичної міцності на згин 0,4 МПа при розрахунковій температурі, 0°C

Визначені такі склади в'язучих:

1. цементу – 3 % та бітумної емульсії 2,0 % від маси кам'яних матеріалів;
2. цементу – 3 % та спіненого бітуму 1,3 % від маси кам'яних матеріалів.

Отже для приготування регенованого асфальтобетону марки М 20 при співвідношенні фрезерованого матеріалу 35% та нової щебенево - піщаної суміші суміші 75% необхідний вміст цементу М 400 складає 2,8% і бітумної емульсії 60% концентрації ЕК-П 2,0%.

Відповідно до науково-дослідної роботи для автомобільної дороги загального користування державного значення Н-24 Благовіщенське – Миколаїв (через м. Вознесенськ), км 75+500 - км 77+500, Миколаївська область та на реконструкцію автомобільної дороги загального користування державного значення Р-06 Ульяновка - Миколаїв (через м. Вознесенськ), км 183+200 - км 185+800, Миколаївська область, надано рекомендований підбір складу регенованої суміші марки М20.

До підбору складу регенованої суміші марки М20 входить:

1. Фрезерований матеріал -30 %, новий доданий матеріал 0-40 мм – 70 %;
2. Вміст цементу М400 складає 2,0 %, бітумної емульсії складає 2,5 %;
3. Середнє значення міцності на стиск на сьому добу 2,1 МПа

3. Встановлення неоднорідності фізико – механічних характеристик регенованого асфальтобетону

Статистичний аналіз результатів випробувань вказує на можливість досягнення на АБЗ коефіцієнту варіації міцності на стиск на 28 добу знаходиться в межах 6,28 ... 6,46% (табл. 1) та 6,45... 7,24. Тобто, зразки відібрані з покриття будуть характеризуватися коефіцієнтом варіації в межах 8 ... 10%. Це практично в 2 рази менше ніж розкид даних для технології перемішування на місці (більше 18%)..

Таблиця 1 – Результати статистичної обробки даних
Table 1 – Results of statistical data processing

Характеристики	Щільність вологого матеріалу, г/см ³	Міцність при стиску, МПа				Водонасичення, % по об'єму	Коефіцієнт тривалої водостійкості
		(Діаметр 101 мм) 7 діб	(Діаметр 101 мм) 28 діб	Водонасичених зразків при температурі 20 °С	При температурі 50 °С		
1	2	3	4	5	6	7	8
Результати статистичної обробки даних червень 2016 р.							
Середнє:	2,31	4,01	5,81	5,38	4,02	7,30	0,96
Максимальне	2,28	3,17	4,50	4,22	3,16	4,90	0,90
Мінімальне	0,03	0,84	1,31	1,16	0,86	2,40	0,06
Розмах	2,30	3,52	5,07	4,80	3,42	6,03	0,94
Стандартне відхилення	0,01	0,26	0,32	0,31	0,21	0,69	0,02
Коефіцієнт варіації	0,41	7,31	6,28	6,46	6,14	11,42	2,27
Розрахункове значення Мінімальне	2,28	3,08	4,53	4,27	3,06	4,85	0,90
Максимальне	2,31	3,96	5,62	5,33	3,78	7,20	0,97
Межі СОУ 45.2-00018112 - 061:2011 Т5.3			≥ 4 МПа	≥ 4 МПа	≥ 1 МПа	≤ 8	>0,7

Нижче в табл. 3 зведені результати визначення розрахункового значення міцності основи при незмінному середньому значенні характеристик міцності

$$\begin{aligned} R_{x_{min}} &= R_{cp} \cdot (1 - 1,71 \cdot C_v); \\ R_{x_{max}} &= R_{cp} \cdot (1 + 1,71 \cdot C_v); \end{aligned} \quad (5)$$

при 2 х способах будівництва при відповідно коефіцієнті варіації 10-12% для перемішування на АБЗ та 18 - 20 % для перемішування на місці.

Таблиця 2 – Результати статистичної обробки даних
Table 2 – Results of statistical data processing

Характеристики	Щільність вологого матеріалу, г/см ³	Міцність при стиску, МПа				Водонасичення, % по об'єму	Коефіцієнт тривалості водостійкості
		(Діаметр 101 мм) 7 діб	(Діаметр 101 мм) 28 діб	Водонасичених зразків при температурі 20 °С	При температурі 50 °С		
1	2	3	4	5	6	7	8
Результати статистичної обробки даних							
Середнє:	2,33	4,01	5,81	5,38	4,86	7,40	0,95
Максимальне	2,28	2,30	4,60	4,46	3,16	4,90	0,91
Мінімальне	0,05	1,71	1,21	0,92	1,70	2,50	0,04
Розмах	2,30	3,51	5,15	4,86	3,64	6,39	0,94
Стандартне відхилення	0,01	0,35	0,37	0,31	0,47	0,89	0,03
Коефіцієнт варіації	0,49	10,01	7,24	6,45	12,86	13,88	2,93
Розрахункове значення Мінімальне	2,28	2,91	4,51	4,32	2,84	4,88	0,89
Максимальне	2,32	4,11	5,78	5,40	4,44	7,91	0,98
Межі СОУ 45.2-00018112 - 061:2011 Т5.3			≥ 4 МПа	≥ 4 МПа	≥ 1 МПа	≤ 8	>0,7

Таблиця 3 – Результати визначення розрахункового значення міцності основи
Table 3 – Determining results of base strength calculated value

Параметр	Міцність на стиск, МПа			
	(Діаметр 101 мм) 7 діб	(Діаметр 101 мм) 28 діб	водонасичених зразків при температурі 20 °С	при температурі 50 °С
1	2	3	4	5
Коефіцієнти варіації 10% для перемішування на АБЗ				
Максимальне	4,12	5,94	5,62	4,00
Мінімальне	2,92	4,21	3,98	2,83
Коефіцієнти варіації 18 % для перемішування на місці				
Максимальне	4,60	6,64	6,27	4,47
Мінімальне	2,44	3,51	3,32	2,37
Межі СОУ 45.2-00018112 -061:2011 Т5.3		≥ 4 МПа	≥ 4 МПа	≥ 1 МПа

Таким чином, технологія холодного ресайклінгу з перемішуванням суміші в установці є більш досконалою і дозволяє будувати шари основи заданої якості та довговічності.

4. Встановлення товщини шару основи з урахуванням наявного матеріалу

Перед початком робі з капітального ремонту необхідно визначити товщини шарів дорожнього одягу для вирахування глибини фрезерування.

За результатами визначення товщини на всій протяжності ділянки автомобільної дороги встановлено середньо – зважену товщину асфальтобетонних шарів для лівого проїзду 0,162 м, для правого - 0,171 м, та в середньому - $\mu = 16.6$ см, коефіцієнт варіації 13%, середньо - квадратичне відхилення $\sigma = 16.6 \cdot 13/100 = 2,16$ см.

За допомогою функції $N=norm(n, \mu, \sigma)$ в середовищі MathCad 15 виконана генерація випадкових чисел, які підлягають нормальному закону. За результатами обробки даних визначення товщини побудована гістограма та теоретична крива нормального розподілу товщини асфальтобетону існуючого дорожнього одягу (рис. 2).

Для визначення необхідної глибини фрезерування розглянуто варіанти зняття верхнього шару на різну глибину. Приклади зміни теоретичної щільності розподілу товщини після зняття 8 та 9 см асфальтобетону наведені на рис 3. та 4.

Мінімальна товщина асфальтобетону 4,2 см. Товщина асфальтобетону з достовірністю 90% - 5,55 см, 95% - 5,20 см.

Із умови збереження суцільності та міцності асфальтобетонного шару при проїзді автотранспорту в процесі будівництва нового покриття дороги товщина після фрезерування повинна бути не менше 5 см. Тоді раціональна товщина зняття шару має бути 10 см.

Аналіз отриманих результатів підтверджує раніше вказані закономірності:

- для перемішування на місці (коефіцієнт варіації 18 %) міцність при стиску на 28 добу як сухих так і водонасичених зразків буде знаходитися в межах від 3,32 МПа (фактично марка М30) до 6,64 (максимальна марка М60), що є недопустимими межами для міцності основи так як буде відбуватися руйнування основи під дією рухомого навантаження (на ділянках де міцність менша 4 МПа), та викликать відображені тріщини при міцності більше 6 МПа (марка більше М 60);

- для перемішування на АБЗ (коефіцієнт варіації 10%) міцність при стиску на 28 добу як сухих так і водонасичених зразків буде знаходитися в межах від 3,98 МПа (фактично марка М40) до 5,94 (максимальна марка М60), що є допустимими межами для міцності основи яка не руйнується від навантаження та не викликає появу відображених тріщин.

Ще більш важливим є точність дозування в'язучого при марці укріпленого матеріалу М 20.

Так, наприклад, для забезпечення марки за міцністю на стиск М 20 (із забезпеченістю 95% для нормального закону розподілу):

- при перемішуванні на місці (коефіцієнт варіації 18 %) середнє значення міцності має бути не менше

$$R_{cp} = 2,0 \cdot (1 + 1,64 \cdot 0,18) = 2,59 \text{ МПа (25,9 кгс/см}^2\text{)},$$

а середньо – квадратичне відхилення буде становити 0,466 МПа (4,66 кгс/см²). Тоді мінімальне значення міцності буде 1,19 МПа (11,9 кгс/см²), а максимальне 3,99 МПа (39,9 кгс/см²).

- при перемішуванні на АБЗ (коефіцієнт варіації 10%) середнє значення міцності має бути не менше

$$R_{cp} = 2,0 \cdot (1 + 1,64 \cdot 0,10) = 2,33 \text{ МПа (23,3 кгс/см}^2\text{)}.$$

А середньо – квадратичне відхилення буде становити 0,233 МПа (2,33 кгс/см²). Тоді мінімальне значення міцності буде 1,63 МПа (16,3 кгс/см²). а максимальне 3,03 МПа (30,3 кгс/см²).

Тобто, для марки М 20 при перемішуванні на місці, фактично буде спостерігатися розкид даних від марки 10 до марки 40, а при перемішуванні на АБЗ від М 15 до М 30. Тому ресайклінг на місці для марки М 20 є недоцільним, через небезпечність появи ділянок з недостатньою міцністю. Також, для перемішування на АБЗ слід дотримуватися середнього значення міцності не менше 25 кгс/см². При суворому дотриманні компонентів суміші та параметрів технології влаштування регенованого шару та догляду за ним. При неможливості налагодити контроль якості та неоднорідності фрезерованого матеріалу необхідно дотримуватися середньої міцності матеріалу на 28 добу не менше 3,0 МПа (30 кгс/см²).

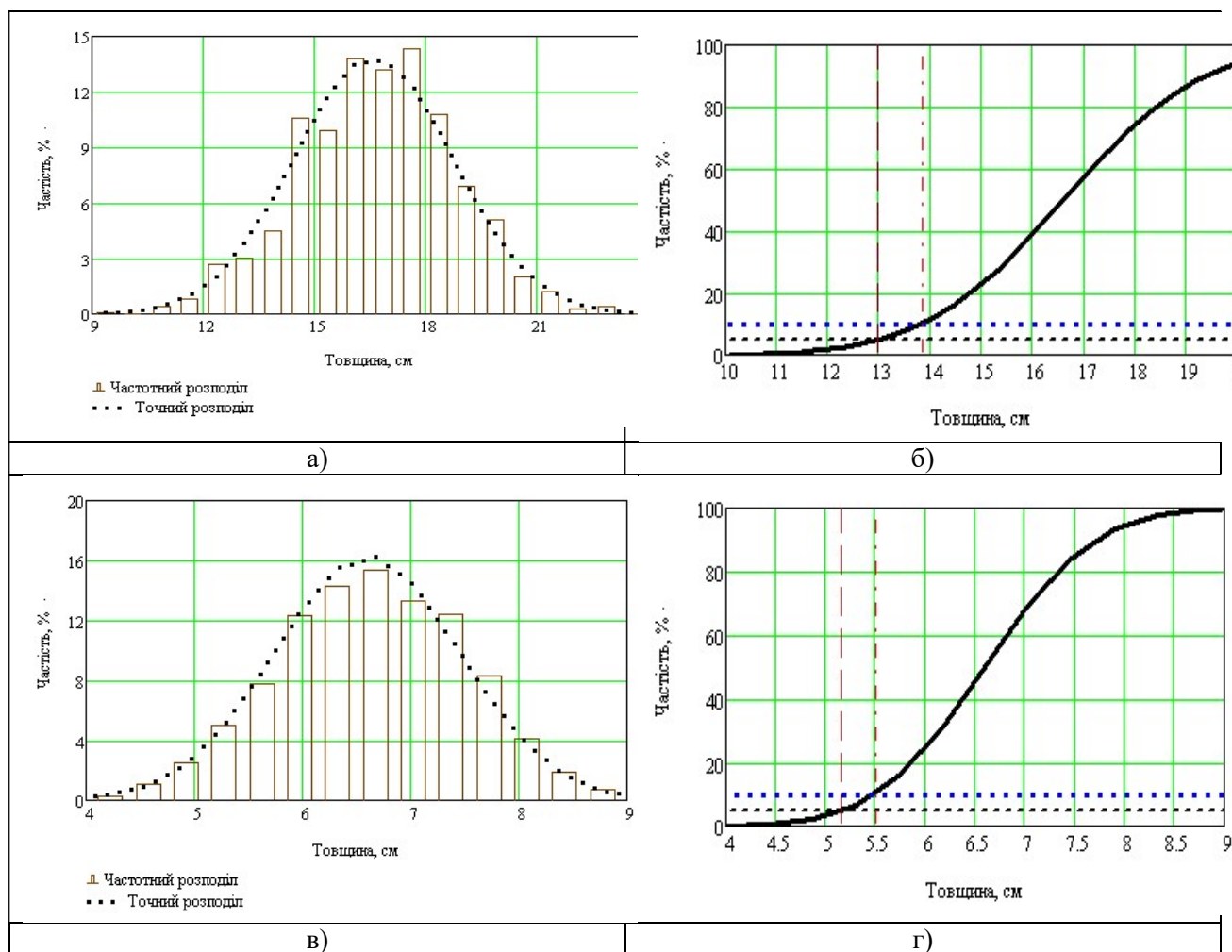


Рисунок 3 – Гістограма та диференційна крива та функція розподілу за результатами моделювання: а) б) товщини асфальтобетонних шарів існуючого дорожнього одягу; в), г) після фрезерування 10 см асфальтобетону

Figure 3 – Histogram and differential curve and distribution function based on simulation results: a), b) asphalt concrete layers thickness of existing road surface; c), d) asphalt concrete after milling 10 cm.

Висновки

При використанні технології холодного ресайклінгу на місці не вдається досягнути однакової міцності основи, що часто необхідно для отримання рівномірної конструкції по всій протяжності ділянки дороги. Поява тріщин, поперечної нерівності, ухилу. В такому випадку неможливо гарантувати надійність конструкції.

Вказаних недоліків немає в технології приготування суміші в установці. Із аналізу даних можна зробити висновок, що при 2-х способах будівництва коефіцієнт варіації становить 10-12% для перемішування на АБЗ та 18 - 20 % для перемішування на місці.

Таким чином, технологія холодного ресайклінгу з перемішуванням суміші в установці є більш досконалою і дозволяє будувати шари основи заданої якості та довговічності. При дотриманні вказаних вище коефіцієнтів варіації та середнього значення міцності якість регенованої основи може бути забезпечена навіть при використанні замість комбінованого в'язучого (цемент+ бітумна емульсія, цемент+ спінений бітум) портландцементу М 400 (до 3,5%) при ретельному підборі складу суміші та її контролі складу в процесі виготовлення та дотримання технології влаштування шару основи.

За результатами виконаних досліджень рекомендовано «Шар з органо-мінеральної суміші з фрезерованого матеріалу виготовлений за методом холодного ресайклінгу (в установці) (30 %) з додаванням щебенево-піщаної суміші С-7 марки М-20 (70 %) укріпленої комплексним в'язучим, бітумної емульсії ЕК-П (2,5 %) та цементу М400 (2,0 %), згідно СОУ 45.2-0018112-061:2011».

Результати досліджень реалізовано на АД Київ – Ковель за 8 років немає жодної тріщини. Будуть реалізовані на АД Н-24 Благовіщенське – Миколаїв (через м. Вознесенськ), км 75+500 - км 77+500, Миколаївська область та при реконструкції автомобільної дороги Р-06 Ульяновка - Миколаїв (через м. Вознесенськ), км 183+200 - км 185+800, Миколаївська область.

Необхідно розробити методику оцінки надійності проміжних шарів дорожнього одягу із регенованого асфальтобетону.

Перелік посилань

1. В. Жданюк, Д. Сибильский Рециклирование дорожных одежд. Часть 1. Руководство по холодному рециклированию дорожных одежд непосредственно на дороге с применением цемента. Х.: Изд-во ХНАДУ, 2005. -76 с.
2. В. Жданюк, Д. Сибильский Рециклирование дорожных одежд. Часть 2. Руководство по холодному рециклированию дорожных одежд с применением битумной змульсии и вспененного битума.- Х.: Изд-во ХНАДУ, 2006.- 78 с.
3. В. Жданюк, Д. Сибильский Рециклирование дорожных одежд. Часть 3. Руководство по горячему рециклированию асфальтобетона старых покрытий на заводе. - Х.: Изд-во ХНАДУ, 2006.- 52 с.
4. Дмитриченко М.Ф., Дмитрієв М.М., Гамеляк І.П., Райковський В.Ф., Якименко Я.М. Надійність конструкцій дорожнього одягу. Навч. посібник. К.: НТУ. 2012.- 206 с.
5. Горелишев М.В. Прогрессивные конструкции дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием. Автомобильные дороги. 1971. №10. С.5-7.
6. Сюньи Г.К., Усманов К.Х., Файнберг З.С. Регенерированный дорожный асфальтобетон. М.: Транспорт, 1984. - 118 с.
7. Золотарьов В.А. Довговічність дорожніх асфальтобетонів. Харків: Вища школа, Видавництво при ХДУ, 1977. -116 с.
8. Нагайчук В.М., Ілляш С І., Терещенко Т.А. Особливості гарячого ресайклінгу на дорозі зі зміною гранулометричного складу асфальтобетонної суміші. Автошляховик України. 2018 № 4. С. 20-27.
9. Головка С.К. Дослідження способів повторного використання дорожньо-будівельних матеріалів при ремонті дорожніх одягів капітального типу. Будівництво та цивільна інженерія. Вип. 24. С. 60-71.
- 10.Р В.3.2-218-02070915-204-2003 Рекомендації по регенерації та повторному використанню фрезерованого асфальтобетону. Київ 2003. -32 с.
- 11.ТТР 42.1-37641918-418:2017 Типовий технологічний регламент на виготовлення бітумомінеральних сумішей з використанням асфальтобетонної крихти. Київ. 2017. -34 с.
- 12.ДСТУ 8976:2020 Матеріали дорожні, виготовлені за технологією холодного ресайклінгу. Технічні умови. Київ. 2020. -98 с.
- 13.[ДСТУ 8977:2020 Матеріали дорожні, виготовлені за технологією холодного ресайклінгу. Методи випробування.](#)
- 14.[ДСТУ 8978:2020 Настанова з улаштування шарів дорожнього одягу за технологією холодного ресайклінгу.](#)
- 15.Р В.3.2-218-03450778-301-2004 Рекомендації по холодному ресайклінгу дорожнього одягу комплектом машин WR 2500 та WM 1000 Р. Київ. 2004. -32 с.
- 16.Р В.3.2-03450778-837:2014 Рекомендації з відновлення зношених шарів асфальтобетонного покриття за технологією гарячого ресайклінгу на дорозі. – Рекомендовано Науковою радою Укравтодору; протокол від 03.12.2014. № 2.-28 с.
- 17.Р В.2.7-37641918-887:2017 Рекомендації з підбору складу та застосування бітумомінеральних сумішей з використанням асфальтобетонної крихти. Рекомендовано Науковою радою Укравтодору, протокол від 05.10.2017. № 1. -40 с
- 18.ВБН В.2.3-218-539:2007 Споруди транспорту. Влаштування шарів дорожнього одягу автомобільних доріг загального користування з холодних сумішей, що містять фрезерований асфальтобетон.
- 19.[ДСТУ EN 13108-8:2018 Бітумомінеральні суміші. Технічні умови. Частина 8. Регенований асфальтобетон \(EN 13108-8:2016, IDT\).](#)

QUALITY IMPROVING OF REGENERATED ASPHALT CONCRETE

Gameliak Igor P., Doctor of Engineering Sciences, professor, Head of department «Airports», National Transport University. <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>

Dmytrychenko Andij M., Candidate of Engineering Sciences, associate professor of department transport law and logistic, National Transport University. <https://orcid.org/0000-0001-6144-7533>

Zhuravskiy Demyan L., chief of laboratory, ShRBU N100 (Kyiv, Ukraine). <https://orcid.org/0000-0003-2277-4333>

Abstract. Asphalt concrete regeneration is a technology for processing old asphalt-concrete milled material, restoration involving and characteristics improvement for reuse during coating installation, as well as for other road works.

Old asphalt concrete processing is a resource-saving technology that can significantly reduce, material consumption of road repairs and work related with road surfaces installations. The regenerated asphalt mix, in addition to arranging layers of pavement, can also be used to create road base upper layers.

Depending on the method of regeneration and volume of old material used in the regenerated mixture preparation, it is possible to reduce the cost of restoring pavement by 30% compared to traditional technology, when work using a new asphalt mix, is performed.

The main methods of asphalt concrete regeneration in [1 - 5]. Old asphalt concrete material regeneration can be carried out in two main ways:

- at an asphalt concrete plant, when old asphalt material processing previously removed (by cold or hot milling) is carried out in stationary or mobile mixing plants;
- at the working place, when the regeneration of the old asphalt material is carried out directly in the process of laying the coating with the help of special road construction equipment (thermoprofilers, remixers, recyclers, etc.). Old asphalt pavement milling can be carried out in a cold or hot way. In the case of hot milling, infrared heaters are used to preheat asphalt concrete.

There are several basic regeneration methods of old asphalt concrete at the work site:

- hot regeneration;
- method of thermoplasticization - hot regeneration of old asphalt material with addition to its composition a plasticizer;
- thermomixing method - hot regeneration of old asphalt material with addition a new asphalt mix, as well as rubble, bitumen binder and plasticizer;
- thermoprofiling method - hot regeneration of old asphalt material without adding a new asphalt mix.
- cold regeneration - restoration of old asphalt material without heating with addition organics and mineral binders, stone material, as well as various impurities that improve regenerated material characteristics.

An important stage regeneration preceding of old asphalt concrete is the composition design of new regenerated mixture. Are determined, when selecting composition processing technology, type of mixing plant, is determined amount of old asphalt concrete in the regenerated mixture composition. Then determine composition and properties of milled asphalt concrete, evaluate the grain composition of mineral materials, viscosity of bitumen and its content in the old mixture. Similarly, evaluating the properties of new mineral materials and binders.

After that, calculating the regenerated mixture composition of mineral part and the amount of old asphalt concrete is specified, based on the mineral components resulting ratio. Based on data on content and viscosity of bitumen in the old mixture, the amount and viscosity of the new bitumen are selected to prepare the regenerated mixture. With a high viscosity of bitumen in the old asphalt concrete, the use of plasticizers is provided. Taking into account the data obtained, the composition of the regenerated mixture is finally determined.

The procedure for selecting regenerated asphalt concrete composition:

- Determination mineral materials of grain composition, binder content and properties in the old asphalt concrete.
- Determination new materials of grain composition and new binder properties.
- Calculating composition regenerated mixture of the mineral part and determining amount of old asphalt concrete, taking into account mixing plant type.
- Determination amount of new bitumen in regenerated asphalt mix composition.
- Determination viscosity required of new bitumen and the amount of plasticizer.

- Determination regenerated mixture composition, preparation and control samples testing of regenerated asphalt concrete.

- Clarification regenerated mixture composition according to the test results of control samples.

Keywords: asphalt concrete regeneration, milling, methods asphalt mix regeneration, asphalt concrete composition

References

1. V. Zhdaniuk, D. Syblyskiy Recycling of road clothes. Part 1. Guide to cold recycling of road clothing directly on the road using cement. X.: publishing house KhNADU, 2005. -76 p. [in Russian].
2. V. Zhdaniuk, D. Syblyskiy Recycling of road clothes. Part 2. Guide to cold recycling of road clothing using bitumen emulsion and foamed bitumen.- X.: publishing house KhNADU, 2006. -78 p. [in Russian].
3. V. Zhdaniuk, D. Recycling of road clothes. Part 3. Guide to hot recycling of old asphalt concrete coated at the plant. - X.: publishing house KhNADU, 2006.- 52 p. [in Russian].
4. Dmytrychenko M.F., Dmytriiev M.M., Hamelyak I.P., Raikovskiy V.F., Yakymenko Y.M. Reliability of road clothing structures. Education manual K.: NTU. 2012. -206 p. [in Ukrainian].
5. Horelyshev M.V. Progressive constructions of road clothing with asphalt concrete coating. Automobile roads. 1971. №10. p.5-7. [in Russian].
6. Siuny H.K., Usmanov K.Kh., Fainberh Z.S. Regenerated road asphalt concrete. M.: Transport, 1984. - 118 p. [in Russian].
7. Zolotarov V.A. Durability of road asphalt concrete. Kharkiv: Higher School, Publishing House KhDU, 1977. -116 p. [in Ukrainian].
8. Nahaichuk V.M., Illiash S I., Tereshchenko T.A. Features of hot recycling on the road with a change in the granulometric composition of the asphalt concrete mixture. Highway of Ukraine. 2018 № 4. p. 20-27. [in Ukrainian].
9. Holovko S.K. Study of methods of reuse of road construction materials in the repair of capital-type road clothing. Construction and civil engineering. publishing. 24. p. 60-71. [in Ukrainian].
- 10.R V.3.2-218-02070915-204-2003 Recommendations for regeneration and reuse of milled asphalt concrete. Kyiv 2003.- 32 p. [in Ukrainian].
- 11.TTR 42.1-37641918-418:2017 Standard technological regulations for the production of bituminous-mineral mixtures using asphalt concrete crumb. Kyiv. 2017. 34 p. [in Ukrainian].
- 12.DSTU 8976:2020 Road materials manufactured using cold recycling technology. Specifications. Kyiv. 2020. -98 p. [in Ukrainian].
- 13.DSTU 8977:2020 Road materials manufactured using cold recycling technology. Test methods. [in Ukrainian].
- 14.DSTU 8978:2020 Instructions for arranging layers of road clothing using cold recycling technology. [in Ukrainian].
- 15.R V.3.2-218-03450778-301-2004 Recommendations for cold recycling of road clothing with a set of WR 2500 and WM 1000 machines. Kyiv.. 2004. 32 p. [in Ukrainian].
- 16.R V.3.2-03450778-837:2014 Recommendations for restoration of worn layers of asphalt concrete pavement using hot recycling technology on the road. – Recommended by the Scientific Council of Ukravtodor; protocol from 03.12.2014. № 2.-28 p. [in Ukrainian].
- 17.R V.2.7-37641918-887:2017 Recommendations for selecting the composition and application of bituminous-mineral mixtures using asphalt concrete crumb. Recommended by the Scientific Council of Ukravtodor, protocol dated 05.10.2017. № 1. -40 p. [in Ukrainian].
18. VBN V.2.3-218-539:2007 Transport facilities. Arrangement of road wear layers of public highways from cold mixtures containing milled asphalt concrete. [in Ukrainian].
- 19.DSTU EN 13108-8:2018 Bituminous-mineral mixtures. Specifications. Part 8. Regenerated asphalt concrete (EN 13108-8:2016, IDT). [in Ukrainian].