

УДК 625.7/.8

## СУЧАСНІ УМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЧОРНОГО ЩЕБЕНЮ В ШАРАХ НЕЖОРСТКИХ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ

**Гончаренко В.В.**, канд.техн.наук, завідувач відділу

**Кушнір О.В.**, завідувач сектору

**Рудий В.В.**, нач. головного випробувального центру

**Закерничний О.В.**, мол. наук. співробітник

**Ткач О.М.**, мол. наук. співробітник

**Катукова В.М.**, інженер

**Гончар І.І.**, інженер

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

---

В сучасних умовах в Україні, як і в усьому світі, відбувається динамічне зростання інтенсивності руху автомобілів та навантаження на вісь. Щоб забезпечити надійну роботу дорожніх конструкцій в таких умовах, необхідно докорінно підвищити якість дорожніх робіт на основі застосування нових технологій, техніки та матеріалів, а також знайти нові ефективні способи застосування традиційних, перевірених досвідом дорожньо-будівельних матеріалів. До таких матеріалів належить чорний щебінь – дорожньо-будівельний матеріал, який широко застосовували в Україні, починаючи з 60-х років минулого століття.

Широкому застосуванню чорного щебеню сприяли його основні переваги: технологічність, простота застосування та економічність, що обумовлено температурними режимами приготування та меншими витратами в'язучого в порівнянні з бітумомінеральними сумішами. Крім того, застосування холодного чорного щебеню дозволяє завчасно заготовляти матеріал протягом всього року та зберігати значний час.

Сфера використання чорного щебеню досить широка – для влаштування основ і покриттів та додаткових шарів основ, при влаштуванні поверхневої обробки, для підвищення шорсткості покриттів з литих асфальтобетонів, для ямкового ремонту і ліквідації колії, для вирівнювання поперечного профілю старих покриттів тощо.

В дорожніх конструкціях при влаштуванні основ дорожніх одягів застосовуються щебеневи матеріали як найбільш доступні, економічні та технологічні. Застосування чорного щебеню забезпечує більшу міцність, тепло – та водостійкість дорожніх одягів в порівнянні з неукріпленими щебеневидами шарами.

Однак, при всіх перерахованих перевагах чорного щебеню в шарах дорожнього одягу на практиці рідко реалізуються потенційні можливості щебеневи матеріалів взагалі, а чорного щебеню зокрема, у підвищенні міцності дорожніх одягів. При застосуванні щебеневи матеріалів та чорного щебеню в шарах дорожнього одягу виникають наступні проблеми:

- при нормуванні вимог до вихідних щебеневи матеріалів в недостатній мірі враховуються особливості технології влаштування і контролю якості, а також механіки роботи щебеневи основ дорожнього одягу в процесі експлуатації автомобільної дороги;

- влаштування щебеневи шарів з однофракційного щебеню без заклинювання призводить до зниження показників щільності і жорсткості, яких можна досягти лише при досягненні оптимального зернового складу;

- невизначеність досить важливої для формування шару вимоги по доущільненню основ або покриттів з холодного чорного щебеню шляхом регулювання руху транспорту, так як вказана в ВБН В.2.3-218-189 [1] умова «за необхідністю» не визначена ніякими критеріями;

- умовність і безпідставність візуальної перевірки якості ущільнення щебених шарів за утворенням перед котком хвиль;

- відсутність кількісних і технічно обґрунтованих критеріїв якості ущільнення призводить, як правило, до неправомірних оцінок і рішень;

- недостатнє врахування можливості міграції бітуму в літній період року при застосуванні чорного щебеню в основі асфальтобетонних покриттів;

- недоліком влаштування щебених шарів за способом заклинювання є «нерівномірна щільність по глибині», що не відповідає розвитку конструктивних і технологічних рішень у зв'язку із зростанням автомобільних навантажень і необхідністю збільшення товщини конструктивних шарів.

Основні принципи застосування та ущільнення щебених матеріалів в шарах дорожнього одягу розглянуто в роботах Салля А.О., Радовського Б.С., Ісаєва В.С., Малеванського В.В. та інше. Дослідженнями чорного щебеню для дорожніх робіт займалися Казарновська Е.А., Калерт А.А. та інше.

У ДП «ДерждорНДІ» протягом багатьох років проводились лабораторні дослідження та дослідне впровадження чорного щебеню на автомобільних дорогах України співробітниками Духовним І.З. та Кучмою М.І., Кириченко Л.Ф., Рудим В.В., Нагайчуком В.М.

Основні напрямки досліджень:

- вплив хіміко-мінералогічного складу гірських порід, міцності, розміру та форми зерен щебеню на якість чорного щебеню;

- вплив хімічного складу та в'язкості бітуму на характер зв'язків, що утворюються при взаємодії бітуму з поверхнею мінеральних матеріалів;

- визначення співвідношення складових чорного щебеню та орієнтовного вмісту бітуму в залежності від складу щебеню та марки бітуму;

- уточнення температурного режиму приготування чорного щебеню і тривалості перемішування;

- вплив добавок на покращення зчеплюваності бітуму з мінеральними матеріалами та водостійкості чорного щебеню, міцність та стабільність шару з чорного щебеню під дією експлуатаційних факторів.

- вплив в'язкості та кількості бітуму, форми та розміру зерен щебеню та хіміко-мінералогічного складу, температури приготування чорного щебеню, товщини бітумної плівки на злежуваність холодного чорного щебеню;

- вплив спеціальних добавок та технологічних прийомів на злежуваність холодного чорного щебеню при тривалому зберіганні;

- вплив технологічних параметрів (точність дозування матеріалів, температури їх нагріву і тривалість перемішування) на довговічність дорожніх покриттів і основ з чорного щебеню.

У 2014 році ДП «ДерждорНДІ» відповідно до Тематичного плану науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт Укравтодору на 2014 рік розроблено стандарт організації України СОУ 42.1-37641918-124:2014 «Щебінь чорний для дорожніх робіт. Технічні умови».

При розробці стандарту на чорний щебінь проводились дослідження невирішених раніше проблем застосування матеріалу. В результаті проведених досліджень та дослідного їх опробування в польових умовах при розробці СОУ було внесено ряд нововведень в порівнянні з вимогами до чорного щебеню, наведеними в старих технічних умовах. Нормування вимог до вихідних матеріалів з врахуванням особливостей механіки роботи щебених матеріалів в дорожньому одязі та особливостей контролю якості чорного щебеню, як композитного матеріалу, є основними відмінностями нормування технічних показників при розробці СОУ на чорний щебінь.

Щоб охарактеризувати чорний щебінь, який поставляється на дорогу у вигляді окремих фракцій або суміші фракцій, введено поняття «композит із чорного щебеню». Це штучно створений матеріал, отриманий методом заклинювання основної фракції щебеню розклиновальними фракціями або ущільненням суміші фракцій.

В стандарті уточнено класифікацію чорного щебеню, зокрема, поняття «щебінь чорний холодний, що укладається в гарячому стані» викладено в наступній редакції, «щебінь чорний холодний застосовують одразу після виготовлення (без проміжного зберігання)».

У відповідності із сучасними уявленнями механіки роботи дорожніх одягів міцність щебених шарів залежить від показника жорсткості щебеневої основи (модуля пружності) і горизонтального бічного розпору (постійно діючого напруження при стиску, яке виникає при ущільненні і підтримується в процесі експлуатації під дією автомобільного руху). Під час ущільнення у щебеному шарі виникає зачеплення зерен. Цей постійно діючий бічний розпір надає шару здатність сприймати напруження розтягу, підвищує жорсткість шару при роботі на згин і зсувостійкість в умовах впливу автомобільних навантажень. Значення розпору у щебеному шарі становить від 0,2-0,5 МПа у покритті до 0,05-0,10 МПа в шарі основи. Міцність каменю впливає на модуль пружності значно менше, ніж щільність укладання щебеню. З метою підвищення жорсткості основ при виборі кам'яних матеріалів перевагу слід віддавати щебеню, що легко ущільнюється, марки менше 800 [1].

На несучу здатність щебеневого шару впливає форма зерен: чим менше лещадних або голчастих зерен, тим вона вище. При цьому більш ефективна форма зерен – не кубовидна, а у формі тетраедра. Застосування щебеню кубовидно-тетраедальної форми зерен забезпечує більш щільну упаковку, краще заклинювання із створенням бічного розпору, і як наслідок, підвищену жорсткість. Щебенева основа ущільнюється не тільки за рахунок заповнення пор розклиновальними матеріалами і просторової переорієнтації зерен, але й за рахунок деякого подрібнення зерен основного розсипу (самозаклинювання). Тому застосування для влаштування основи традиційним методом заклинювання важкоущільнювального щебеню з вивержених порід марки більше 1000 або щебеню з гравію звичайно пов'язано з певними труднощами.

Виконання цих правил сприяє створенню в шарі, що ущільнюється, бічного розпору, необхідного для попередження дефектів, пов'язаних з недостатньою щільністю.

Існують певні шляхи підвищення якості щебених основ [2]:

- використання легкоущільнюваного щебеню з гірських порід марки 800;
- перехід на суміш двох – трьох фракцій і щебенево-піщані суміші;
- реалізація ущільнюваності шляхом інтенсифікації ущільнення;
- використання щебеню клиновидно-тетраедральних форм;
- влаштування захисного шару на піщаній основі;
- вдосконалення контролю якості.

Недостатнє врахування цих заходів призводить до появи руйнувань на покритті, зокрема колії, в зв'язку з чим обмежують застосування чорного щебеню в шарах основи дорожнього одягу автомобільних доріг I–II категорій, зокрема в якості конструктивних заходів щодо підвищення колієстійкості дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям пропонується не застосовувати в шарах основи фракційний щебінь, фракційний щебінь з просочуванням або напівпросочуванням, а також чорний щебінь [3].

Чорний щебінь застосовують у вигляді фракцій або сумішей фракцій відповідно до номінальних розмірів зерен.

Співвідношення фракцій щебеню у сумішах уточнюють за результатами підбору складу. При розробці СОУ було надано зерновий склад щебеню чорного із суміші фракцій при влаштуванні основ дорожнього одягу (табл. 1), який забезпечує кращу щільність шару із чорного щебеню.

**Таблиця 1** – Зерновий склад щебеню чорного із суміші фракцій 5–40 мм

Вид суміші	Вміст зерен щебеню, у відсотках дрібніше даного розміру, мм				
	40	20	15	10	5
Крупнозерниста	95–100	50–75	–	18–40	0–25
Середньозерниста	–	95–100	67–75	20–48	0–35

Вміст бітуму у чорному щебеню залежить від температури перемішування, марки в'язучого та зернового складу щебеню згідно з розробленим СОУ. Нормований вміст бітуму становить від 1,5 % до 4,2 %. Оцінка якості чорного щебеню відбувається візуально – у чорному щебені не повинно бути згустків в'язучого, плівка в'язучого повинна повністю покривати щебінь рівномірно, бітум не повинен стікати з поверхні щебеню.

З досвіду влаштування нежорстких дорожніх одягів відомо, що в літній період на поверхні асфальтобетонного покриттів автомобільних доріг, влаштованих у південних областях України, можуть з'являтися «жирні» плями та поздовжні смуги, а, в подальшому, колійність, викликана недостатньою зсувостійкістю покриття. Міграція бітуму на поверхню покриття відбувається у жарку літню погоду, коли в'язкість бітуму знижується, під впливом руху транспорту. Серед причин такого явища на першому місці є невідповідність співвідношення структуроутворювальних компонентів асфальтобетонної суміші, а на другому – стан основи, на яку укладається органомінеральна суміш. Це може бути надмірний вміст в'язучого або надмірна кількість підгрунтовки. В таких випадках частина бітуму може мігрувати на поверхню покриття. Тому, доцільно оцінювати показник стікання в'язучого при температурі випуску чорного щебеню, який визначається аналогічно з щебенево-мастиковим асфальтобетоном, і повинен становити для чорного щебеню від 0,03 % до 0,08 % за масою.

При призначенні видів та марок бітумних в'язучих для чорного щебеню були внесені коригування, які стосувались застосування рідких середньогустіючих розріджених бітумів БСГР 70/130, БСГР 130/200 згідно з СОУ 45.2-00018112-036 [3].

Температура нагріву чорного щебеню перед змішуванням залежить від марки бітумного в'язучого і умов обробки. Прийняті температури нагріву бітумного в'язучого і щебеню перед його обробкою бітумом та готового чорного щебеню на виході із змішувача як на в'язких (табл. 2), так і на рідких бітумах наведено в табл. 3.

## МАТЕРІАЛИ

**Таблиця 2** – Температурний режим приготування гарячого чорного щебеню

Марка бітуму	Температура, °С		
	бітумного в'язучого, що дозується у змішувач	щебеню на виході із сушильного барабану	щебеню чорного при випуску із змішувача
БНД 60/90, БНД 40/60	130–150	150–170	140–160
БНД 90/130	100–120	110–130	100–120
БНД 130/200	100–120	110–130	110–130

**Примітка 1.** При застосуванні ПАР температура нагріву необробленого щебеню при приготуванні гарячого чорного щебеню та в'язкого бітуму зменшують на (10–20) °С.

**Примітка 2.** При сухій та теплій погоді (температура повітря вище ніж + 10°С) слід при дотримуватися нижніх меж температури нагріву, при більш холодній погоді (температура повітря нижче ніж + 10°С) – верхніх меж і, крім того, застосовувати ПАР.

**Таблиця 3** – Температурний режим приготування холодного чорного щебеню

Марка бітуму	Температура, °С		
	бітумного в'язучого, що дозується у змішувач	щебеню на виході із сушильного барабану	щебеню чорного на виході зі змішувача
МГО 130/200	90–110	125–145	100–120
МГ 130/200	90–110	125–145	100–120
СГ 130/200	80–105	115–140	90–110
МГО 70/130, МГ 70/130	80–90	115–125	80–110
СГ 70/130	80–90	110–125	80–110
БСГР 70/130, БСГР 130/200	70–100	110–125	80–110

Для приготування чорного щебеню передбачено використання бітумних дорожніх емульсій згідно з ДСТУ Б В.2.7-129 [5]. Це дозволяє досягти наступних переваг: мінеральні матеріали краще обробляються бітумним в'язучим, що знижує витрати в'язучого і зменшує час перемішування. Щебінь перемішують з бітумною емульсією у холодному стані, що зменшує витрати енергії на просушування і підігрів мінеральних складових.

У липні 2014 р. працівниками АБЗ у м. Звенигородка Черкаської області за участі представників ДП «ДерждорНД» проведено виготовлення холодного чорного щебеню із суміші трьох суміжних фракцій. Підбір складу чорного щебеню із суміші трьох суміжних фракцій включав вибір та випробування складових матеріалів та визначення раціонального співвідношення між складовими суміші для отримання необхідних властивостей чорно-щебеневої суміші.

Орієнтовна кількість бітуму становила (2,8–3,0) % та уточнювалась при виготовленні суміші. Характеристика вихідних матеріалів:

Щебінь гранітний Єрківського кар'єру Черкаської області.

- Фр. (20–40) мм

- Фр. (10–20) мм

- Фр. (5–20) мм

Бітум БНД 60/90 – 87 %.

## МАТЕРІАЛИ

Розріджувач – дизпаливо – 13 %.

Результати випробувань вихідних матеріалів наведено в таблицях 4, 5.

**Таблиця 4** – Результати випробувань в'язкого бітуму

Назва показника	Вимоги ДСТУ 4044	Результати випробувань
Глибина проникнення голки (пенетрація) за температури 25 °С, П <sub>25</sub> , град.	Від 61 до 90	77
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °С	Від 47 до 53	49
Розтяжність (дуктильність), см, за температури 25 °С, не менше	55	70

Висновок: бітум відповідає марці БНД 60/90.

**Таблиця 5** – Результати випробування бітуму СГ 70/130

Найменування показників	Вимоги ГОСТ 11955-82	Результати випробувань
1. Умовна в'язкість по віскозиметру з отвором 5 мм за температури 60 °С, сек.	71–130	110
2. Кількість випареного розріджувача, % не менше	8	8,2
3. Температура розм'якшення після визначення кількості випареного розчинника, °С, не нижче	39	41
4. Температура спалаху, яка визначена у відкритому тиглі, °С, не нижче	50	86

Висновок: виготовлений бітум відповідає марці СГ 70/130 і придатний для приготування холодної чорної щебеневої суміші.

Холодний чорний щебінь із суміші фракцій використовувався для ремонтних робіт на місцевих автомобільних дорогах Черкаської області з полегшеним типом покриття.

Результати підбору складу чорного щебеню холодного із трьох суміжних фракцій наведено в табл. 6.

**Таблиця 6** – Розрахунок зернового складу холодного чорного щебеню, виготовленого з суміші трьох фракцій

Матеріал	Зерновий склад у % при розмірах сит, мм					
	40	20	15	10	5	Менше 5
	Склад вихідних матеріалів у часткових залишках					
Щебінь фр.20–40мм	5,49	94,41				0,1
Щебінь фр.10–20мм		5,9		87,4	6,3	0,4
Щебінь фр.5–20мм				6,43	76,55	16,92
	Склад вихідних матеріалів з вмістом мінерального матеріалу дрібніше даних розмірів					
Щебінь фр.20–40мм	94,5	0,1		0,1	0,1	0,0
Щебінь фр.10–20мм	100,0	94,1		6,7	0,4	0,0
Щебінь фр.5–20мм	100,0	100,0		93,6	16,9	0,0

## МАТЕРІАЛИ

Кінець табл. 6.

Матеріал		Зерновий склад у % при розмірах сит, мм					
		40	20	15	10	5	Менше 5
		Результати розрахунку зернового складу щебеневої суміші					
фр.20–40мм	45 %	42,5	0,0		0,0	0,0	0,0
фр.10–20мм	35 %	35,0	32,9		2,3	0,1	0,0
фр.5–20мм	20 %	20,0	20,00		18,7	3,4	0,0
Всього	100%	97,5	53,0		21,1	3,6	0,0
Орієнтовні вимоги до крупнозернистих сумішей		95–100	50–75		18–40	0–25	
Відповідність вимогам		+	+		+	+	

На рисунку 1 зображено робочий процес виготовлення щебеню чорного холодного із суміші трьох фракцій на АБЗ у м. Звенигородка Черкаської області.



а)



б)

*а) подача суміші фракцій в необхідних пропорціях стрічкою до місця нагрівання та змішування; б) готовий чорний щебінь холодний із суміші трьох фракцій.*

*Рисунок 1 – Процес виготовлення холодного чорного щебеню на АБЗ*

В готовому чорному щебені в діапазоні робочих температур не допускається наявність зерен, не покритих в'язучим. Органічне в'язуче повинно зберігатись на поверхні зерен щебеню і обволікати їх рівномірно, без згустків і розривів.

Результати визначення показнику стікання органічного в'язучого при температурі випуску щебеню чорного холодного близько 80 °С наведено в табл. 7.

Таблиця 7 – Результати випробування чорного щебеню на стікання

Найменування показників	Орієнтовні вимоги, %	Результати випробувань			Точність вимірювання	
		1	2	3	Середнє арифметичне	Середнє квадр. відхилен.
Показник стікання, % не більше:	0,03–0,08					
холодний ЧЩ з 2,8 % бітуму		0,024	0,026	0,03	0,027	0,003
холодний ЧЩ з 3,0 % бітуму		0,067	0,071	0,065	0,068	0,003

Для попередження стікання холодний чорний щебінь на рідких бітумах необхідно перевозити при температурі близько 60 °С. Перевезення холодного чорного щебеню, виготовленого із суміші фракцій, здійснювали у автомобілях-самоскидах у літню спекотну погоду. Температура на місці укладання чорно-щебеневої суміші складала близько 67 °С, слідів стікання бітуму у кузові автомобіля відмічено не було.

Для досягнення запланованого ефекту від використання чорного щебеню в конструктивних шарах необхідною умовою є його ущільнення до такого стану, при якому під впливом руху транспорту не буде відбуватися перерозподіл часток щебеню та доущільнення матеріалу шару. Оскільки для контролю якості укладання чорного щебеню немає можливості контролювати щільність укладання шляхом переформовки зразків або об'ємно-ваговим методом (методом «лунки») та іншим чином, запропоновано оцінювати якість за модулем пружності всієї влаштованої конструкції, включаючи нижні шари. Встановлений випробуваннями загальний модуль пружності конструкції дорожньої основи повинен бути не менше проектного значення.

Таким чином, при розробці нового стандарту на щебінь чорний для дорожніх робіт було максимально використано показники, наведені в раніше розроблених технічних умовах, результати багаторічних досліджень, виконаних у ДП «ДерждорНДІ», результати аналізу досвіду впровадження чорного щебеню, основні положення механіки роботи щебених матеріалів в шарах дорожнього одягу, а також показники контролю якості чорного щебеню як композитного матеріалу.

### Висновки

1. Результати вивчення та аналізу джерел інформації, нормативних документів та досвіду застосування чорного щебеню в Україні та за кордоном підтвердили необхідність та своєчасність перегляду старих технічних умов на чорний щебінь для дорожніх робіт.

2. В розробленому СОУ враховано вимоги чинних нормативних документів, результати наукових досліджень, значний досвід застосування чорного щебеню в Україні та сучасні умови роботи дорожньо-будівельних матеріалів в конструкціях дорожнього одягу.

3. При розробці стандарту на чорний щебінь були враховані особливості механіки роботи шарів з щебених матеріалів в шарах дорожнього одягу, а також показників контролю якості чорного щебеню як композитного матеріалу, що є основними відмінностями нормування технічних показників чорного щебеню.



4. Результати польових випробувань в процесі дослідного виготовлення холодного чорного щебеню із суміші фракцій у виробничих умовах на АБЗ підтвердили правильність підбору складу суміші та призначення показника стікання за вимогами розроблюваного стандарту.

5. Запропоновано оцінювати якість ущільнення шару дорожнього одягу із чорного щебеню за модулем пружності всієї влаштованої конструкції, включаючи нижні шари. Встановлений випробуваннями загальний модуль пружності конструкції дорожньої основи повинен бути не менше проектного значення.

### Література

1. ВБН В.2.3-218-189-2005 Споруди транспорту. Влаштування неукріплених та укріплених щебених і гравійних шарів основ дорожніх одягів.
2. Салль А.О. Возможности и пути повышения качества щебеночных оснований. Журнал «Дорожная техника». – 2002. (А.О. Салль. Возможности і шляхи підвищення якості щебених основ. Журнал «Дорожня техніка». – 2002.).
3. Мозговий В.В., Онищенко А.М., Гаркуша М.В., Аксьонов С.Ю. (НТУ). Сучасні аспекти підвищення колістійкістінежорсткого дорожнього одягу. Журнал «Автомобільні дороги», № 5. К. – 2012. – С. 25–30.
4. СОУ 45.2-00018112-036:2009 Будівельні матеріали. Бітуми та бітумополімери рідкі. Технічні умови.
5. ДСТУ Б В.2.7-129:2013 Будівельні матеріали. Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови.