

МОЖЛИВОСТІ УТИЛІЗАЦІЇ ЗОЛО-ШЛАКОВИХ СУМІШЕЙ В ДОРОЖНЬОМУ  
БУДІВНИЦТВІ  
POSSIBILITIES OF DISPOSAL OF ASH-SLAG MIXTURES IN ROAD CONSTRUCTION



*Баран Сергій Анатолійович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, доцент кафедри, e-mail: [baran\\_serg@ukr.net](mailto:baran_serg@ukr.net), тел. +380978806451*

<https://orcid.org/0000-0002-3591-9880>



*Куцман Олександр Михайлович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, доцент кафедри, e-mail: [kutsmans@ukr.net](mailto:kutsmans@ukr.net), тел. +380672960871,*

<https://orcid.org/0000-0002-6751-6592>



*Мудрак Клавдія Васи́лівна, кандидат хімічних наук, доцент, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, професор кафедри, e-mail: [klav@ukr.net](mailto:klav@ukr.net), +380632188034*

<https://orcid.org/0000-0002-0340-4399>

**Анотація.** У статті розглянуто питання утилізації відходів ТЕЦ шляхом їх застосування як техногенного ґрунту або гранулометричної добавки для поліпшення властивостей місцевого ґрунту при влаштуванні ґрунтових основ автомобільних доріг та шляхом заміни відходами ТЕЦ кондиційних матеріалів мінеральної частини бітумо-мінеральних сумішей, які можуть у багатьох випадках успішно замінити дефіцитні асфальтобетонні суміші. Наведені результати визначення фізико-механічних характеристик матеріалів із застосуванням золошлакових сумішей. Отримані результати свідчать про доцільність застосування золошлакових сумішей в якості техногенного ґрунту або гранулометричної добавки для поліпшення властивостей місцевого ґрунту, а також про можливість і доцільність застосування «золошлакових асфальтобетонних» сумішей для здійснення ямкового ремонту як за сприятливих, так і за несприятливих погодних умов на різних категоріях вулиць і доріг, в різних конструктивних шарах конструкцій дорожнього одягу (покриття, основа, додаткова основа).

**Ключові слова:** золошлакові суміші, техногенний ґрунт, гранулометрична добавка, утилізації відходів, питоме зчеплення, кут внутрішнього тертя, модуль пружності, суміші бітумомінеральні, гранулометричний склад, фізико-механічні властивості.

### Вступ

Основу енергетики України сьогодні складають теплові електростанції (ТЕС) на органічному паливі (одним із основних видів палива на таких об'єктах є вугілля), що забезпечують 75–80 % усього виробництва електроенергії [1].

На території України нараховується 25 потужних теплоелектростанцій та значна кількість котелень, теплоцентралей і інших підприємств цієї галузі. У процесі спалювання вугілля для виробництва тепло- і електроенергії утворюється значна кількість золи та шлаків. Протягом року вони продукують близько 30 млн. т золошлакових відходів, котрі складають для країни значну екологічну проблему. [2]. Ці відходи зберігаються без використання у золошлакових відвалах, які на більшості електростанцій переповнені, водночас збільшення об'ємів цих відвалів не припиняється, а з урахуванням приросту темпів споживання електроенергії і недостатньої швидкості розвитку інших джерел її виробництва, можна припустити збільшення кількості складованих золошлакових відходів (близько 22,5 млн. тон/рік) [3-5].

Крім того, як зазначено в [5], навіть при нормальній експлуатації золошлакових відвалів мають місце несприятливі гідрогеологічні процеси і явища, що порушують екологічну рівновагу місць їх розташування. Якщо не опікуватись цією проблемою – такі електростанції доведеться у найближчі роки зупинити і виводити з енергосистеми. Подальше розміщення відходів потребує будівництва нових, або розширення існуючих золовідвалів, що в свою чергу призводить до відчуження значних територій та забруднення навколишнього середовища [6-8]. Аналіз сучасних досліджень свідчить, що на території санітарно-захисної зони золовідвалів рівень ушкодженості біосистем оцінюється як «вище середнього», а екологічна ситуація характеризується як «незадовільна» [6].

На даний час в Україні, накопичено біля 1,5 млрд. тон золо-шлакових сумішей у відвалах. Існує великий досвід їх використання в різних сферах народного господарства. Однак рівень утилізації таких матеріалів складає приблизно 10%. Тому використання відходів від спалювання твердого палива не тільки задача економії матеріальних ресурсів, а й проблема зростаючого забруднення навколишнього середовища. Відомо, що одним із найбільших крупнотонажних споживачів золо-шлакових сумішей потенційно є дорожнє будівництво [2, 6, 8-15]. Наприклад, на будівництво 1 км дороги (залежно від умов будівництва) потрібно: від 6 до 60 тис. м<sup>3</sup> ґрунту, найчастіше привізного, для земляного полотна; від 1,5 до 6,0 тис. м<sup>3</sup> піску для дренажного та морозозахисного шарів; від 0,8 до 5,4 тис. м<sup>3</sup> щебеню або ґрунту, укріпленого в'язкими матеріалами, для основи. При цьому, зазначені об'єми матеріалів становлять щонайменше 50 % кошторисної вартості дороги.

Використання великотоннажних твердих відходів промисловості вирішує питання пріоритетів подальшого розвитку національної економіки та охорони навколишнього середовища і є великим державним завданням, що має на меті підвищення ефективності використання матеріальних і енергетичних ресурсів, зменшення техногенного впливу і його наслідків на навколишнє середовище, поліпшення екологічної обстановки, а також вишукування можливостей використання відходів як сировини для різних галузей.

#### **Мета роботи**

Особливий практичний інтерес являє собою оцінюванка можливості застосування відходів ТЕЦ, при влаштуванні ґрунтових основ для автомобільних доріг та заміна кондиційних матеріалів мінеральної частини бітумо-мінеральних сумішей, які можуть у багатьох випадках успішно замінити дефіцитні асфальтобетонні суміші..

Метою роботи є – на основі досліджень розроблення способів утилізації золошлакових відходів при влаштуванні ґрунтових основ для автомобільних та при виготовленні і застосуванні бітумо-мінеральних сумішей.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження**

На кафедрі дорожньо-будівельних матеріалів і хімії НТУ було проведено експериментальні дослідження оцінки придатності ЗШС до застосування у будівництві в якості ґрунту та дослідження з розробки рецептів органо-мінеральних сумішей з використанням золошлакових відходів ТЕЦ, придатних для виконання доржньо-будівельних робіт

Для оцінки придатності ЗШС до застосування у будівництві в якості ґрунту, були виконані випробування з визначення зернового складу, ступеня морозостійкості (величини відносного морозного здимання), оптимальної вологості і максимальної щільності. Були випробувані ЗШС різного зернового складу (рис. 1-3).

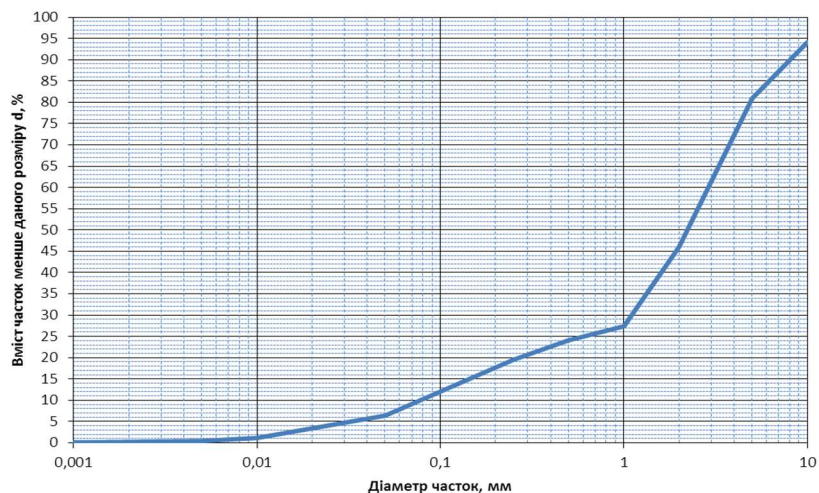


Рисунок 1 – Зерновий склад ЗШС №1  
Figure 1 – Grain warehouse of ZSHS No. 1

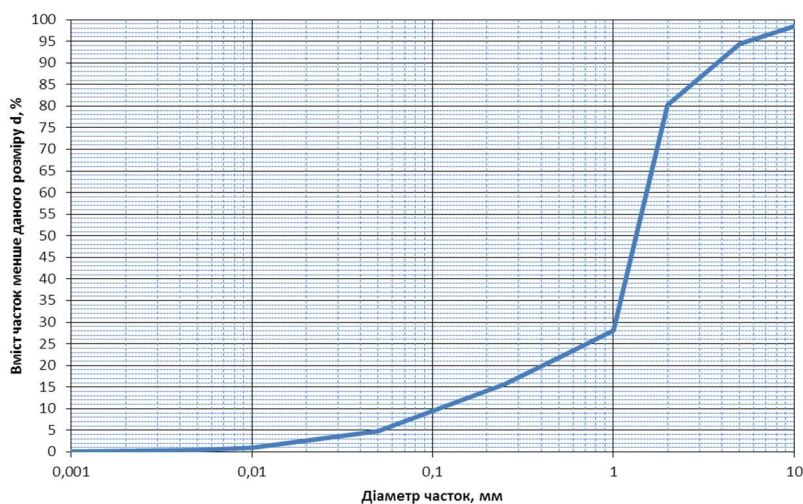


Рисунок 2 – Зерновий склад ЗШС №2  
Figure 3 – Grain warehouse of ZSHS No. 2

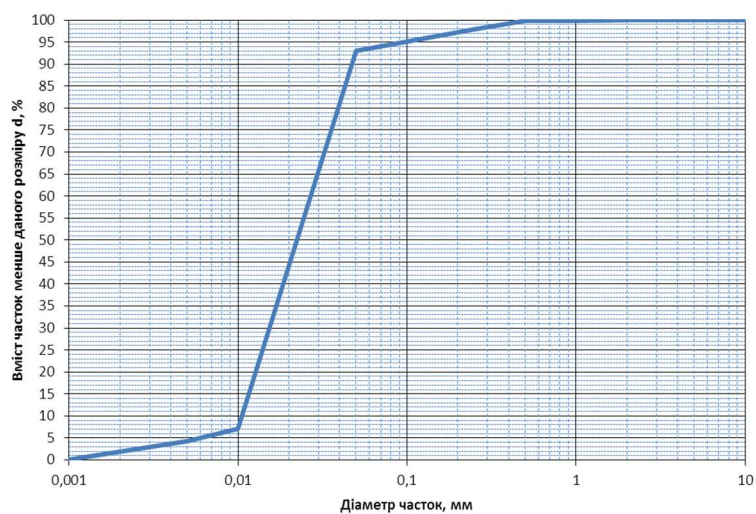


Рисунок 3 – Зерновий склад ЗШС №3  
Figure 3 – Grain warehouse of ZSHS No. 3

Дані, отримані в результаті випробувань по визначенню зернового складу ЗШС, дозволили класифікувати їх за вмістом фракцій на три типи:

1. Грубодисперсна – вміст часток, розміром більше ніж 2 мм, перевищує 25 %.
2. Середньодисперсна – вміст часток, розміром більше ніж 0,05 мм, перевищує 60 %.
3. Тонкодисперсна – вміст часток, розміром більше ніж 0,05 мм, не перевищує 40%.

Як було зазначено вище, одним із критеріїв оцінки придатності ЗШС для їх застосування при влаштуванні основ автомобільних доріг, слід вважати їхню морозостійкість. Морозостійкість ЗШС, як і ґрунту, характеризують величиною їх відносного морозного здимання ( $K_z$ ), що представляє собою відношення вертикальної деформації здимання при проморожуванні зразка до його початкової висоти, вираженої у відсотках.

Величина відносного морозного здимання була визначена згідно вимог ДСТУ Б В.2.1-13 [16]. Результати визначення морозостійкості наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Показники морозостійкості ЗШС  
Table 1 – Indicators of frost resistance of ZSHS

Вертикальна деформація здимання, $h_f$ , мм	Товщина промерзлого шару, $d_i$ , мм	Відносна деформація здимання $\epsilon_{fz}$	Ступінь здимальності
0,65	28,9	0,022	Слабо-здимальний

Згідно вимог нормативних документів, матеріали та ґрунти, величина відносного морозного здимання яких не більше ніж 3%, застосовують без обмежень. Відповідно, дані ЗШС також можуть використовуватись в якості техногенного ґрунту.

Однак, крім зернового складу та морозостійкості ЗШС, важливими показниками для застосування матеріалів є їх міцнісні характеристики.

Для цього були виготовлені зразки максимальної щільності при відповідній оптимальній вологості (рис. 4) та визначені показники питомого зчеплення, кут внутрішнього тертя (рис. 5) і модуля пружності ґрунтів та ЗШС, залежно від їх вологості (рис. 6).

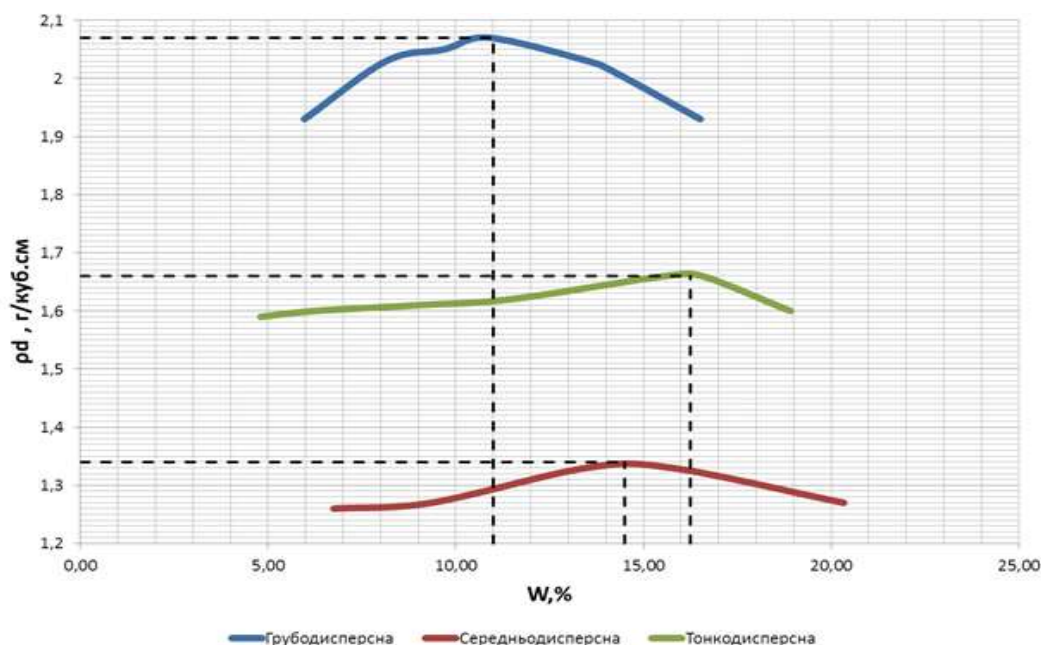


Рисунок 4 – Графік залежності щільності ( $\rho_d$ ) ЗШС від її вологості ( $W_{opt}$ )

Figure 4 – The graph of the dependence of the density ( $\rho_d$ ) of ZSHS on its moisture content ( $W_{opt}$ )

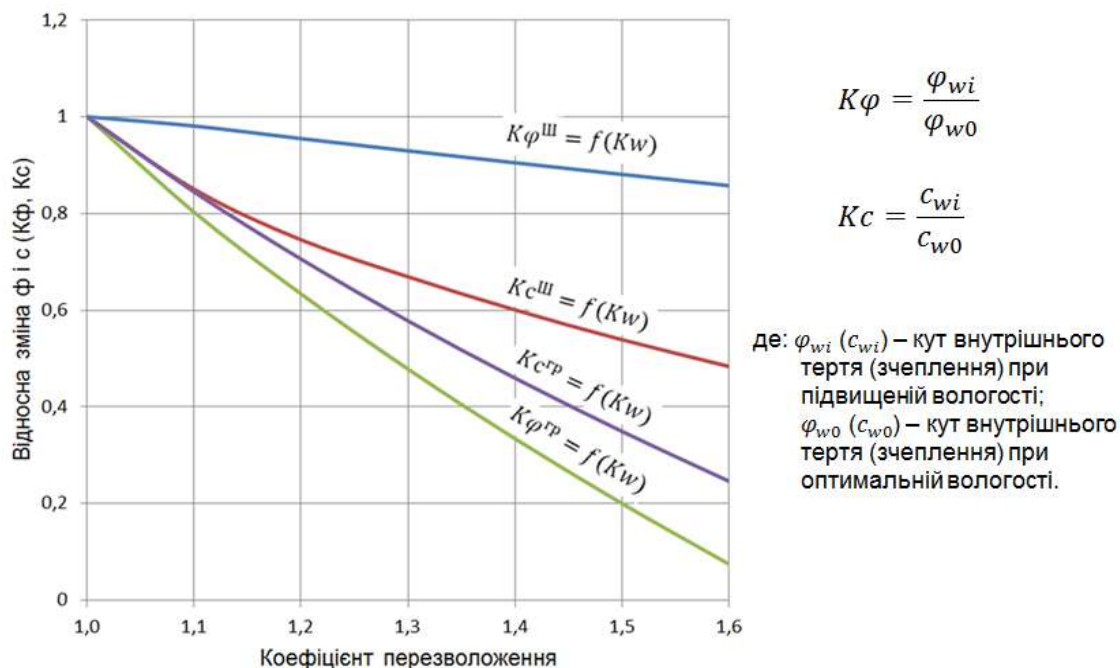


Рисунок 5 – Залежність показників питомого зчеплення і кута внутрішнього тертя ґрунту та ЗШС від вологості

Figure 5 – Dependence of indicators of specific adhesion and angle of internal friction of the soil and ZSHS on humidity

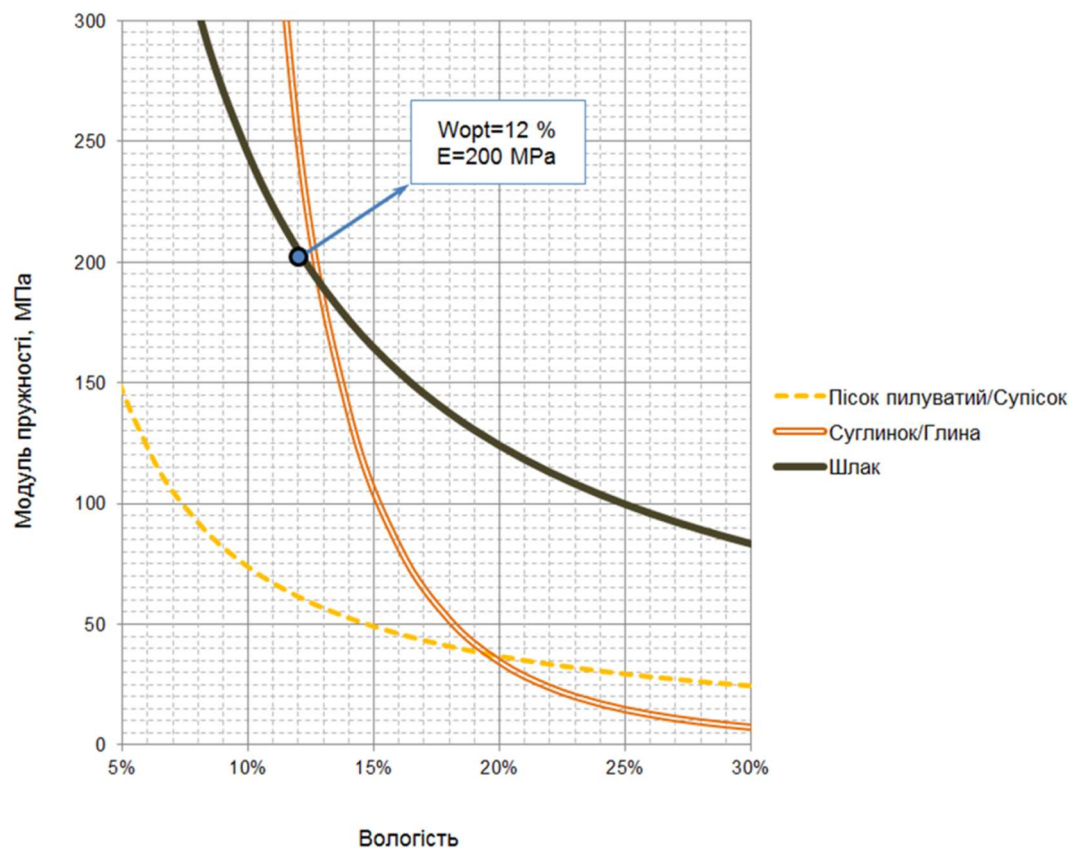


Рисунок 6 – Залежність модуля пружності ґрунтів та ЗШС від їх вологості

Figure 6 – Dependence of the modulus of elasticity of soils and ZSHS on their moisture content

Як показують результати випробувань (рис. 5 і 6), показники питомого зчеплення і кута внутрішнього тертя, а також величина модуля пружності ЗШС і композиції ґрунт + ЗШС мають кращі показники.

На основі виконаних випробувань, кафедрою ДБМ і хімії Національного транспортного університету спільно з Державним підприємством «Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів» було розроблено проект Технічних умов ТУ У В.2.7-08.12.13-37739041-001:201X «Суміші золошлакові для засипки та планування територій», які регламентують застосування ЗШС Дарницької ТЕЦ у м. Києві.

При проведенні експериментальних досліджень з розробки рецептів органо-мінеральних сумішей з використанням золошлакових відходів ТЕЦ, придатних для виконання дорожно-будівельних робіт виготовляли органо-мінеральні суміші із використанням мінеральної частини у вигляді золошлакових сумішей Дарницької ТЕЦ. Проби золошлакової суміші для експериментальних робіт були відібрані на золотваліщі в м. Києві. Вологість суміші становила (W)=1,64%. В лабораторії було визначено гранулометричний склад, що наведений в таблиці 2.

Таблиця 2 – Гранулометричний склад золошлакової суміші Дарницької ТЕЦ  
Table 2 – The granulometric composition of the ash and slag mixture of the Darnytsia CHP plant

Матеріал	Розмір комірки сита, мм									
	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	<0,071
Склад вихідних матеріалів за вмістом мінерального матеріалу дрібніше даних розмірів										
Золошлак Дарницької ТЕЦ	100,0	97,6	89,5	67,3	52,5	39,3	32,8	24,7	18,8	0,1

Отримані результати визначення зернового складу із середньої проби золошлакової суміші свідчать про те що в ній міститься: 10,5% щебеню фракції 5-10мм, 70,7% піску і 18,8 мінерального порошку.

Для виготовлення сумішей в якості в'язучого використовувався бітум БНД 60/90 Мозирського НПЗ, що відповідає вимогам ДСТУ 4044, Також використовували рікий бітум марки СГ 710/130 що відповідає вимогам ГОСТ 11955. Рікий бітум марки СГ 710/130 виготовлявся шляхом змішування бітуму БНД 60/90 Мозирського НПЗ та 18% дизельного палива від маси бітуму, умовна в'язкість на пенетрометрі при +60С становила 105с.

Для перевірки можливості застосування золошлакових сумішей, що потенційно можуть використовуватись, розглядали найбільш поширені види і типи органо-мінеральних сумішей, які за зерновим складом та класом (гарячі, холодні) наближаються до найбільш поширених бітумо-мінеральних сумішей згідно з ДСТУ Б В 2.7-119 [12] та ДСТУ Б.В. 2.7-305 [17].

В лабораторії були виготовлені гарячі суміші типу за гранулометриєю В і Б з максимальною крупністю зерен заповнювача 10 мм із додаванням гранітного щебеню для створення каркасу. Бітум застосовували в'язкий марки БНД 60/90. Фізико-механічні властивості ушільненої бітумо-мінеральної суміші наведені в табл. 3

Також в лабораторії були виготовлені холодні суміші типу В-10 на рідкому бітумі марки СГ 70/130, що виготовлялися шляхом змішування бітуму БНД 60/90 Мозирського НПЗ та 18% дизельного палива від маси бітуму. Фізико-механічні властивості холодної ушільненої бітумо-мінеральної суміші наведені в табл. 4.

Також в лабораторії були виготовлені холодні суміші та зразки «золошлакового асфальтобетону» типу В-10 на рідкому бітумі марки СГ 70/130 з гідрофобізатором №1 в різній його кількості. Фізико-механічні властивості зразків приготованих з цих сумішей наведені в табл. 5.

Отримані результати свідчать про покращення водостійкості ушільненої бітумо-мінеральної суміші, що свідчить про можливість направленої регулювання таких важливих його властивостей.

Отримані результати підтвердили можливість суттєво покращувати водостійкість ушільненої бітумо-мінеральної суміші за рахунок гідрофобізатора №1.

Зважаючи, що в золошлаковій суміші достатньо великий вміст частинок менше 0,071 мм, які призводять до перевитрат дефіцитного і найдорожчого компоненту в органо-мінеральних сумішах – бітуму, тому були проведені експериментальні дослідження по можливості зменшення вмісту таких дрібно-дисперсних систем для економії бітумного в'язучого. Для цього ці частки повністю

відсіювались і додавались відповідно до експериментальних рецептів у зменшеній кількості. Такі рецепти були виготовлені із гарячих сумішей типу В-10 на бітумі БНД 60/90 зі зменшеною кількістю фракцій мінерального порошку (<0,071 мм). Фізико-механічні властивості зразків приготованих з цих сумішей наведені в табл. 7. Ці ж самі суміші приготували також з гідрофобізатором №2, який вводили безпосередньо в бітум. Фізико-механічні властивості зразків приготованих з цих сумішей наведені в табл. 8.

Таблиця 3 – Фізико-механічні властивості ушільненої бітумо-мінеральної суміші типу за гранулометриєю В і Б з максимальною крупністю зерен заповнювача 10 мм на бітумі БНД 60/90

Table 3 – Physico-mechanical properties of reinforced bituminous-mineral mixture type В and В granulometry with a maximum aggregate grain size of 10 mm on BND 60/90 bitumen

Тип гранулометрії	В	Б
Вміст в'язучого, %	7	6,3
Середня щільність, г/см <sup>3</sup>	2,21	2,25
Дійсна щільність, г/см <sup>3</sup>	2,28	2,3
Пористість, %	3,1	2,17
Водонасичення, %	2,14	2,99
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20 <sup>0</sup> С	3,9	3,7
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20 <sup>0</sup> С після водонасичення	3,6	3,6
Коефіцієнт водостійкості	0,92	0,97
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20 <sup>0</sup> С після довготривалого водонасичення	3,87	3,15
Коефіцієнт довготривалої водостійкості	0,99	0,85
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 50 <sup>0</sup> С	1,15	0,98

Таблиця 4 – Фізико-механічні властивості холодної ушільненої бітумо-мінеральної суміші типу В з максимальною крупністю зерен заповнювача 10 мм на рідкому бітумі марки СГ 70/130

Table 4 – Physico-mechanical properties of a cold reinforced bituminous-mineral mixture of type В with a maximum aggregate grain size of 10 mm on SG 70/130 liquid bitumen

Тип гранулометрії	Тип В
Вміст в'язучого, %	7 %
Середня щільність, г/см <sup>3</sup>	2,22
Водонасичення, %	1,99
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20 <sup>0</sup> С	1,25
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20 <sup>0</sup> С після водонасичення	0,9
Коефіцієнт водостійкості	0,72
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 50 <sup>0</sup> С	0,4

Таблиця 5 – Фізико-механічні властивості холодної ушільненої бітумо-мінеральної суміші типу В з максимальною крупністю зерен заповнювача 10 мм на рідкому бітумі марки СГ 71/130 з гідрофобізатором №1

Table 5 – Physico-mechanical properties of the cold-strengthened bituminous-mineral mixture of type В with a maximum aggregate grain size of 10 mm on SG 71/130 liquid bitumen with hydrophobizer No. 1

Тип гранулометрії	Тип В		
Вміст в'язучого, %	7	7	7
Вміст гідрофобізатора у % від маси мінеральної частини, у перехунку на суху речовину	0,1	0,2	0,3
Середня щільність, г/см <sup>3</sup>	2,21	2,22	2,19
Водонасичення, %	2,56	1,37	2,92
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20 <sup>0</sup> С	0,93	1,12	1,1
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20 <sup>0</sup> С після водонасичення	0,8	0,92	0,97
Коефіцієнт водостійкості	0,86	0,82	0,88
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 50 <sup>0</sup> С	0,27	0,35	0,33

Перевірку ефективності такого гідрофобізатора було здійснено на холодних сумішах із зменшеною кількістю в'язучого. Отримані результати випробувань зразків такої ущільненої бітумо-мінеральної суміші наведені в табл.6.

Таблиця 6 – Фізико-механічні властивості холодної ущільненої бітумо-мінеральної суміші типу В з максимальною крупністю зерен заповнювача 10 мм на рідкому бітумі марки СГ 70/130 з гідрофобізатором №1 із зменшеною кількістю бітума

Table 6 – Physico-mechanical properties of cold reinforced bituminous-mineral mixture type B with a maximum grain size of aggregate 10 mm on liquid bitumen grade SG 70/130 with hydrophobizer No. 1 with a reduced amount of bitumen

Тип granulometрії	Тип В		
	Вміст в'язучого, %	6,5	6,7
Вміст гідрофобізатора у % від маси мінеральної частини, у перехунку на суху речовину	0,6	0,6	0,6
Середня щільність, г/см <sup>3</sup>	2,14	2,21	2,22
Водонасичення, %	5,04	2,96	2,15
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20 <sup>0</sup> С	0,6	0,67	0,63
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20 <sup>0</sup> С після водонасичення	0,58	0,52	0,57
Коефіцієнт водостійкості	0,96	0,78	0,9

Отримані результати свідчать про можливість зменшення витрат дефіцитного і дорогого бітумного в'язучого та забезпечення водостійкості ущільненої бітумо-мінеральної суміші відповідно за рахунок направленою регулювання кількості мінерального порошку та застосування гідрофобізатора №2.

Таблиця 7 – Фізико-механічні властивості ущільненої бітумо-мінеральної суміші типу за granulometрією В і Б з максимальною крупністю зерен заповнювача 10 мм на бітумі БНД 60/90 зі зменшеною кількістю пилу

Table 7 – Physico-mechanical properties of reinforced bituminous-mineral mixture type B and B granulometry with a maximum aggregate grain size of 10 mm on BND 60/90 bitumen with a reduced amount of dust

Тип granulometрії	Тип В		
	Вміст в'язучого, %	6,7	7
Середня щільність, г/см <sup>3</sup>	2,20	2,24	2,21
Водонасичення, %	2,180	0,311	1,448
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20 <sup>0</sup> С	1,93	2,78	3,15
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20 <sup>0</sup> С після водонасичення	1,93	2,7	4,18
Коефіцієнт водостійкості	1,0	0,97	1,0
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 50 <sup>0</sup> С	0,77	1,0	1,7

Таблиця 8 – Фізико-механічні властивості ущільненої бітумо-мінеральної суміші типу за granulometрією В і Б з максимальною крупністю зерен заповнювача 10 мм на бітумі БНД 60/90 зі зменшеною кількістю пилу з гідрофобізатором №2

Table 8 – Physico-mechanical properties of reinforced bituminous-mineral mixture type B and B granulometry with a maximum aggregate grain size of 10 mm on BND 60/90 bitumen with a reduced amount of dust with hydrophobizer No. 2

Тип granulometрії	Тип В	
	Вміст в'язучого, %	6,2
Середня щільність, г/см <sup>3</sup>	2,16	2,17
Водонасичення довготривале, %	3,54	3,72
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20 <sup>0</sup> С	1,85	2,68
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20 <sup>0</sup> С після експрес довготривалого водонасичення, МПа	1,86	2,27
Коефіцієнт водостійкості за експрес-методом	1,0	0,85
Границя міцності при стиску, МПа, за температури 50 <sup>0</sup> С	0,8	0,93



### Висновки

1. Застосування ЗШС в якості техногенного ґрунту або гранулометричної добавки для поліпшення властивостей ґрунту дозволяє покращити показники питомого зчеплення і кута внутрішнього тертя, а також величину модуля пружності матеріалу. Відповідно, такий матеріал за своїми фізико-механічними характеристиками може бути застосований, як матеріал земляного полотна для будівництва автомобільних доріг.

2. Відмінність властивостей ЗШС, отриманих на різних ТЕЦ, вказує на доцільність здійснення на реальних об'єктах заходів щодо апробації таких матеріалів в насипах з детальнішим дослідженням їх кількісних і якісних характеристик в конкретних умовах застосування з наступним узагальненням та обґрунтуванням вимог для використання ЗШС в дорожньому будівництві.

3. Зерновий склад золошлакової суміші Дарницької ТЕЦ дозволяє проектувати оптимальну гранулометрію органо-мінеральних сумішей «золошлакового асфальтобетону» та здійснювати їх виробничу апробацію виготовлення та застосування.

4. За основними фізико-механічними характеристиками «золошлаковий асфальтобетон» відповідає, а за окремими показниками перевищує вимоги нормативних документів на асфальтобетон та органо-мінеральні суміші як холодні, так і гарячі. Крім того показана можливість направлено регулювати властивості «золошлакового асфальтобетону» та зменшувати витрати дефіцитного бітумного в'язучого.

5. Застосування ЗШС дає можливість економії ресурсів при необхідності застосування перезволожених ґрунтів. Також отримані результати свідчать про можливість і доцільність застосування «золошлакових асфальтобетонних» сумішей для здійснення ямкового ремонту як за сприятливих, так і за несприятливих погодних умов на різних категоріях вулиць і доріг, в різних конструктивних шарах конструкцій дорожнього одягу (покриття, основа, додаткова основа) згідно з Порядком проведення ремонту та утримання об'єктів благоустрою населених пунктів, Технічних правил ремонту і утримання вулиць та доріг населених пунктів та ВБН В.3.2-218-542:2009 Проведення аварійних робіт з ліквідації ямковості на асфальтобетонному покритті автомобільних доріг у холодний період року за несприятливих умов.

6. Використання ЗШС – це не тільки шлях зменшення техногенного забруднення довкілля, але й один із варіантів вирішення проблеми економії матеріальних ресурсів.

### Перелік посилань

1. О.О. Хлопицький. Перспективи розвитку переробки твердих шлакових відходів теплових електростанцій у готові продукти [Текст] / О.О. Хлопицький, Н. П. Макарченко // Праці Одеського політехнічного університету. – 2013. – № 3 (42). – С. 91–93.

2. О.О. Хлопицький. Стан, проблеми та перспективи переробки золошлакових відходів теплоелектростанцій України // Scientific Journal «ScienceRise». –(2014). – №4/2(4) ). – [http://cyberleninka.ru/viewer\\_images/15692275/p/1.png](http://cyberleninka.ru/viewer_images/15692275/p/1.png).

3. Мозговий В.В. Технології охорони навколишнього середовища при застосуванні золошлакових сумішей в дорожньому будівництві// Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Київ. 2017. Вип. 101. С. 189-197.

4. Мозговий В.В. Утилізація відходів ТЕЦ при виготовленні бітумомінеральних сумішей // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Київ. 2017. Вип. 100. С. 368-374.

5. Куцман О.М., Мозговий В.В., Пугач М.О., Мозгова Л.А., Чиженко Н.П., Соколюк М.Ю. Напрямки застосування золошлаків ТЕЦ у будівництві автомобільних доріг // Вісник НТУ: наук.-тех. збірник, Частина 1: серія «Технічні науки». 2014. Вип. 29. С. 199-205.

6. Кутовий, В. О. Золовідвали електростанцій як джерело забруднення довкілля [Текст] / В. О. Кутовий, М. В. Коновальчик, Н. П. Канюк // Вісті Автомобільно- дорожнього інституту. – 2006. – № 1(2). – С. 90–94.

7. Проблема золовідвалу. – 2016. – <http://ukrainka.org/community/ problema-zolovidvalu.html>.

8. А.І. Горова, А.В. Павличенко А.І. Горова, А.В. Павличенко Дослідження екологічного стану територій розміщення золошлакових відходів теплових електростанцій. – <http://rr.nmu.org.ua/pdf/2013/20131016-52.pdf>.

9. Радовенчик, В. М. Тверді відходи: збір, переробка, складування [Текст] : навч.пос. / В. М. Радовенчик, М. Д. Гомеля. – К.: Кондор, 2010. – 552 с.
10. Ладижинська ТЕС утилізує золошлакові відходи, замість простого складування на спеціальних відвалах. Мета утилізації золошлакових відходів – не отримати прибуток, а мінімізувати використання золошлаковідвалу, який досяг критичних розмірів. – 2016. – <http://lad.vn.ua/ekonomika/ladizhinska-tes-pustila-na-prodazh-zoloshlakovi-vidhodi.html>.
11. В. Вишневський. Для будівництва доріг можна використовувати золашлакові відходи. – <http://portal.lviv.ua/article/2016/04/01/dlya-budivnitstva-dorig-mozhna-vikoristovuvati-zoloshlakovi-vidhodi>.
12. ДСТУ Б В.2.7-119:2011. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови.
13. Б. С. Радовский, В. П. Володько, Е. Я. Щербакова, Прочность дорожных одежд со слоями из зола-шлаковых смесей // Проблемы механики дорожно-строительных материалов и дорожных одежд. К.: ООО «ПолиграфКонсалтинг». 2003. 240 с.
14. Ладижинська ТЕЦ утилізує золошлакові відходи, замість простого складування на спеціальних відвалах. Мета утилізації золошлакових відходів – не отримати прибуток, а мінімізувати використання золошлаковідвалу, який досяг критичних розмірів. – 2016. – <http://lad.vn.ua/ekonomika/ladizhinska-tes-pustila-naprodazh-zoloshlakovi-vidhodi.html>.
15. В. Вишневський. Для будівництва доріг можна використовувати золошлакові відходи. – <http://portal.lviv.ua/article/2016/04/01/dlya-budivnitstva-dorig-mozhnavikoristovuvati-zoloshlakovi-vidhodi>.
16. ДСТУ Б В.2.1-13:2009 Ґрунти. Метод лабораторного визначення ступеня морозної здимальності
17. ДСТУ Б В.2.7-305:2015 Суміші бітумомінеральні дорожні. Загальні технічні умови

#### POSSIBILITIES OF DISPOSAL OF ASH-SLAG MIXTURES IN ROAD CONSTRUCTION

**Baran Serhii A.**, Ph.D. (Technology), National Transport University, Department of road building materials and chemistry, Senior Lecturer, e-mail: [baran\\_serg@ukr.net](mailto:baran_serg@ukr.net), tel. +380978806451, [orcid.org/0000-0002-3591-9880](https://orcid.org/0000-0002-3591-9880).

**Mudrak Klavdiya V.**, Ph.D. (Chemistry), associate professor, National Transport University, Department of road building materials and chemistry, professor of the department, e-mail: [klav@ukr.net](mailto:klav@ukr.net), tel. +380632188034, [orcid.org/0000-0002-0340-4399](https://orcid.org/0000-0002-0340-4399)

**Kutsman Oleksandr M.**, Ph.D. (Technology), National Transport University, Department of road building materials and chemistry, Senior Lecturer, e-mail: [kutsmans@ukr.net](mailto:kutsmans@ukr.net), tel. +380672960871, [orcid.org/0000-0002-4510-4570](https://orcid.org/0000-0002-4510-4570)

**Abstract.** The article considers the issue of utilization of thermal power plant waste by using it as man-made soil or granulometric additive to improve the properties of local soil during the construction of road foundations and by replacing the mineral part of bituminous-mineral mixtures with thermal power plant waste, which can in many cases successfully replace deficient asphalt concrete mixture. The results of determining the physical and mechanical characteristics of materials using ash-slag mixtures are given. The obtained results indicate the feasibility of using ash-slag mixtures as man-made soil or granulometric additives to improve local soil properties, as well as the possibility and feasibility of using "ash-slag-asphalt-concrete" mixtures for pothole repair under both favorable and unfavorable weather conditions in different categories streets and roads, in various structural layers of road clothing structures (covering, base, additional base).

**Keywords.** ash-slag mixtures, man-made soil, granulometric additive, waste disposal, specific adhesion, angle of internal friction, modulus of elasticity, bituminous-mineral mixtures, granulometric composition, physical and mechanical properties.

#### References

1. О.О. Khlopytskyi. Perspektyvy rozvytku pererobky tverdykh shlakovykh vidkhodiv teplovykh elektrostantsii u hotovi produkty [Tekst] / О.О. Khlopytskyi, N. P. Makarchenko // Pratsi Odeskoho politekhnichnoho universytetu. – 2013. – № 3 (42). – S. 91–93. [in Ukrainian].

2. O.O. Khlopytskyi. Stan, problemy ta perspektyvy pererobky zolo shlakovykh vidkhodiv teploelektrostantsii Ukrainy // Scientific Journal «ScienceRise». –2014). – №4/2(4) ). – [http://cyberleninka.ru/viewer\\_images/15692275/p/1.png](http://cyberleninka.ru/viewer_images/15692275/p/1.png). [in Ukrainian].
3. Mozghovyi V.V. Tekhnologii okhorony navkolyshnoho seredovyscha pry zastosuvanni zoloshlakovykh sumishei v dorozhnomu budivnytstvi// Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. Kyiv. 2017. Vyp. 101. S. 189-197. [in Ukrainian].
4. Mozghovyi V.V. Utylizatsiia vidkhodiv TETs pry vyhotovlenni bitumominalnykh sumishei // Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. Kyiv. 2017. Vyp. 100. S. 368-374. [in Ukrainian].
5. Kutsman O.M., Mozghovyi V.V., Puhach M.O., Mozghova L.A., Chyzhenko N.P., Sokoliuk M.Iu. Napriamky zastosuvannya zoloshlakiv TETs u budivnytstvi avtomobilnykh dorih // Visnyk NTU: nauk.-tekh. zbirnyk, Chastyna 1: seriia «Tekhnichni nauky». 2014. Vyp. 29. S. 199-205. [in Ukrainian].
6. Kutovyi, V. O. Zolovidvaly elektrostantsii yak dzherelo zabrudnennia dovkillia [Tekst] / V. O. Kutovyi, M. V. Konovalchuk, N. P. Kaniuk // Visti Avtomobilno- dorozhnoho instytutu. – 2006. – № 1(2). – S. 90–94. [in Ukrainian].
7. Problema zolovidvalu. – 2016. – <http://ukrainka.org/community/ problema-zolovidvalu.html>. [in Ukrainian].
8. A.I. Horova, A.V. Pavlychenko A.I. Horova, A.V. Pavlychenko Doslidzhennia ekolohichnoho stanu terytorii rozmishchennia zoloshlakovykh vidkhodiv teplovykh elektrostantsii. – <http://rr.nmu.org.ua/pdf/2013/20131016-52.pdf>. [in Ukrainian].
9. Radovenchyk, V. M. Tverdi vidkhody: zbir, pererobka, skladuvannya [Tekst] : navch.pos. / V. M. Radovenchyk, M. D. Homelia. – K.: Kondor, 2010. – 552 c. [in Ukrainian].
10. Ladyzhynska TES utylizuje zoloshlakovi vidkhody, zamist prostoho skladuvannya na spetsialnykh vidvalakh. Meta utylizatsii zoloshlakovykh vidkhodiv – ne otrymaty prybutok, a minimizuvaty vykorystannia zoloshlakovidvalu, yakyi dosiah krytychnykh rozmiriv. . – 2016. –<http://lad.vn.ua/ekonomika/ladizhynska-tes-pustila-na-prodazh-zoloshlakovi-vidhodi.html>. [in Ukrainian].
11. V. Vyshnevskiy. Dlia budivnytstva dorih mozna vykorystovuvaty zolo shlakovi vidkhody. – <http://portal.lviv.ua/article/2016/04/01/dlya-budivnytstva-dorih-mozhna-vikoristovuvati-zoloshlakovi-vidhodi>. [in Ukrainian].
12. DSTU B V.2.7-119:2011. Sumishi asfaltobetonni i asfaltobeton dorozhnii ta aerodromnyi. Tekhnichni umovy. [in Ukrainian].
13. B. S. Radovskii, V. P. Volodko, Ye. Ya. Shcherbakova, Prochnost dorozhnikh odezhd so sloiami iz zolo-shlakovykh smesei // Problemi mekhaniki dorozhno-stroitelnykh materialov i dorozhnikh odezhd. K.: OOO «PoligrafKonsalting». 2003. 240 s. [in Russian].
14. Ladyzhynska TETs utylizuje zoloshlakovi vidkhody, zamist prostoho skladuvannya na spetsialnykh vidvalakh. Meta utylizatsii zoloshlakovykh vidkhodiv – ne otrymaty prybutok, a minimizuvaty vykorystannia zoloshlakovidvalu, yakyi dosiah krytychnykh rozmiriv. – 2016. –<http://lad.vn.ua/ekonomika/ladizhynska-tes-pustila-naproduct-zoloshlakovi-vidhodi.html>. [in Ukrainian].
15. V. Vyshnevskiy. Dlia budivnytstva dorih mozna vykorystovuvaty zoloshlakovi vidkhody. – <http://portal.lviv.ua/article/2016/04/01/dlya-budivnytstva-dorih-mozhnavikoristovuvati-zoloshlakovi-vidhodi>. [in Ukrainian].
16. DSTU B V.2.1-13:2009 Grunty. Metod laboratornoho vyznachennia stupenia moroznoi zdymalnosti. [in Ukrainian].
17. DSTU B V.2.7-305:2015 Sumishi bitumominalni dorozhni. Zahalni tekhnichni umovy. [in Ukrainian].