

**ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ
(УКРАВТОДОР)**

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

03113, м. Київ, проспект Перемоги, 57; тел. (044) 456-34-15; e-mail: dornauka@dorndi.org.ua



ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший заступник директора
ДП «ДерждорНД»

А. О. Цинка

« 29 » 04 2020 р.

З В І Т
ПРО НАДАННЯ ПОСЛУГ
за договором від 24.12.2019 № 1907190 / 804-19

Дослідження можливості використання щебених матеріалів
виробництва АТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ»
під час будівництва автомобільних доріг
(заключний)

Завідувач відділу бітумних в'язучих
та асфальтобетонів

І. В. Копинець

2020

Рукопис закінчено 29 04 2020 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник,
завідувач відділу бітумних
в'язучих та асфальтобетонів



І. В. Копинець
(загальне керівництво, участь у
експериментальних
дослідженнях, написання звіту за
етап)

Відповідальний виконавець,
завідувач лабораторії
бітумних в'язучих відділу
бітумних в'язучих та
асфальтобетонів



О. В. Соколов
(експериментальні дослідження,
написання звіту за етап)

Виконавці:

Молодший науковий
співробітник лабораторії
асфальтобетонів відділу
бітумних в'язучих та
асфальтобетонів



А. Д. Желтобрюх
(експериментальні дослідження,
написання звіту за етап)

Молодший науковий
співробітник відділу
бітумних в'язучих та
асфальтобетонів

В. С. Головченко
(експериментальні дослідження)

РЕФЕРАТ

Звіт про надання послуг: 36 с., 14 табл., 5 рис., 27 джерел.

БІТУМ, ВЛАСТИВОСТІ, ВІДХОДИ ПРОМИСЛОВОСТІ, ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ПСОК, ШЛАК МЕТАЛУРГІЙНИЙ, ЩЕБІНЬ, ЩЕБЕНЕВО-ПІЩАНА СУМІШ.

Об'єкт дослідження – щебеневі матеріали виробництва АТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ».

Мета дослідження – встановлення можливості використання щебених матеріалів виробництва АТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ» під час будівництва автомобільних доріг.

Метод дослідження – експериментальні дослідження щебених матеріалів виробництва АТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ» та асфальтобетонів, отриманих.

Проведено експериментальні дослідження з встановлення фізико-механічних властивостей щебеню фракції 5 – 10 мм, щебеню фракції 10 – 20 мм, щебеню фракції 20 – 40 мм, щебеню фракції 40 – 70 мм, щебенево-піщаної суміші з максимальним розміром зерен 20 мм, щебенево-піщаної суміші з максимальним розміром зерен 40 мм, щебенево-піщаної суміші з максимальним розміром зерен 70 мм та піску із відсівів подрібнення фракції 0 – 5 мм.

Проведено експериментальні дослідження асфальтобетонів: крупнозернистого, щільного, типу А1, непереривчастої гранулометрії, марки І; дрібнозернистого, щільного, типу А з максимальним розміром зерен 20 мм та 10 мм, непереривчастої гранулометрії, марки І; піщаного, типу Г, непереривчастої гранулометрії, марки І.

Встановлено відповідність досліджуваних матеріалів вимогам національних стандартів та визначено область їх застосування для влаштування конструктивних шарів дорожнього одягу.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Загальні положення.....	6
2 Методи випробування.....	6
3 Вихідні матеріали.....	11
4 Застосування щебених матеріалів із шлаків металургійних.....	12
5 Результати випробування.....	13
Висновки.....	31
Перелік джерел посилання.....	33
Додаток А (довідковий) Приклади конструкцій дорожнього одягу з використанням щебених матеріалів виробництва АТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ».....	36

ВСТУП

Під час влаштування та відновлення шарів дорожнього одягу з застосуванням щебених матеріалів в Україні, поряд з природними матеріалами в якості сировини широко використовують відходи промисловості, до яких відносять металургійні шлаки.

Збір, вивчення, аналіз джерел інформації щодо щебених матеріалів з металургійних шлаків для влаштування шарів дорожнього одягу автомобільних доріг показав, що потреба в використанні цих матеріалів з кожним роком зростає [1 - 9].

Доцільність використання місцевих матеріалів, включаючи матеріали з металургійних шлаків, встановлено Державною цільовою економічною програмою розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки [10] та розпорядженням Кабінету міністрів України [11]. Тому дослідження щебених матеріалів із шлаків металургійних є актуальним та своєчасним.

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

У відділі бітумних в'язучих та асфальтобетонів ДП «ДерждорНДІ» виконано дослідження з встановлення можливості використання щебеневих матеріалів виробництва АТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ» під час нового будівництва, реконструкції, капітального та поточного середнього ремонтів автомобільних доріг. Дослідження виконували на підставі договору від 24.12.2019 № 1907190 / 804-19 між ДП «ДерждорНДІ» та АТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ».

Дослідження було проведено в Головному випробувальному центрі ДП «ДерждорНДІ», акредитованому НААУ на компетентність відповідно до вимог ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 (ISO/IEC 17025:2017) згідно із сферою акредитації, та зареєстрованому у Реєстрі 24 травня 2018 року за № 2Т493.

2 МЕТОДИ ВИПРОБУВАННЯ

2.1 Методи випробування заповнювачів

2.1.1 *Зерновий склад*

Зерновий склад щебеню визначали згідно з пунктом 4.3 ДСТУ Б В.2.7-71. Дане випробування полягає в розділенні матеріалу на фракції за крупністю, використовуючи набір різних сит в порядку зменшення розмірів їх отворів. Розміри отворів і кількість сит вибирали відповідно до фракції проби. За результатами випробування встановлювали групу щебеню за найбільшим розміром зерен та відповідність зернового складу вимогам таблиці 5 ДСТУ Б В.2.7-149.

2.1.2 *Вміст пиловидних та глинистих часток*

Вміст пиловидних та глинистих часток визначали згідно з пунктом 4.5 ДСТУ Б В.2.7-71. Дане випробування полягає у відмучуванні пиловидних та глинистих часток (розміром менше ніж 0,05 мм) з проби щебеню. За результатами випробування встановлювали відповідність щебеню вимогам пункту 5.2.9 ДСТУ Б В.2.7-149.

2.1.3 Вміст зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми

Вміст зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми визначали згідно з пунктом 4.7 ДСТУ Б В.2.7-71. Дане випробування полягає у візуальному огляді, відбиранні вручну та вимірюванні розмірів зерен товщина або ширина яких становить менше їх довжини у три та більше разів. За результатами випробування встановлювали форму зерен щебеню згідно з таблицею 6 ДСТУ Б В.2.7-74 та відповідність щебеню вимогам пункту 5.2.7 ДСТУ Б В.2.7-149.

2.1.4 Дробильність

Дробильність щебеню визначали згідно з пунктом 4.8 ДСТУ Б В.2.7-71. Дане випробування полягає у визначенні ступеню руйнування зерен щебеню у результаті стискання (роздавлювання) у циліндрі. За результатами випробування встановлювали марку щебеню за дробильністю згідно з таблицею 6 ДСТУ Б В.2.7-149.

2.1.5 Вміст зерен слабких порід

Вміст зерен слабких порід у щебені визначали згідно з пунктом 4.9 ДСТУ Б В.2.7-71. Дане випробування полягає у розбиранні зерен щебеню за характерними ознаками. За результатами випробування встановлювали відповідність щебеню вимогам таблиці 7 ДСТУ Б В.2.7-149 залежно від марки щебеню за дробильністю.

2.1.6 Стираність у поличному барабані

Стираність щебеню у поличному барабані визначали згідно з пунктом 4.10 ДСТУ Б В.2.7-71. Дане випробування полягає у визначенні ступеню руйнування зерен щебеню у результаті впливу металевих кульок під час обертання в барабані. За результатами випробування встановлювали марку щебеню за стираністю згідно з таблицею 8 ДСТУ Б В.2.7-149.

2.1.7 Морозостійкість

Морозостійкість щебеню визначали згідно з пунктом 4.12 ДСТУ Б В.2.7-71. Дане випробування полягає у визначенні здатності щебеню протистояти поперемінному заморожуванню та відтаванню. За результатами випробування встановлювали марку щебеню за морозостійкістю згідно з таблицею 4 ДСТУ Б В.2.7-75.

2.1.8 Дійсна щільність

Дійсну щільність визначали згідно з пунктом 4.15 ДСТУ Б В.2.7-71. Дане випробування полягає у встановленні густини матеріалу в одиниці об'єму без урахування пор, що містить цей матеріал. Даний показник потрібний для встановлення об'ємних характеристик асфальтобетонних сумішей, бітумомінеральних сумішей тощо.

2.1.9 Середня щільність та пористість

Середню щільність та пористість визначали згідно з пунктом 4.16 ДСТУ Б В.2.7-71. Дане випробування полягає у встановленні густини матеріалу в одиниці об'єму з урахуванням доступних для води пор, що містить цей матеріал, та наступному розрахунку пористості. Даний показник потрібний для встановлення об'ємних характеристик асфальтобетонних сумішей, бітумомінеральних сумішей тощо.

2.1.10 Насипна щільність та пустотність

Насипну щільність та пористість щебеню визначали згідно з пунктом 4.17 ДСТУ Б В.2.7-71. Дане випробування полягає у встановленні густини неущільненого матеріалу в одиниці об'єму та наступному розрахунку пустотності. Даний показник потрібний для перерахунку кількості щебеню з одиниць маси в одиниці об'єму.

2.1.11 Водопоглинання

Водопоглинання визначали згідно з пунктом 4.18 ДСТУ Б В.2.7-71. Дане випробування полягає у встановленні здатності щебеню поглинати воду.

2.1.12 Вологість

Вологість щебеню визначали згідно з пунктом 4.19 ДСТУ Б В.2.7-71. Дане випробування полягає у встановленні кількості вологи в щебені.

2.1.13 Активність

Активність шлаку визначали згідно з пунктом 4.26 ДСТУ Б В.2.7-71. Дане випробування полягає у встановленні здатності шлаку до самоцементації при взаємодії з водою. За активністю шлаку визначають область застосування вироблених з нього щебеневиx матеріалів. Вид шлаку за активністю визначали згідно з таблицею 3 ДСТУ Б В.2.7-149.

2.1.14 Зчеплюваність

Зчеплюваність бітуму зі щебенем визначали згідно з ДСТУ 8787. Дане випробування полягає у визначенні здатності бітуму, нанесеного на поверхню щебеню, протидіяти відшаровувальній дії води. Якість зчеплюваності оцінювали за ступенем збереженості плівки бітуму на зернах щебеню після його кип'ятіння у воді. Зчеплюваність бітуму зі щебенем впливає на водостійкість матеріалів, вміщуючих бітум.

2.2 Методи випробування асфальтобетону

2.2.1 Середня густина асфальтобетону

Середню густину асфальтобетону визначали згідно з розділом 8 ДСТУ Б В.2.7-319. Дане випробування полягає у визначенні гідростатичним зважуванням середньої густини зразків, щовиготовлені в лабораторії або відібрані із конструктивних шарів дорожнього одягу.

2.2.2 Середня густина мінеральної частини (кістяка)

Середню густину мінеральної частини (кістяка) визначали згідно з розділом 9 ДСТУ Б В.2.7-319. Дане випробування полягає у визначенні густини мінеральної частини (кістяка) асфальтобетону зрахуванням його пустотності розрахунком на основі попередньо встановленої середньої густини зразків і співвідношення мінеральних матеріалів та в'язучого.

2.2.3 Дійсна густина мінеральної частини (кістяка)

Дійсну густину мінеральної частини (кістяка) визначали згідно з розділом 10 ДСТУ Б В.2.7-319. Дане випробування полягає у визначенні шляхом розрахунку (на основі попередньо встановленої дійсної густини окремих мінеральних матеріалів: щебеню згідно з ДСТУ Б В.2.7-71, піску згідно з ДСТУ Б В.2.7-232, мінерального порошку згідно з ДСТУ 8772) густини мінеральної частини (кістяка) суміші без урахування пор та порожнин, які вона має.

2.2.4 Дійсна густина асфальтобетонної суміші

Дійсну густину асфальтобетонної суміші визначали згідно з розділом 11 ДСТУ Б В.2.7-319. Дане випробування полягає у визначенні густини суміші без урахування пор, які вона має, розрахунком на основі попередньо встановленої

дійсної густини мінеральної частини суміші, дійсної густини в'язучого та їх масових співвідношень.

2.2.5 Пористість мінеральної частини (кістяка)

Пористість мінеральної частини (кістяка) визначали згідно з розділом 12 ДСТУ Б В.2.7-319. Дане випробування полягає у визначенні об'єму пор, які містяться в мінеральній частині (кістяку)асфальтобетону, розрахунком на основі попередньо встановлених значень середньої та дійсної густини мінеральної частини суміші.

2.2.6 Залишкова пористість

Залишкову пористість визначали згідно з розділом 13 ДСТУ Б В.2.7-319. Дане випробування полягає у визначенні об'єму пор, які містяться в асфальтобетоні, розрахунком на основі попередньо встановлених середньої густини асфальтобетону та дійсної густини асфальтобетонної суміші.

2.2.7 Водонасичення

Водонасичення визначали згідно з розділом 14 ДСТУ Б В.2.7-319. Дане випробування полягає у визначенні кількості води, яку поглинає зразок при заданому режимі насичення.

2.2.8 Границя міцності при стиску

Границю міцності при стиску визначали згідно з розділом 16 ДСТУ Б В.2.7-319. Дане випробування полягає у визначенні граничного напруження, що призводить до руйнування зразка за заданих умов випробування.

2.2.9 Коефіцієнт довготривалої водостійкості

Коефіцієнт довготривалої водостійкості визначали згідно з розділом 23 ДСТУ Б В.2.7-319. Дане випробування полягає у визначенні ступеня зниження міцності при стиску зразків асфальтобетонів під дією на них води протягом 15 діб порівняно зі зразками, витриманими на повітрі за температури $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$.

2.2.10 Морозостійкість

Морозостійкість визначали згідно з розділом 26 ДСТУ Б В.2.7-319. Дане випробування полягає у визначенні втрати міцності при стиску по твірній попередньо водонасичених зразків після 25 циклів заморожування-відтавання.

3 ВИХІДНІ МАТЕРІАЛИ

Під час проведення досліджень використовували:

– щебінь фракції 5 – 10 мм виробництва АТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ»;

– щебінь фракції 10 – 20 мм виробництва АТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ»;

– щебінь фракції 20 – 40 мм виробництва АТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ»;

– щебінь фракції 40 – 70 мм виробництва АТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ»;

– щебенево-піщана суміш з максимальним розміром зерен 20 мм виробництва АТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ»;

– щебенево-піщана суміш з максимальним розміром зерен 40 мм виробництва АТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ»;

– щебенево-піщана суміш з максимальним розміром зерен 70 мм виробництва АТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ»;

– пісок із відсівів подрібнення фракції 0 – 5 мм виробництва АТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ»;

– бітум марки БНД 60/90 виробництва ВАТ «Мозирський НПЗ» згідно з ДСТУ 4044;

– адгезійні добавки на основі поверхнево-активних речовин АД 1 та АД 2;

– мінеральний порошок згідно з ДСТУ Б В.2.7-121.

4 ЗАСТОСУВАННЯ ЩЕБЕНЕВИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ШЛАКІВ МЕТАЛУРГІЙНИХ

Область використання щебених матеріалів визначається їх властивостями. Щебени матеріали можна використовувати як без в'язучих (для влаштування незв'язних шарів дорожнього одягу), так і з в'язучими (бітумними, мінеральними). Відповідно до пункту 11.1 ДСТУ Б В.2.7-30 щебени матеріали без в'язучих використовують для влаштування покриття, шарів основи, додаткових шарів основи, вирівнювання поверхні шарів основи дорожнього одягу на автомобільних дорогах загального користування методом заклинки або з сумішей. При цьому, влаштування покриття із щебених матеріалів можливе на автомобільних дорогах IV – V категорії, а шарів основи – I – V категорії. Вимоги до щебених матеріалів із шлаків металургійних для влаштування покриття та основи дорожнього одягу з незв'язних матеріалів наведено в таблиці 1 (витяг з ДСТУ Б В.2.7-30).

Таблиця 1 – Вимоги до щебених матеріалів із шлаків металургійних

Ч. ч.	Найменування показника	Значення показника для шарів дорожнього одягу			
		покриття		основи	
		категорія автомобільно дороги			
		IV (нижній шар)	V	I - III	IV - V
1	Марка за міцністю (за дробильністю), не нижче ніж	800	600	600	300
2	Марка за стираністю, не нижче ніж	Ст-II	Ст-III	Ст-III	Ст-III – Ст-IV
3	Марка щебеню за морозостійкістю для районів за середньою температурою повітря найхолоднішого місяця року, °C, не нижче ніж: - від 0 до мінус 5 - від мінус 5 до мінус 10	F15	F15	F15	-
		F25	F25	F25	F25
4	Вміст зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми, % за масою, не більше ніж	15	15	35	-

Найбільш поширеним дорожньо-будівельним матеріалом, в якому щебеневі матеріали використовують в поєднанні з в'язучим, є асфальтобетонні суміші. Вимоги до щебневих матеріалів, що застосовують для виробництва асфальтобетонних сумішей, є вищими ніж до щебневих матеріалів, що застосовують у незв'язному вигляді. Насамперед це обумовлено тим, що асфальтобетонні суміші використовують для влаштування шарів покриття та основи при більшій інтенсивності руху транспортних засобів і, відповідно, більшому навантаженні на конструкцію дорожнього одягу. Вимоги до щебеню із шлаків металургійних для виробництва асфальтобетонних сумішей наведено в таблиці 2 (витяг з ДСТУ Б В.2.7-119).

Таблиця 2 – Вимоги до щебеню із шлаків металургійних для виробництва асфальтобетонних сумішей

Ч. ч.	Найменування показника	Значення показника для асфальтобетонних сумішей типу				
		A1, A	B1, B	B	A-B	ЩМА
1	Марка за міцністю (за дробильністю), не нижче ніж	1200/ 1000	1000/ 800	800/ 600	800/ 600	1000
2	Марка за стираністю, не нижче ніж	Ст-I/Ст-I	Ст-I/Ст-II	Ст-II/Ст-III	-/-	Ст-I
4	Марка за морозостійкістю, не нижче ніж - у районах А-1, А-2, А-3, А-6 та у Кримських горах - у районах А-4, А-5 та А-7	F50/F50	F50/F50	F50/F25	F25/F15	F50
		F25/F25	F25/F25	F25/F15	F25/F15	
5	Вміст зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми, відсоток за масою, не більше ніж	15/17	20/25	30/35	-/-	15
Примітка. У чисельнику надано вимоги до щебеню для асфальтобетонних сумішей марки І, в знаменнику – марки ІІ.						

5 РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАННЯ

5.1 Результати випробування щебневих матеріалів

Результати випробування щебеню наведено в таблиці 3, піску із відсівів подрібнення – в таблиці 4, щебенево-піщаної суміші – в таблиці 5.

Таблиця 3 – Результати випробування щебеню

Ч.ч.	Найменування показників	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-149	Фактичні значення показників для фракції			
			5 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 70
1	2	3	4	5	6	7
1	Зерновий склад за повним залишком на контрольних ситах: - 1,25 Д _{найб} , % за масою - Д _{найб} , % за масою - 0,5 (Д _{найм} + Д _{найб}), % за масою - Д _{найм} , % за масою - 2,5 мм, % за масою - 1,25 мм, % за масою	до 0,5 до 10 від 30 до 80 від 90 до 100 - -	0,4 9,82 78,3 98,6 99,1 99,1	0,0 2,2 46,2 98,0 99,2 99,3	0,0 5,0 30,4 90,3 99,5 99,6	0,0 0,8 71,9 96,3 99,9 99,9
2	Вміст пиловидних та глинистих часток, % за масою	не більше ніж 3,0	0,60	0,43	0,23	0,34
3	Вміст глини у грудках, % за масою	до 0,25	0,0	0,0	0,0	0,0
4	Вміст зерен лещадної та голчастої форми, % за масою	не більше ніж 35	15,0	14,5	7,5	11,7
5	Група за формою зерен	-	кубо-видна	кубо-видна	ока-тана	кубо-видна
6	Втрата маси при випробуванні на міцність за дробильністю, % за масою	до 15	10,8	9,8	12,1	12,1
7	Марка щебеню за міцністю	1200	1200	1200	1200	1200
8	Вміст зерен слабких порід, % за масою	не більше ніж 5	3,8	3,2	1,3	0,7
9	Втрата маси при випробуванні щебеню на стираність, % за масою	до 25	13,8	15,1	15,3	15,3
10	Марка щебеню за стираністю	Ст-I	Ст-I	Ст-I	Ст-I	Ст-I
11	Втрата маси після випробування на морозостійкість (прискорений метод), % за масою	до 5,0	4,8	4,4	4,3	4,5
12	Марка щебеню за морозостійкістю	F100	F100	F100	F100	F100
13	Дійсна щільність, г/см ³	-	2,96	2,95	2,95	2,95
14	Середня щільність, г/см ³	-	2,80	2,90	2,84	2,77

Кінець таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7
15	Пористість, % за об'ємом	-	5,4	1,7	3,7	6,1
16	Насипна щільність, кг/м ³	-	1430	1410	1450	1380
17	Пустотність, % за об'ємом	-	49	51	49	50
18	Водопоглинання, % за масою	-	1,39	0,87	0,79	0,93
19	Вологість, % за масою	-	0,75	0,37	0,28	0,37
20	Зчеплюваність бітуму зі щебенем: - вихідного, бал - модифікованого 0,5 % АД 1 - модифікованого 0,5 % АД 2	- - -	2,5 3,0 3,5	2,5 3,0 4,0	2,5 3,0 4,0	2,5 2,5 3,5
21	Границя міцності при стиску зразків, виготовлених із молотого шлаку, МПа	від 1,0 до 2,5	1,5			
22	Вид шлаку за активністю	Слабоактивний	Слабоактивний			

Таблиця 4 – Результати випробування піску

Ч.ч.	Найменування показників	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-35	Фактичні значення показників
1	Зерновий склад за повним залишком на контрольних ситах, % за масою, з розміром отворів, мм: - 10,0 - 7,5 - 5,0 - 2,5 - 1,25 - 0,63 - 0,315 - 0,16 - 0,071	до 1,0 % - - - - від 65 до 75 - не менше ніж 90 -	0,0 0,0 3,9 32,8 54,4 66,5 78,3 85,7 88,7
2	Модуль крупності	від 3,0 до 3,5	3,2
3	Група піску за крупністю	підвищеної крупності	підвищеної крупності
4	Вміст пиловидних та глинистих часток, % за масою	-	8,33
5	Вміст глини у грудках, % за масою	не більше ніж 0,5	0,0
6	Середня густина, г/см ³	-	3,0
7	Насипна густина, кг/м ³	від 1100 до 1600	1580

Таблиця 5 – Результати випробування щебенево-піщаної суміші

Максимальний розмір зерен, мм	Показник	Повний залишок на контрольному ситі з розміром отворів, мм								
		70	40	20	10	5	2,5	0,63	0,16	0,05
20	Фактичні результати			16,4	39,8	64,0	76,0	88,0	95,5	97,5
	Вимоги до С2			0-20	10-35	25-50	35-60	55-80	65-90	80-92
	Відповідність вимогам			+	-	-	-	-	-	-
	Вимоги до С9			0-20	25-40	40-65	55-80	75-95	90-100	95-100
	Відповідність вимогам			+	+	+	+	+	+	+
	Вимоги до С10			0-20	15-30	30-55	40-70	65-97	85-95	95-100
	Відповідність вимогам			+	-	-	-	+	-	+
40	Фактичні результати		2,0	38,4	51,9	69,8	79,0	89,6	95,8	97,5
	Вимоги до С1		0-15	20-40	35-60	45-70	55-80	65-90	75-92	80-93
	Відповідність вимогам		+	+	+	+	+	+	-	-
	Вимоги до С7		0-15	20-40	40-65	55-80	65-90	85-95	95-100	95-100
	Відповідність вимогам		+	+	+	+	+	+	+	+
	Вимоги до С8		0-15	15-30	30-55	40-70	55-80	75-90	85-95	95-100
	Відповідність вимогам		+	-	+	+	+	+	-	+
70	Фактичні результати	1,2	25,0	58,6	63,8	73,7	81,4	91,5	96,7	98,3
	Вимоги до С5	0-10	20-40	40-65	55-80	65-85	75-90	80-95	90-100	95-100
	Відповідність вимогам	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Вимоги до С6	0-10	15-30	25-50	40-65	50-75	60-85	75-95	90-100	95-100
	Відповідність вимогам	+	+	-	+	+	+	+	+	+

Результати випробування засвідчили, що щебінь фракції 5 – 10 мм, 10 – 20 мм, 20 – 40 мм та 40 – 70 мм за зерновим складом відповідає вимогам таблиці 5 ДСТУ Б В.2.7-149. Вміст пилюватих та глинистих часток в щебені залежно від фракції становить від 0,23 % до 0,6 %, що задовольняє вимоги пункту 5.2.9 ДСТУ Б В.2.7-149 (не більше ніж 3,0 %), а вміст глини у грудках не виявлено.

Вміст зерен лещадної та голчастої форми, % за масою, у щебені фракції 5 – 10 мм становить 15 %, щебені фракції 10 – 20 мм – 14,5 %, щебені фракції 20 – 40 мм – 7,5 %, а у щебені фракції 40 – 70 мм – 11,7 %. За даним показником всі фракції щебеню відповідають вимогам пункту 5.2.7 ДСТУ Б В.2.7-149. Відповідно до класифікації таблиці 6 ДСТУ Б В.2.7-74 за формою зерен щебінь фракції 5 – 10 мм, 10 – 20 мм та 40 – 70 мм може бути віднесено до кубовидної групи, а щебінь фракції 20 – 40 мм – до окатаної.

Втрата маси щебеню при випробуванні на міцність за дробильністю, % за масою, для щебеню фракції 5 – 10 мм становить 10,8 %, щебеню фракції 10 – 20 мм – 9,8 %, а щебеню фракції 10 – 20 мм та 20 – 40 мм – 12,1 %. Відповідно до класифікації таблиці 6 ДСТУ Б В.2.7-149 марка за дробильністю щебеню всіх фракцій становить 1200.

Вміст зерен слабких порід, % за масою, у щебені фракції 5 – 10 мм становить 3,8 %, щебені фракції 10 – 20 мм – 3,2 %, щебені фракції 20 – 40 мм – 1,3 %, а у щебені фракції 40 – 70 мм – 0,7 %. За даним показником всі фракції щебеню відповідають вимогам таблиці 7 ДСТУ Б В.2.7-149 відповідно до марки щебеню за дробильністю 1200 (не більше ніж 5,0 %). При цьому, чим менший розмір фракції щебеню, тим більшим є вміст у ньому зерен слабких порід.

Втрата маси щебеню при випробуванні на стиранисть, % за масою, для щебеню фракції 5 – 10 мм становить 13,8 %, щебеню фракції 10 – 20 мм – 15,1 %, а щебеню фракції 10 – 20 мм та 20 – 40 мм – 15,3 %. Відповідно до класифікації таблиці 8 ДСТУ Б В.2.7-149 марка за стиранистю щебеню всіх фракцій становить Ст-І.

Втрата маси після випробування на морозостійкість, % за масою, прискореним методом шляхом поперемінного витримування щебеню у розчині

сульфату натрію та висушування засвідчили, що досліджуваний щебінь фракції 5 – 10 мм, 10 – 20 мм, 20 – 40 мм та 40 – 70 мм відповідно до таблиці 4 ДСТУ Б В.2.7-75 може бути віднесено до марки F100, оскільки після десятициклів випробування втрата маси щебеню кожної фракції була не більше ніж 5,0 %. При збільшенні кількості циклів випробування до 15, втрата маси щебеню кожної фракції становила більше ніж 5,0 %.

Зчеплюваність бітуму з досліджуваним щебенем фракції 5 – 10 мм, 10 – 20 мм, 20 – 40 мм та 40 – 70 мм є незадовільною та становить 2,5 бали (після випробування від 20 % до 40 % щебеню залишилося вкритою плівкою бітуму), що може негативно позначитися на водостійкості асфальтобетону, виробленого з використанням такого щебеню.

З метою поліпшення зчеплюваності бітуму з досліджуваним щебенем було досліджено вплив двох адгезійних добавок на основі поверхнево-активних речовин (АД 1 та АД 2). Результати випробування показали, що при введенні в бітум адгезійних добавок має місце підвищення зчеплюваності бітуму з досліджуваним щебенем до 3,0 бала (після випробування від 40 % до 60 % щебеню залишилося вкритою плівкою бітуму) та 4,0 бала (після випробування від 75 % до 90 % щебеню залишилося вкритою плівкою бітуму), що свідчить про можливість використання таких добавок для підвищення зчеплюваності бітуму з досліджуваним щебенем. При цьому, вміст добавок треба підбирати в лабораторії, використовуючи бітум, що буде безпосередньо використовуватися з досліджуваним щебенем.

Шлак, що використовують для виробництва досліджуваного щебеню, відповідно до значень границі міцності при стиску зразків, що виготовлені з молотого шлаку з оптимальною вологістю, відповідно до таблиці 3 ДСТУ Б В.2.7-149 може бути віднесений до слабоактивного виду.

Проведені дослідження з визначення зернового складу піску із відсіву подрібнення засвідчили, що досліджуваний пісок має модуль крупності 3,2, що відповідно до таблиці 4 ДСТУ Б В.2.7-35 дозволяє віднести його до групи пісків підвищеної крупності.

Вміст у піску зерен розміром менше ніж 0,16 мм становить 14,3 %, що свідчить про необхідність збагачення піску для забезпечення його відповідності вимогам таблиці 4 ДСТУ Б В.2.7-35 (не більше ніж 10 %).

Насипна густина досліджуваного піску становить 1580 кг/м³, що задовольняє вимоги таблиці 4 ДСТУ Б В.2.7-35.

Проведені дослідження з визначення зернового складу щебенево-піщаних сумішей з максимальним розміром зерен 20 мм, 40 мм та 70 мм засвідчили, що дані суміші належать до щебенево-піщаних для основи дорожнього одягу типу С9, С7 та С5.

5.2 Результати випробування асфальтобетону

Аналіз фактичних результатів випробування відповідно до таблиці 3 та вимог до щебеню відповідно до таблиці 2 засвідчив, що щебінь із шлаків металургійних виробництва АТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ» може бути використано для виробництва асфальтобетонних сумішей усіх типів.

Найбільш використовуваними типами асфальтобетонних сумішей під час будівництва та ремонтів автомобільних доріг є асфальтобетонні суміші, що вміщують значну кількість щебеню (крупнозерниста типу А1 та дрібнозерниста типу А, непереривчастої гранулометрії, марки І), оскільки дані суміші є більш теплостійкими ніж асфальтобетонні суміші інших типів. З піщаних сумішей найбільш використовуваною є асфальтобетонна суміш типу Г, непереривчастої гранулометрії, марки І. Виходячи з цього було проведено асфальтобетонів на основі асфальтобетонних сумішей цих типів.

На основі визначеного зернового складу щебеневих матеріалів було встановлено таке співвідношення між компонентами, щоб гранулометричний склад суміші відповідав вимогам таблиці 7 ДСТУ Б В.2.7-119 для призначеного складу асфальтобетонної суміші.

Результати підбору гранулометричного складу асфальтобетонних сумішей наведено в таблицях 6 – 9, а також на рисунках 1 – 4.

Таблиця 6 – Результати підбору гранулометричного складу мінеральної частини асфальтобетонної суміші типу А1

Мінеральний матеріал	Вміст мінеральних зерен в суміші, % за масою	Вміст мінеральних зерен, % за масою, дрібніше даного розміру, мм											
		40	25	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Зерновий склад вихідних матеріалів													
Щебінь фр. 20-40	–	95,00	30,00	9,70	2,40	2,00	1,00	0,50	0,40	0,23	0,23	0,23	0,23
Щебінь фр. 10-20	–	100,00	100,00	97,80	53,80	2,00	1,00	0,80	0,70	0,43	0,43	0,43	0,43
Щебінь фр. 5-10	–	100,00	100,00	100,00	100,00	90,18	1,40	0,90	0,90	0,60	0,60	0,60	0,60
Пісок із відсіву подрібнення	–	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	96,10	67,20	45,60	33,50	21,70	14,30	11,30
Порошок мінеральний	–	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,12	96,20	87,60	72,00
Підібраний зерновий склад мінеральної частини асфальтобетону													
Щебінь фр. 20-40	30	28,50	9,00	2,91	0,72	0,60	0,30	0,15	0,12	0,07	0,07	0,07	0,07
Щебінь фр. 10-20	17	17,00	17,00	16,63	9,15	0,34	0,17	0,14	0,12	0,07	0,07	0,07	0,07
Щебінь фр. 5-10	15	15,00	15,00	15,00	15,00	13,53	0,21	0,14	0,14	0,09	0,09	0,09	0,09
Пісок із відсіву подрібнення	32	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00	30,75	21,50	14,59	10,72	6,94	4,58	3,62
Порошок мінеральний	6	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	5,95	5,77	5,26	4,32
Разом	100	98,50	79,00	72,54	62,87	52,47	37,43	27,93	20,97	16,90	12,95	10,06	8,17
Вимоги до АСГ.Кр.Щ.А1.НП		100	87	80	73	65	55	42	30	22	16	12	10
		95	75	65	55	45	35	24	17	12	9	6	4

Таблиця 7 – Результати підбору гранулометричного складу мінеральної частини асфальтобетонної суміші типу А з максимальним розміром зерен 20 мм

Мінеральний матеріал	Вміст мінеральних зерен в суміші, % за масою	Вміст мінеральних зерен, % за масою, дрібніше даного розміру, мм										
		25	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Зерновий склад вихідних матеріалів												
Щебінь фр. 10-20	–	100,00	97,80	53,80	2,00	1,00	0,80	0,70	0,43	0,43	0,43	0,43
Щебінь фр. 5-10	–	100,00	100,00	100,00	90,18	1,40	0,90	0,90	0,60	0,60	0,60	0,60
Пісок із відсіву подрібнення	–	100,00	100,00	100,00	100,00	96,10	67,20	45,60	33,50	21,70	14,30	11,30
Порошок мінеральний	–	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,12	96,20	87,60	72,00
Підібраний зерновий склад мінеральної частини асфальтобетону												
Щебінь фр. 10-20	25	25,00	24,45	13,45	0,50	0,25	0,20	0,18	0,11	0,11	0,11	0,11
Щебінь фр. 5-10	26	26,00	26,00	26,00	23,45	0,36	0,23	0,23	0,16	0,16	0,16	0,16
Пісок із відсіву подрібнення	42	42,00	42,00	42,00	42,00	40,36	28,22	19,15	14,07	9,11	6,01	4,75
Порошок мінеральний	7	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	6,94	6,73	6,13	5,04
Разом	100	100,00	99,45	88,45	72,95	47,98	35,66	26,56	21,27	16,11	12,40	10,05
Вимоги до АСГ.Др.Щ.А20.НП		100	100	92	81	55	42	33	26	20	14	11
		100	95	83	67	45	27	18	12	9	6	5

Таблиця 8 – Результати підбору гранулометричного складу мінеральної частини асфальтобетонної суміші типу А з максимальним розміром зерен 10 мм

Мінеральний матеріал	Вміст мінеральних зерен в суміші, % за масою	Вміст мінеральних зерен, % за масою, дрібніше даного розміру, мм								
		15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Зерновий склад вихідних матеріалів										
Щебінь фр. 5-10	–	100,00	90,18	1,40	0,90	0,90	0,60	0,60	0,60	0,60
Пісок із відсіву подрібнення	–	100,00	100,00	96,10	67,20	45,60	33,50	21,70	14,30	11,30
Порошок мінеральний	–	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,12	96,20	87,60	72,00
Підібраний зерновий склад мінеральної частини асфальтобетону										
Щебінь фр. 5-10	50,00	50,00	45,09	0,70	0,45	0,45	0,30	0,30	0,30	0,30
Пісок із відсіву подрібнення	42,00	42,00	42,00	40,36	28,22	19,15	14,07	9,11	6,01	4,75
Порошок мінеральний	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	7,93	7,70	7,01	5,76
Разом	100,00	100,00	95,09	49,06	36,67	27,60	22,30	17,11	13,31	10,81
Вимоги до АСГ.Др.Щ.А10.НП		100	100	55	43	35	27	20	15	12
		100	90	45	29	21	13	9	7	6

Таблиця 9 – Результати підбору гранулометричного складу мінеральної частини асфальтобетонної суміші типу Г

Мінеральний матеріал	Вміст мінеральних зерен в суміші, % за масою	Вміст мінеральних зерен, % за масою, дрібніше даного розміру, мм							
		10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Зерновий склад вихідних матеріалів									
Пісок із відсіву подрібнення	–	100,00	96,10	67,20	45,60	33,50	21,70	14,30	11,30
Порошок мінеральний	–	100,00	100,00	100,00	100,00	99,12	96,20	87,60	72,00
Підібраний зерновий склад мінеральної частини асфальтобетону									
Пісок із відсіву подрібнення	94,00	94,00	90,33	63,17	42,86	31,49	20,40	13,44	10,62
Порошок мінеральний	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	5,95	5,77	5,26	4,32
Разом	100,00	100,00	96,33	69,17	48,86	37,44	26,17	18,70	14,94
Вимоги до АСГ.Пщ.Щ.Г.НП		100	100	83	67	50	35	24	16
		100	95	68	45	28	18	11	8

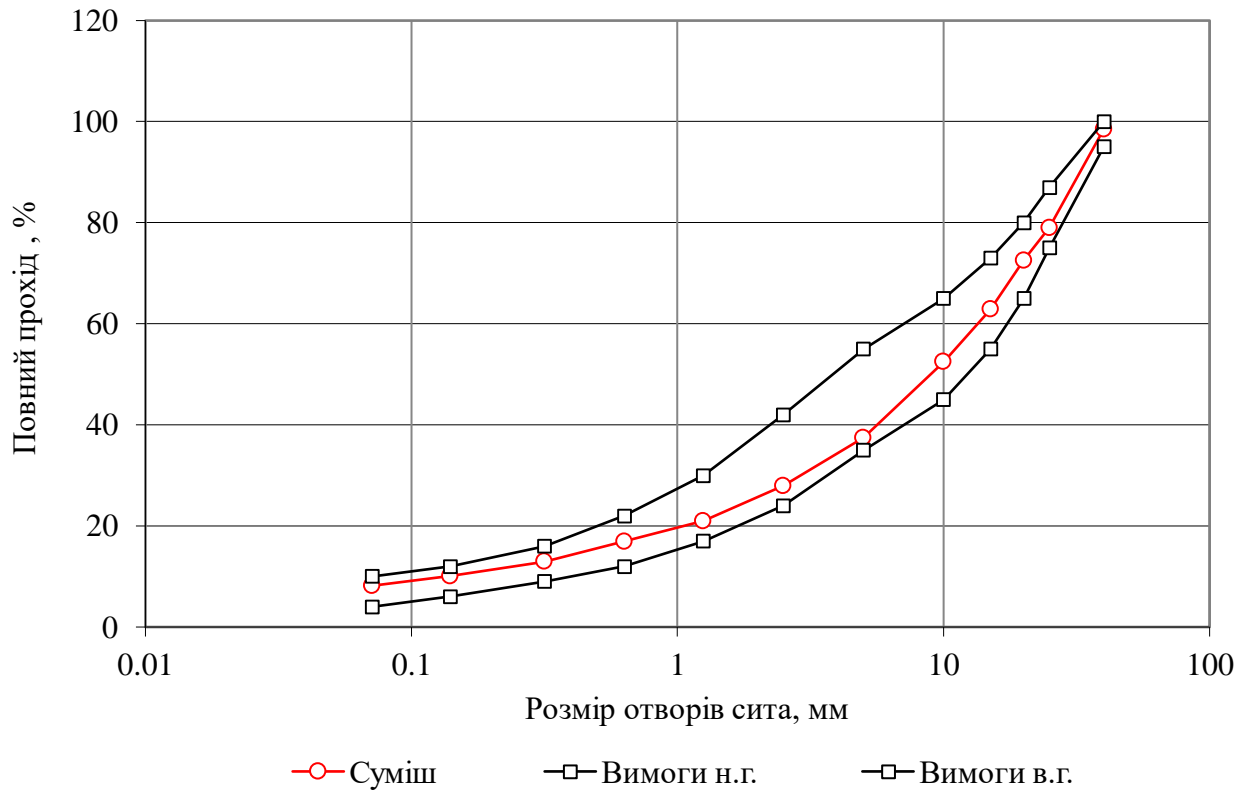


Рисунок 1 – Графічне зображення гранулометричного складу асфальтобетонної суміші типу А1

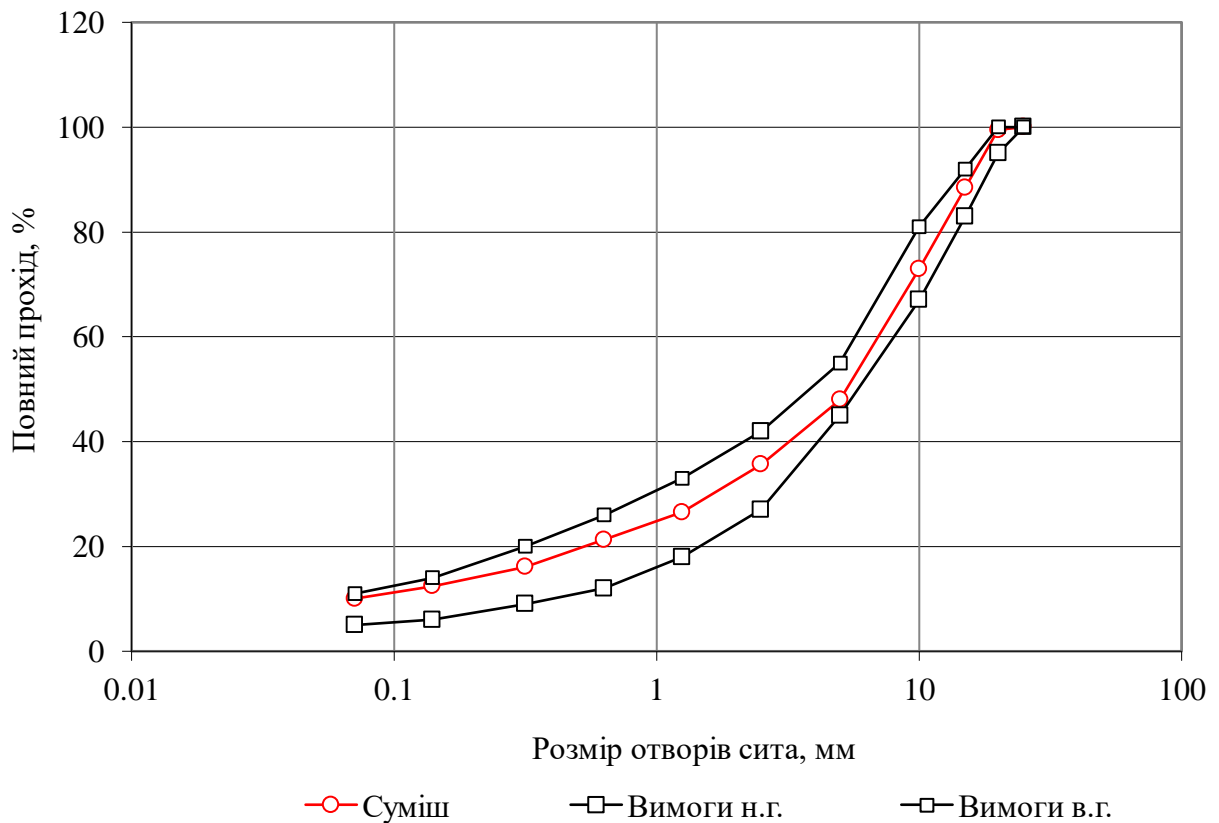


Рисунок 2 – Графічне зображення гранулометричного складу асфальтобетонної суміші типу А з максимальним розміром зерен 20 мм

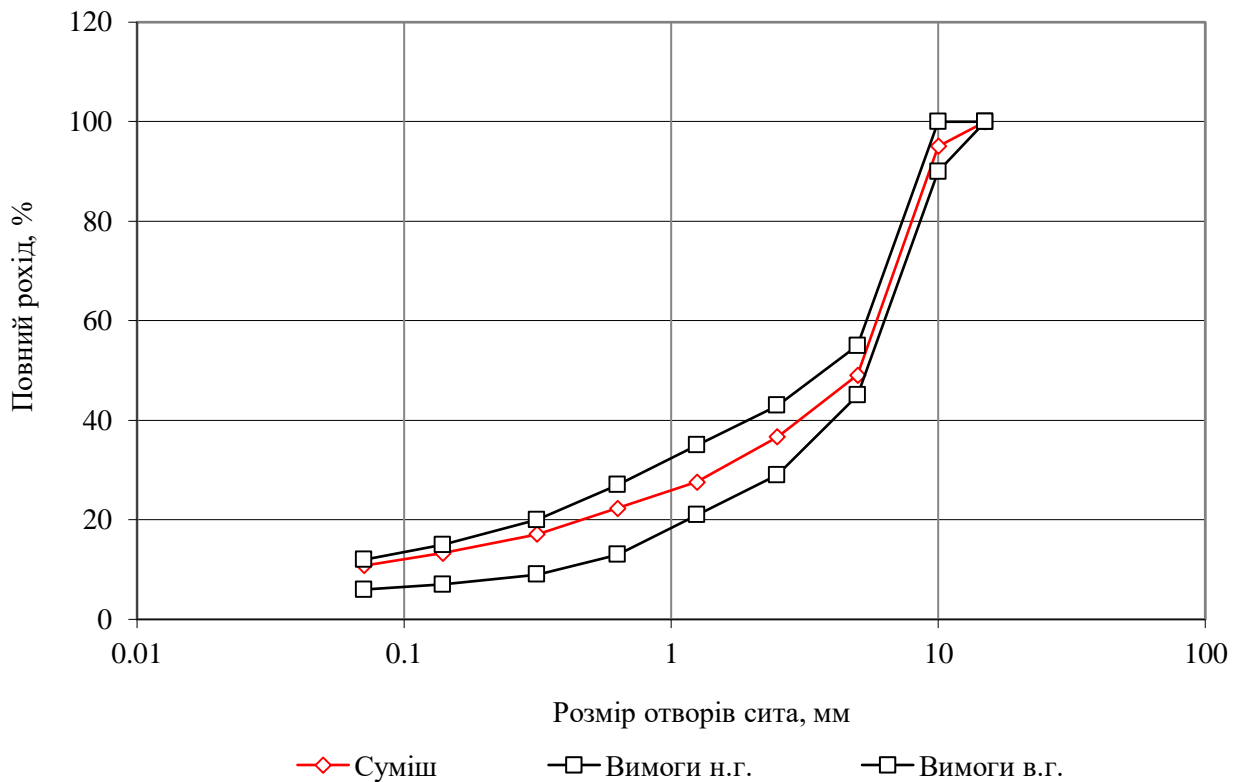


Рисунок 3 – Графічне зображення гранулометричного складу асфальтобетонної суміші типу А з максимальним розміром зерен 10 мм

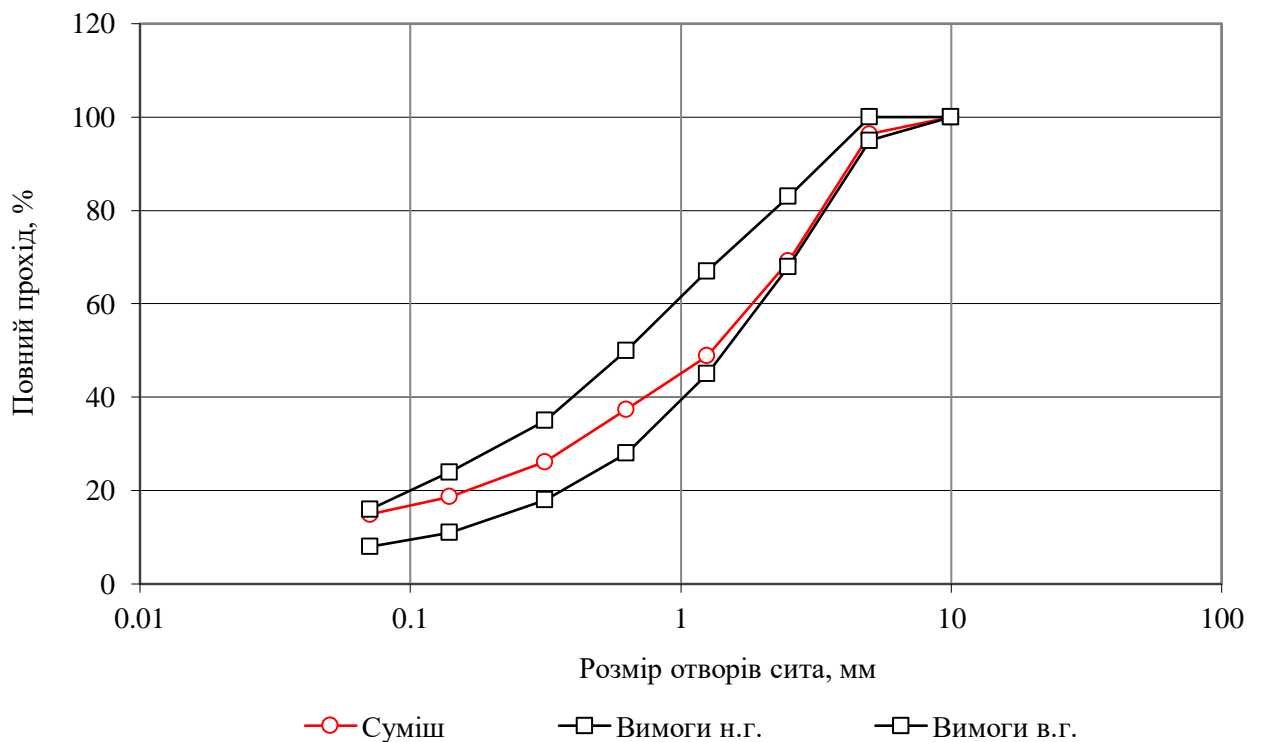


Рисунок 4 – Графічне зображення гранулометричного складу асфальтобетонної суміші типу Г

Марку бітуму, що використовують для виробництва асфальтобетонних сумішей, визначають за кліматичними умовами роботи асфальтобетонного покриття згідно з додатком А ДСТУ Б В.2.7-119. Виробництво досліджуваних щебневих матеріалів знаходиться в м. Нікополь, яке знаходиться на межі районів А5 та А7. Відповідно до додатку В ДСТУ Б В.2.7-119 для виробництва асфальтобетонних сумішей в цих районах рекомендовано використовувати бітум марки БНД 60/90 та БНД 40/60. Тому, в даному дослідженні, для виробництва асфальтобетонних сумішей використовували бітум марки БНД 60/90. Результати випробування використаного бітуму наведено в таблиці 9.

Таблиця 9 – Результати випробування бітуму

Ч. ч.	Найменування показника, одиниця вимірювання	Результат випробування	Вимоги ДСТУ 4044 до бітуму марки БНД 60/90
1	Глибина проникності голки (пенетрація) за температури 25 °С, 0,1 мм	78	від 61 до 90
2	Температура розм'якшеності за кільцем і кулею, °С	48	від 47 до 53
3	Розтяжність (дуктильність), см - за температури 25 °С - за температури 0 °С	100 3,6	55, не менше 3,0, не менше
4	Температура крихкості, °С	- 19	- 12, не вище
5	Зміна властивостей після прогріття: - залишкова пенетрація, % - зміна температури розм'якшеності, °С	65 4,1	60, не менше 6,0, не більше
6	Зчеплюваність з поверхнею щебеню, бал	5	-
Примітка. Для підвищення зчеплюваності бітуму з поверхнею щебеню використано адгезійну добавку на основі поверхнево-активних речовин в кількості 0,6 %.			

Для отримання якісних асфальтобетонних сумішей бітум треба перевести в такий стан, за якого він легко та рівномірно обволікає мінеральний матеріал. Для цього бітум та інші складники асфальтобетонної суміші нагрівають до певної температури, що залежить від марки використовуваного бітуму. В даних дослідженнях температуру нагрівання бітуму під час змішування з мінеральним матеріалом та температури асфальтобетонної суміші на початку ущільнення було встановлено на основі температурно-в'язкісної залежності (рисунок 5).

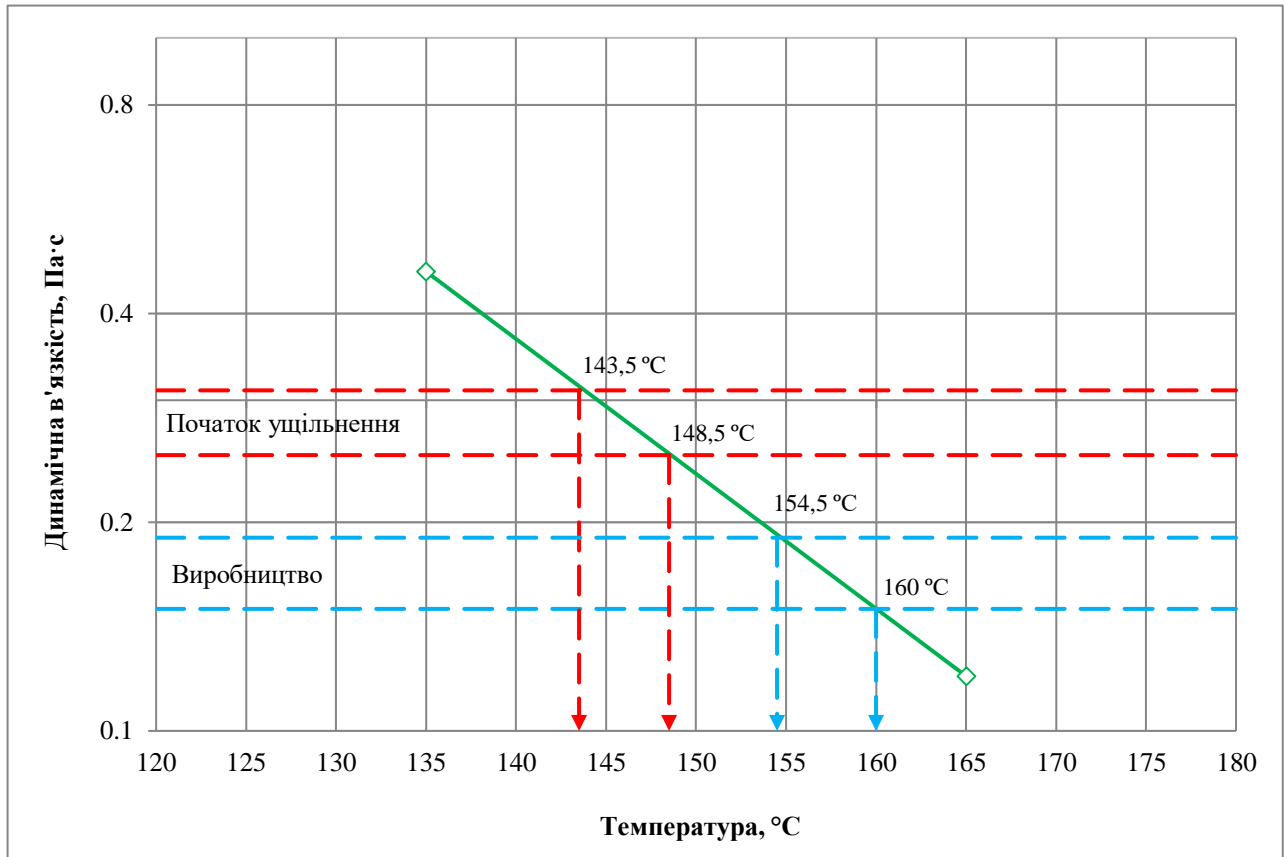


Рисунок 5 – Залежність в'язкості бітуму марки БНД 60/90 від температури

Установлені на основі температурно-в'язкісної залежності температури виробництва та початку ущільнення асфальтобетонних сумішей становили відповідно від 154,5 °C до 160 °C та від 143,5 °C до 148,5 °C.

Виробництво асфальтобетонних сумішей в лабораторії здійснювали з дотриманням стандартної послідовності та змісту технологічних операцій згідно з ДСТУ Б В.2.7-319.

Результати підбору вмісту бітуму в досліджуваних асфальтобетонних сумішах наведено в таблицях 10 – 13.

За результатами випробування встановлено, що оптимальний вміст бітуму в асфальтобетонній суміші типу А1 становить 5,5 %, типу А з максимальним розміром зерен розміром 20 мм – 6,0 %, типу А з максимальним розміром зерен розміром 10 мм – 6,5 %, а асфальтобетонній суміші типу Г – 8,5 %. За даного вмісту асфальтобетони за всіма фізико-механічними показниками відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-119.

Для асфальтобетонів з оптимальним вмістом бітуму було визначено границю міцності за температури 0 °C, коефіцієнт довготривалої водостійкості та морозостійкості. Результати випробувань наведено в таблиці 14.

Таблиця 10 – Результати підбору вмісту бітуму в асфальтобетонній суміші типу А1

Ч. ч.	Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробувань асфальтобетону при вмісті бітуму, %			Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119 (районА-5)
		4,5	5,0	5,5	
1	Дійсна густина мінеральної частини, г/см ³	2,94	2,94	2,94	-
2	Середня густина мінеральної частини, г/см ³	2,42	2,44	2,45	-
3	Дійсна густина суміші, г/см ³	2,72	2,69	2,67	-
4	Пористість мінеральної частини, %	17,77	17,19	16,94	від 15 до 19
5	Залишкова пористість, %	6,87	5,00	3,49	від 2 до 5
6	Середня густина асфальтобетону, г/см ³	2,53	2,56	2,58	-
7	Водонасичення, % за об'ємом	5,00	4,25	3,36	не більше ніж 4,0
8	Границя міцності при стиску за температури 20 °С, МПа	3,57	4,15	4,80	не менше ніж 2,8
9	Границя міцності при стиску за температури 50 °С, МПа	1,30	1,41	1,58	не менше ніж 1,3

Таблиця 11 – Результати підбору вмісту бітуму в асфальтобетонній суміші типу А з максимальним розміром зерен 20 мм

Ч. ч.	Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробувань асфальтобетону при вмісті бітуму, %			Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119 (районА-5)
		5,0	5,5	6,0	
1	Дійсна густина мінеральної частини, г/см ³	2,95	2,95	2,95	-
2	Середня густина мінеральної частини, г/см ³	2,39	2,40	2,41	-
3	Дійсна густина суміші, г/см ³	2,70	2,67	2,65	-
4	Пористість мінеральної частини, %	18,84	18,59	18,33	від 15 до 19
5	Залишкова пористість, %	6,89	5,40	3,89	від 2 до 5
6	Середня густина асфальтобетону, г/см ³	2,51	2,53	2,55	-
7	Водонасичення, % за об'ємом	6,01	4,92	3,30	не більше ніж 4,0
8	Границя міцності при стиску за температури 20 °С, МПа	4,36	4,38	3,90	не менше ніж 2,8
9	Границя міцності при стиску за температури 50 °С, МПа	1,52	1,50	1,45	не менше ніж 1,3

Таблиця 12 – Результати підбору вмісту бітуму в асфальтобетонній суміші типу А з максимальним розміром зерен 10 мм

Ч. ч.	Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробувань асфальтобетону при вмісті бітуму, %				Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119 (районА-5)
		5,0	5,5	6,0	6,5	
1	Дійсна густина мінеральної частини, г/см ³	2,94	2,94	2,94	2,94	-
2	Середня густина мінеральної частини, г/см ³	2,37	2,39	2,39	2,39	-
3	Дійсна густина суміші, г/см ³	2,69	2,67	2,65	2,63	-
4	Пористість мінеральної частини, %	19,39	18,81	18,87	18,61	від 15 до 19
5	Залишкова пористість, %	7,54	5,67	4,55	3,05	від 2 до 5
6	Середня густина асфальтобетону, г/см ³	2,49	2,52	2,53	2,55	-
7	Водонасичення, % за об'ємом	7,31	5,43	4,33	3,04	не більше ніж 4,0
8	Границя міцності при стиску за температури 20 °С, МПа	4,08	4,11	4,11	3,94	не менше ніж 2,8
9	Границя міцності при стиску за температури 50 °С, МПа	1,47	1,27	1,35	1,39	не менше ніж 1,3

Таблиця 13 – Результати підбору вмісту бітуму в асфальтобетонній суміші типу Г

Ч. ч.	Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробувань асфальтобетону при вмісті бітуму, %			Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119 (районА-5)
		7,5	8,0	8,5	
1	Дійсна густина мінеральної частини, г/см ³	2,97	2,97	2,97	-
2	Середня густина мінеральної частини, г/см ³	2,31	2,31	2,32	-
3	Дійсна густина суміші, г/см ³	2,61	2,60	2,58	-
4	Пористість мінеральної частини, %	22,45	22,50	21,93	від 18 до 22
5	Залишкова пористість, %	5,15	4,06	2,19	від 2 до 5
6	Середня густина асфальтобетону, г/см ³	2,48	2,49	2,52	-
7	Водонасичення, % за об'ємом	4,48	3,82	1,73	не більше ніж 3,5
8	Границя міцності при стиску за температури 20 °С, МПа	5,86	5,84	5,94	не менше ніж 2,8
9	Границя міцності при стиску за температури 50 °С, МПа	2,50	2,61	2,64	не менше ніж 1,6

Таблиця 14 – Результати визначення коефіцієнта довготривалої водостійкості та морозостійкості

Ч. ч.	Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробувань асфальтобетону типу				Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119 (районА-5)
		А1	А20	А10	Г	
1	Границя міцності при стиску за температури 0 °С, МПа	8,9	8,4	8,3	10,1	не більше ніж 12,0
2	Коефіцієнт довготривалої водостійкості	0,95	0,92	0,92	0,93	не менше ніж 0,88
3	Коефіцієнт морозостійкості	0,83	0,82	0,83	0,84	не менше ніж 0,68

Результати випробування показали, що границя міцності всіх асфальтобетонів за температури 0 °С відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-119. Асфальтобетони підбраного складу є водо- та морозостійкими.

ВИСНОВКИ

За аналізом результатів досліджень, вимог ДБН В.2.3-4 вимог національних та галузевих стандартів встановлено, що досліджувані щебеневі матеріали з шлаків металургійних виробництва АТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ» можна використовувати:

1) без використання в'язучих для влаштування щебеневих шарів дорожнього одягу (покриття, основи, додаткової основи) згідно з ДСТУ Б В.2.7-30, а саме:

– щебінь фракції 40 – 70 мм може бути використано під час влаштування шарів основи дорожнього одягу автомобільних доріг загального користування IV – V категорії методом заклинки згідно з ДСТУ-Н Б В.2.3-39 як щебінь основної фракції, а щебінь фракції 20 – 40 мм, 10 – 20 мм та 5 – 10 мм – як щебінь розклинювальних фракцій;

– щебінь фракції 10 – 20 мм та 5 – 10 мм може бути використано як щебінь розклинювальних фракцій під час влаштування покриття;

– щебінь фракції 40 – 70 мм, 20 – 40 мм, 10 – 20 мм та 5 – 10 мм і пісок з відсівів подрібнення може бути використано для виробництва щебенево-піщаних сумішей згідно з ДСТУ Б В.2.7-30;

– щебенево-піщані суміші типу С5, С7 та С9 може бути використано для влаштування шарів основи дорожнього одягу автомобільних доріг загального користування I – IV категорії.

2) з використанням в'язучих у складі:

– асфальтобетонних сумішей згідно з ДСТУ Б В.2.7-119;

– бітумомінеральних та вологих органо-мінеральних сумішей згідно з ДСТУ Б В.2.7-305;

– чорного щебеню згідно з СОУ 42.1-37641918-124;

– щебеню, обробленого просоченням, згідно з ДСТУ-Н Б В.2.3-39;

– сумішей органо-мінеральних з фрезерованих матеріалів дорожніх одягів, що виготовлені за методом холодного ресайклінгу, згідно з СОУ 45.2-00018112-061;

- щебенево-піщаних сумішей, оброблених неорганічним в'язучим, згідно з ДСТУ-Н Б В.2.3-39;
- щебенево-піщаних сумішей, оброблених комплексом в'язучим, згідно з ДСТУ-Н Б В.2.3-39.

Оскільки досліджені щебеневі матеріали містять зерна із склуватою структурою, то їх можна використовувати для виробництва матеріалів для влаштування покриття дорожнього одягу за умови забезпечення нормативного коефіцієнта поздовжнього зчеплення.

Використання досліджених щебених матеріалів під час будівництва автомобільних доріг дозволить зменшити техногенне навантаження на навколишнє середовище, зменшити обсяги використання природних щебених матеріалів та оптимізувати витрати матеріальних та енергетичних ресурсів, що сприятиме зниженню вартості дорожньо-будівельних робіт та дорожніх одягів завдяки можливості зменшити обсяги застосування матеріалів, які потрібно транспортувати на значні відстані.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Каталог місцевих матеріалів та відходів виробництва для дорожнього будівництва. ДП «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна», 2011 р.

2. Крюковська Л. І. Підвищення рівня екологічної безпеки у дорожньому будівництві шляхом використання металургійних шлаків: автореф. дис. канд. техн. наук: 21.06.01. — «Екологічна безпека». Національний авіаційний університет. Київ;, 2019. – 188 с.

3. Кравчуновська Т. С. Системний підхід до обґрунтування доцільності використання техногенних відходів у будівництві: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.22 / Т. С. Кравчуновська; Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт. - Дніпропетровськ ;, 2004. - 21 с.

4. Копач П.І. Проблема зниження відходності господарських комплексів гірничо-металургійного регіону та шляхи її вирішення/П.І. Копач, Я.Я. Сердюк // Екологія і природокористування. - 2011. - Випуск 14. - С. 161-177.

5. Крюковська Л. І. Оцінювання техніко-експлуатаційних показників дорожніх одягів з використанням альтернативних дорожньо-будівельних матеріалів/ Л. І. Крюковська // Тези доповідей LXVII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2011. – С. 81.;

6. Рояк С. М. Структура доменних шлаков и их активность / С. М. Рояк, А. В. Пьячев, Я. Ш. Школьник // Цемент. 1978. – № 8. – С. 4–5.

7. Звіт ДП «ДерждорНДІ» за 2007 р. (№ держреєстрації 0106 U 005177) про виконання НДР «Розробити ДСТУ «Щебінь і щебенево-піщані суміші із шлаків металургійних для дорожніх робіт. Технічні умови». Договір від 15.03.2006 № 68-06 між Укравтодором та ДерждорНДІ.

8. WorldSteelAssociation веб-сайт.URL: <https://www.worldsteel.org/>.

9. Скорченко В.Ф. Застосування металургійних шлаків при будівництві автомобільних доріг як заміників традиційних дорожньо-будівельних кам'яних матеріалів. /В.Ф. Скорченко // Тези доповідей. – К: НТУ, 2007. - с. 124.

10. Державна цільова економічна програма розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки. URL: <https://www.kmu.gov.ua/ua/news/derzhavna-cilova-ekonomichna-programa-rozvitku-avtomobilnih-dorig-zagalnogo-koristuvannya-derzhavnogo-znachennya-na-2018-2022-roki>.

11. Розпорядження Кабінету міністрів України від 04 грудня 2019 року № 1420-р «Про застосування відходів виробництва в дорожньому будівництві». URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zastosuvannya-vidhodiv-virobnic-a1420r>.

12. ДСТУ 8772:2018 Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Методи випробування.

13. ДСТУ Б В.2.7-30:2013 Матеріали нерудні для щєбєневих і гравійних основ та покриттів автомобільних доріг. Загальні технічні умови.

14. ДСТУ Б В.2.7-35-95 Щебінь, пісок та щебенєво-піщана суміш з доменних та сталєплавильних шлаків для загальнобудівельних робіт. Загальні технічні умови.

15. ДСТУ Б В.2.7-71-98 Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань (ГОСТ 8269.0-97).

16. ДСТУ Б В.2.7-74-98 Крупні заповнювачі природні, з відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Класифікація.

17. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Щебінь і гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови.

18. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови.

19. ДСТУ Б В.2.7-121:2014 Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Технічні умови.

20. ДСТУ Б В.2.7-149:2008 Щебінь і щебенево-піщані суміші із шлаків металургійних для дорожніх робіт. Технічні умови.
21. ДСТУ Б В.2.7-232:2010 Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань.
22. ДСТУ Б В.2.7-305:2015 Суміші бітумомінеральні дорожні. Загальні технічні умови.
23. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань.
24. ДСТУ-Н Б В.2.3-39:2016 Настанова з влаштування шарів дорожнього одягу з кам'яних матеріалів.
25. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво.
26. СОУ 45.2-00018112-061:2011 Будівельні матеріали. Суміші органо-мінеральні дорожні з фрезерованих матеріалів дорожніх одягів, виготовлені за методом холодного ресайклінгу. Технічні умови.
27. СОУ 42.1-37641918-124:2014 Щебінь чорний для дорожніх робіт. Технічні умови.

Додаток А

Приклади конструкцій дорожнього одягу з використанням щебених матеріалів виробництва АТ «НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ФЕРОСПЛАВІВ»

Таблиця А.1 – Приклад конструкції дорожнього одягу для автомобільної дороги І категорії

Матеріал	Товщина, см
ЩМА-20 згідно з ДСТУ Б В.2.7-127:2015 на бітумі, комплексно модифікованому полімерною та адгезійною добавками, марки БМКП 40/60-68 згідно з ДСТУ Б В.2.7-313:2016	5
АБ.АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011 на бітумі, комплексно модифікованому полімерною та адгезійною добавками, марки БМКП 40/60-59 згідно з ДСТУ Б В.2.7-313:2016	10
АБ.АСГ.Кр.П.А-Б.НП.І.БНД 60/90 згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011	10
ЩПС-40, укріплена цементом, марки М 40 згідно з ДСТУ-Н Б В.2.3-39:2016	17
ЩПС С5 із щебених матеріалів з шлаків металургійних згідно з ДСТУ Б В.2.7-30:2013	21
Пісок підвищеної крупності із шлаків металургійних згідно з ДСТУ Б В.2.7-35-95	15
Грунт земляного полотна	-

Таблиця А.2 – Приклад конструкції дорожнього одягу для автомобільної дороги ІІ категорії

Матеріал	Товщина, см
ЩМА-20 згідно з ДСТУ Б В.2.7-127:2015 на бітумі, комплексно модифікованому полімерною та адгезійною добавками, марки БМКП 40/60-68 згідно з ДСТУ Б В.2.7-313:2016	5
АБ.АСГ.Др.Щ.А.НП.І згідно з СОУ 45.2-00018112-057:2010 на бітумі, комплексно модифікованому полімерною та адгезійною добавками, марки БМКП 40/60-59 згідно з ДСТУ Б В.2.7-313:2016	6
АБ.АСГ.Кр.П.А-Б.НП.І.БНД 60/90 згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011	10
ЩПС-40, укріплена цементом, марка М 40 згідно з ДСТУ-Н Б В.2.3-39:2016	17
ЩПС С5 із щебених матеріалів з шлаків металургійних згідно з ДСТУ Б В.2.7-30:2013	21
Пісок підвищеної крупності із шлаків металургійних згідно з ДСТУ Б В.2.7-35-95	15
Грунт земляного полотна	-

Таблиця А.3 – Приклад конструкції дорожнього одягу для автомобільної дороги III категорії

Матеріал	Товщина, см
АБ.АСГ.Др.Щ.А.НП.І згідно з СОУ 45.2-00018112-057:2010 на бітумі, комплексно модифікованому полімерною та адгезійною добавками, марки БМКП 40/60-59 згідно з ДСТУ Б В.2.7-313	5
АБ.АСГ.Кр.П.А-Б.НП.І.БНД 60/90 згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011	10
ЩПС-20, укріплена цементом, марка М 20 згідно з ДСТУ-Н Б В.2.3-39:2016	15
ЩПС С5 із щебневих матеріалів з шлаків металургійних згідно з ДСТУ Б В.2.7-30:2013	21
Ґрунт земляного полотна	-

Таблиця А.4 – Приклад конструкції дорожнього одягу для автомобільної дороги IV категорії

Матеріал	Товщина, см
АБ.АСГ.Др.Щ.Б.НП.І.БНД 60/90 згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011	5
АБ.АСГ.Кр.П.А-Б.НП.І.БНД 60/90 згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011	10
ЩПС С7 із щебневих матеріалів з металургійних шлаків згідно з ДСТУ Б В.2.7-30:2013	15
Ґрунт земляного полотна	-

Таблиця А.5 – Приклад конструкції дорожнього одягу для автомобільної дороги V категорії

Матеріал	Товщина, см
СБМД.Г.Др.Щ.І.БНД 60/90 згідно з ДСТУ Б В.2.7-305:2015	5
Чорний щебінь згідно з СОУ 42.1-37641918-124:2014	10
ЩПС С7 із щебневих матеріалів з металургійних шлаків згідно з ДСТУ Б В.2.7-30	15
Ґрунт земляного полотна	-

Примітка. Сірим виділено шари дорожнього одягу в яких може бути використано досліджені щебневі матеріали з шлаків металургійних.