https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.092

УДК 625.168

Каськів В. І., *канд. техн. наук, доц., https://orcid.org/0000-0002-8074-6798*
Соколов О. В., *https://orcid.org/0000-0002-4694-9647*

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ-ВИНЕСЕННЯ ЯК НАПОВНЮВАЧА В АСФАЛЬТОБЕТОНІ

Анотація

Вступ. Одним з найбільш поширених матеріалів під час будівництва автомобільних доріг є асфальтобетонні суміші. Для виробництва даних сумішей використовують переважно кондиційні мінеральні матеріали – крупний заповнювач, дрібний заповнювач та наповнювач, а як в'яжуче використовують бітум.

Мінеральний порошок є важливим складником асфальтобетонної суміші, що виконує велику роль в забезпеченні якості асфальтобетонних сумішей. Питома поверхня мінерального порошку становить близько 90 % питомої поверхні мінеральних матеріалів у складі асфальтобетонної суміші. У складі асфальтобетонної суміші мінеральний порошок виконує дві ролі – заповнює пори між дрібним та крупним заповнювачем і структурує бітум.

Проблематика. На електрогенеруючих підприємствах України, у результаті спалювання вугілля, утворюються мільйони тонн пилоподібних відходів – золи-винесення. Даний матеріал за зерновим складом наближається до вимог до наповнювача згідно з ДСТУ Б В.2.7-121 та ймовірно може бути використаний для виробництва асфальтобетонних сумішей.

Мета. Встановлення можливості використання золи-винесення для виробництва асфальтобетонних сумішей шляхом аналізування хімічних властивостей.

Матеріали та методи. Під час досліджень використовували наповнювач виробництва ТОВ «СКАЛА-ПОДІЛЬСЬКИЙ СПЕЦКАР'ЄР» та золу-винесення Бурштинської ТЕС.

Результати. Результати випробування показали, що досліджену золу-винесення можна використовувати для виробництва асфальтобетонних сумішей при повній заміні нею вапнякового мінерального порошку.

Висновки. Дослідження фізико-механічних характеристик, застосовуючи стандартні і альтернативні методи, дозволило провести аналіз найважливіших властивостей (питома поверхня, пористість, бітумоємність) досліджуваної в цій роботі відходів паливно-енергетичної промисловості у вигляді золи-винесення. Це дозволило визначити можливість їх використання як наповнювача в асфальтобетоні.

Комплексний аналіз складу та кислотно-основних властивостей алюмосилікатної техногенної сировини з відходів паливно-енергетичних підприємств у вигляді золи-винесення ТЕС різного походження дозволяє стверджувати, що всі досліджувані зразки мають достатньо високий потенціал для використання їх як наповнювач.

Використання золи-винесення для виробництва асфальтобетонних сумішей дозволить значно зменшити кількість відходів та поліпшити екологічний стан довкілля.

Ключові слова: автомобільна дорога, асфальтобетон, асфальтобетонна суміш, густина, екологія, зола-винесення, мінеральний порошок, мінералогічний склад, рентгенофазовий аналіз.

Вступ

Утилізація вторинних матеріалів виробництва призначена для збереження природних ресурсів і скорочення обсягу відходів, які необхідно утилізувати в спеціальних місцях поховання.

Утилізація заохочується багатьма країнами Європейського Союзу, де є відповідні положення у всіх директивах, що стосуються управління відходами. Ключовим елементом у заохоченні до перероблення відходів є принцип «забруднювач платить», який був включений до всіх директив Співтовариства щодо поводження з безпечними та небезпечними відходами. Багато держав-членів прийняли специфічне екологічне законодавство, зокрема, сплату податку за утилізацію відходів [1].

Основна частина

Для вивчення можливості використання техногенної сировини як мінерального порошку, який використовується у виробництві асфальтобетонної суміші, проведено дослідження відходів паливно-енергетичної промисловості у вигляді золи-винесення теплових електростанцій. У рамках цих досліджень було взято золу-винесення Бурштинської ТЕС. З метою порівняння якості досліджуваних відходів паливно-енергетичної промисловості було використано вапняковий мінеральний порошок виробництва ТОВ «СКАЛА-ПОДІЛЬСЬКИЙ СПЕЦКАР'ЄР».

Один з важливих аспектів при використанні золи-винесення – її радіоактивність. У зв'язку з цим на початковому етапі досліджень, відходи паливно-енергетичної промисловості були досліджені на предмет їхньої безпеки. Вміст природних радіонуклідів у досліджуваних зразках золи-винесення знаходився у встановлених межах та належать до І класу і зразки можна використовувати у будівництві всіх видів.

Для визначення фізико-механічних характеристик золи-винесення були використані вимоги ДСТУ Б В.2.7-121 [2]. Цей документ був обраний як норматив для вимірювання фізико-механічних властивостей золи-винесення як мінеральний порошок для асфальтобетонної суміші, оскільки процеси формування структури мінеральних наповнювачів з бітумом ідентичні за своєю природою на механізм взаємодії у бінарній системі «бітум – мінеральний порошок».

Аналізуючи отримані дані (**табл. 1**), можна зробити висновок, що всі показники золи-винесення відповідають дійсним нормам і наближаються до показників вапнякового мінерального порошку.

Таблиця 1

Порівняння вапнякового наповнювача із золою-винесення

Ч. ч.	Найменування показників, одиниця вимірювання	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-121	Результати випробування наповнювача	
			Скала-Подільський СК	Зола-винесення Бурштинської ТЕС
1	Зерновий склад – вміст частинок, відсоток за масою:			
	– дрібніше ніж 0,071 мм	80, не менше	91,9	
	– дрібніше ніж 0,315 мм	90, не менше	99,6	
	– дрібніше ніж 1,25 мм	100, не менше	100	
2	Дійсна густина, г/см^3	-	2,88	2,65
3	Середня густина, г/см^3	-	1,94	1,78
4	Структуруюча здатність, °С	від 10 до 20 включно	12	14
5	Пористість, %	35, не більше	33,0	31
6	Вологість, %		0,3	0,2
7	Набрякання зразків	2,5, не більше	1,2	1,3
8	Показник бітумоємності, г/100 см^3	-	40	42
9	Питома поверхня, м^2/кг	-	420	438

Отримані результати аналізу фізико-механічних властивостей відходів паливно-енергетичної промисловості у вигляді золи-винесення дають змогу робити висновок щодо можливостей використання цієї сировини для виготовлення асфальтобетонної суміші для дорожнього будівництва. Проте важливу роль у формуванні структури композиту з такою специфічною сировиною можуть відігравати хімічний та мінералогічний склад, які залежать від виду палива, технології спалювання, методу уловлення та видалення.

Під час спалювання палива досягається висока температура (1 100 – 1 600) °C, що є причиною складних фізико-хімічних процесів, під час яких мінеральні домішки зазнають змін. Це приводить до складності хімічного і мінералогічного складу золи. Крім того, золи містять значну кількість неспалених часток органічного палива, кількість яких визначається втратами під час оброблення, згідно з ДСТУ Б В.2.7-121 [2], ця кількість не повинна перевищувати 20 % від загальної маси.

Загалом, зола-винесення є складною сировиною, яка включає в себе органічні та неорганічні компоненти. Неорганічна складова включає аморфну і кристалічну фазу. Аморфна фаза містить алюмосилікатне скло, тоді як кристалічна містить зерна мінералів вихідного палива (кварц, польові шпати і інші) і кристалічні новоутворення, такі як муліт, гематит і інші.

Хімічний аналіз техногенної сировини з відходів паливно-енергетичних підприємств у вигляді золи-винесення проводили за допомогою спектральних методів, і при цьому враховували втрати під час прокалювання (0,70 – 4,95) %. Отримані дані подано у відсотках відносно загальної маси. Аналіз результатів свідчить про те, що дослідна техногенна сировина характеризується високим вмістом оксиду кремнію SiO_2 (50,78 %) і оксиду алюмінію Al_2O_3 (30,48 %).

Таблиця 2

Оксидний та елементний склад золи-винесення

Оксид	Інтенсивність	Концентрація	Елемент	Інтенсивність	Концентрація
Al_2O_3	139 443	30,48 ± 0,11 %	Al	138 880	15,75 ± 0,11 %
SiO_2	405 794	50,78 ± 0,14 %	Si	421 642	24,01 ± 0,13 %
S	32 826	0,31 ± 0,01 %	S	34 128	0,31 ± 0,01 %
K_2O	4 860	3,35 ± 0,18 %	K	5 126	2,89 ± 0,17 %
CaO	6 558	3,07 ± 0,10 %	Ca	6 652	2,20 ± 0,10 %
TiO_2	6 156	1,24 ± 0,03 %	Ti	6 251	0,74 ± 0,03 %
Cr_2O_3	573	0,04 ± 0,01 %	Cr	625	0,03 ± 0,01 %
MnO	1 768	0,07 ± 0,01 %	Mn	1 902	0,06 ± 0,01 %
Fe_2O_3	371 406	10,43 ± 0,03 %	Fe	376 099	7,28 ± 0,03 %
NiO	1 534	0,02 ± 0,00 %	Ni	1 585	0,02 ± 0,00 %
CuO	1 484	0,02 ± 0,00 %	Cu	1 483	0,01 ± 0,00 %
ZnO	2 918	0,02 ± 0,00 %	Zn	2 898	0,02 ± 0,00 %
As_2O_3	5 512	0,02 ± 0,00 %	As	5 543	0,02 ± 0,00 %
Rb_2O	15 375	0,02 ± 0,00 %	Rb	15 631	0,02 ± 0,00 %
SrO	41 198	0,06 ± 0,00 %	Sr	42 226	0,05 ± 0,00 %
ZrO_2	38 640	0,05 ± 0,00 %	Zr	36 192	0,03 ± 0,00 %
PbO	3 643	0,02 ± 0,00 %	Pb	3 691	0,01 ± 0,00 %

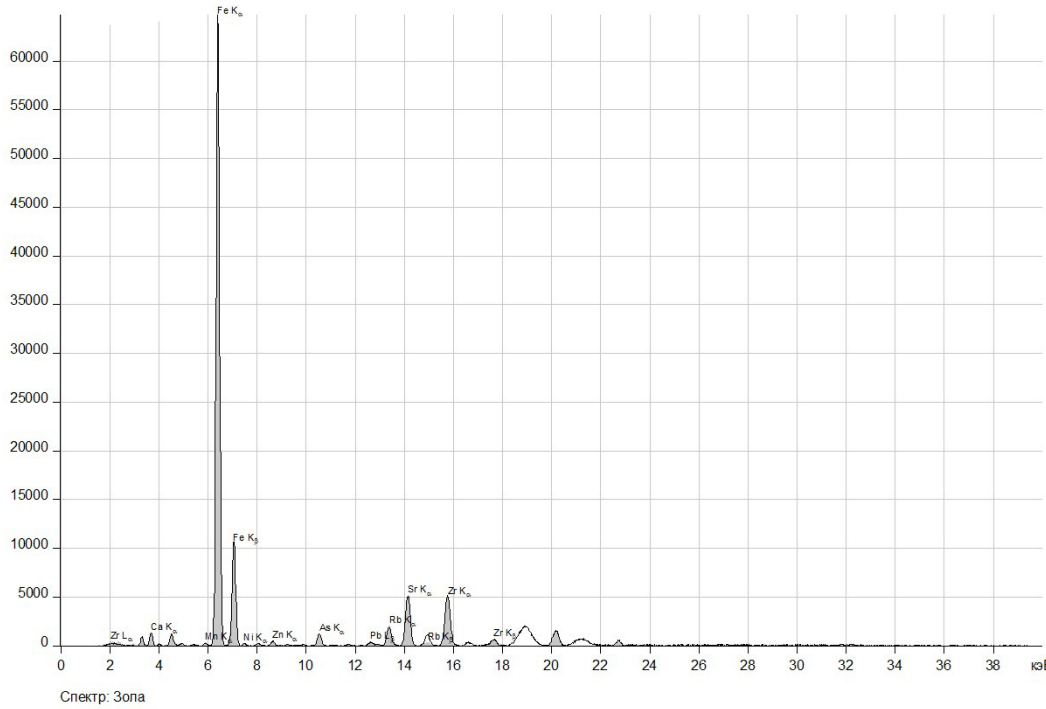

Рисунок 1 – Спектр важких елементів

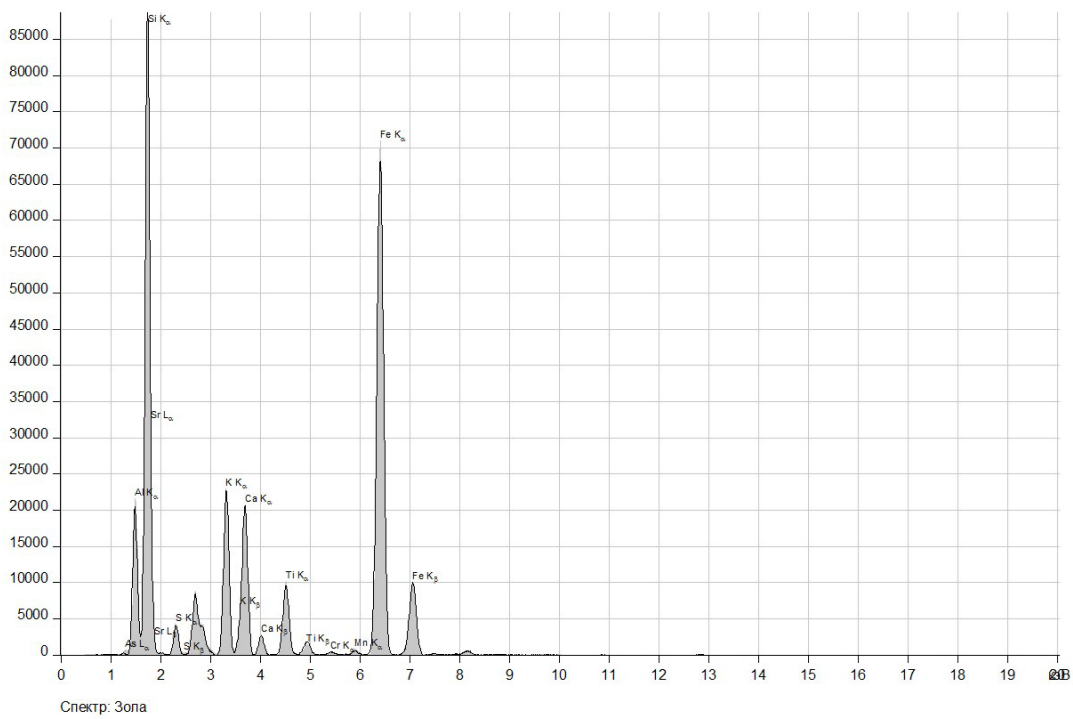

Рисунок 2 – Спектр легких елементів

За допомогою рентгенофазового аналізу був визначений фазовий і мінералогічний склад тзоли-винесення. Досліджуваний зразок техногенної сировини характеризувався високим вмістом рентгеноаморфної фази, що призводить до появи складної фонової лінії на рентгенограмах (**рис. 3**).

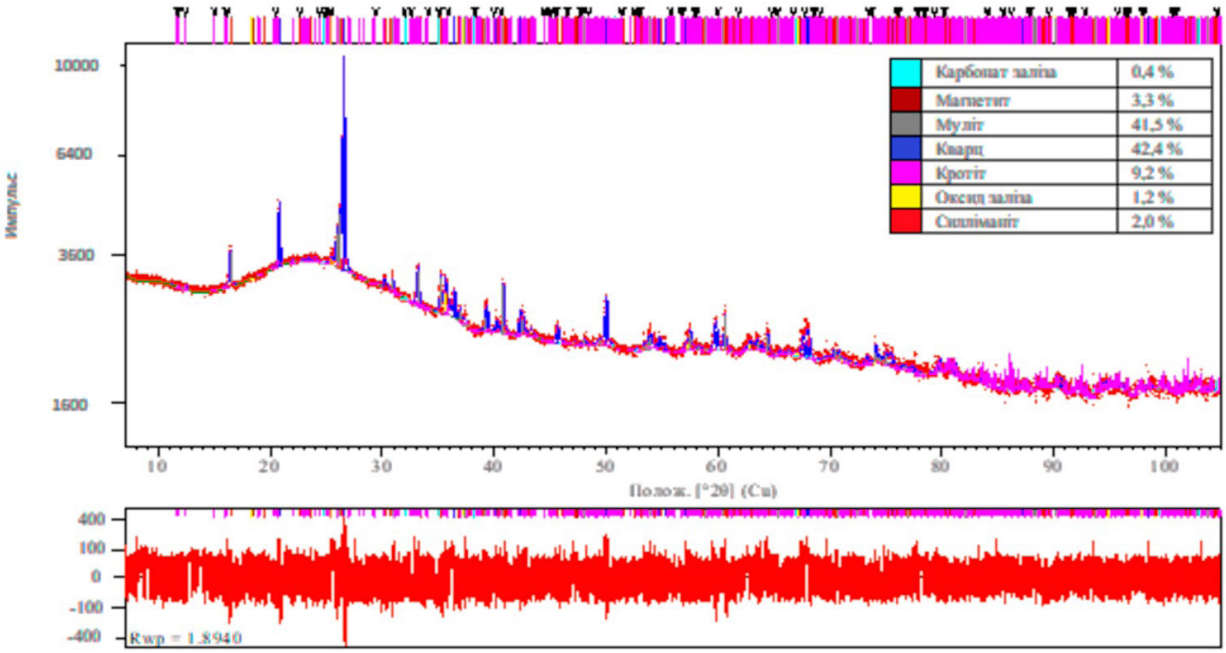

Рисунок 3 – Результати повнопрофільного розрахунку рентгенограм, досліджуваної золи-винесення

Таблиця 3

Мінералогічний склад золи-винесення з Бурштинської ТЕС

Найменування	РФС	Карбонат заліза	Магнетит	Муліт	Кварц	Кротіт	Оксид заліза	Силліманіт
Значення, %	49,69	0,4	3,3	41,5	42,4	9,2	1,2	2,0

На основі отриманих даних про мінеральний склад досліджуваної золи-винесення можемо зробити висновок, що рентгеноаморфна фаза складає 49,69 % (**табл. 3**). Оскільки рентгеноаморфна скляна фаза утворена оксидами кремнію і алюмінію, комплекс яких при однаковій координації збільшує «мінусовий» заряд і створює значний негативний потенціал на поверхні матеріалу, можна припустити, що зола-винесення буде активно взаємодіяти з позитивно зарядженими молекулами бітуму. Крім того, активність взаємодії в бінарній системі «бітум – зола-винесення» буде безпосередньо залежати від вмісту скляної фази, і чим більше її у складі золи, тим активніше буде взаємодія. Тому доцільно разом із золою-винесення використовувати модифікований бітум з ПАВ.

Висновки

Дослідження фізико-механічних характеристик золи-винесення, застосовуючи стандартні й альтернативні методи, дозволило провести аналіз найважливіших властивостей (питома

поверхня, пористість, бітумоємність) та встановити можливість її використання як наповнювача в асфальтобетоні.

Комплексний аналіз складу та кислотно-основних властивостей алюмосилікатної техногенної сировини з відходів паливно-енергетичних підприємств у вигляді золи-винесення ТЕС різного походження дозволяє стверджувати, що всі досліджувані зразки мають достатньо високий потенціал для використання їх як наповнювач в асфальтобетонній суміші.

Подальші дослідження спрямовані на встановлення фізико-механічних властивостей асфальтобетонних сумішей з використанням модифікованого бітуму поверхнево-активними речовинами і повною заміною мінерального порошку золою-винесення.

Список літератури

1. Концепція Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 11.01.2018 N 34-р // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/34-2018-%D1%80 (дата звернення: 20.01.2021).

2. ДСТУ Б В.2.7-121:2014 Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Технічні умови. Київ, 2015. 42 с. (Інформація та документація).

References

1. Kontseptsiya Derzhavnoyi tsilovoyie ekonomichnoyi prohramy rozvytku avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannya derzhavnoho znachennyana 2018-2022 roky : Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 11.01.2018 N 34-p Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/34-2018-%D1%80 (Last accessed: 20.01.2021) [in Ukrainian].

2. DSTU B V.2.7-121:2014 Poroshok mineralnyi dlia asfaltobetonnykh sumishei. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-121:2014) Mineral powder for asphalt concrete mixtures. Specifications]. Kyiv, 2015. 42 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Volodymyr Kaskiv, *Ph.D., Associate Prof., https://orcid.org/0000-0002-8074-6798*
Oleksii Sokolov, *https://orcid.org/0000-0002-4694-9647*
M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE USE OF FLY ASH AS A FILLER IN ASPHALT

Abstract

Introduction. Asphalt mixtures are one of the most widely used materials in road construction. For the production of these mixtures, mainly conditioned mineral materials are used – coarse aggregate, fine aggregate and filler, and bitumen is used as a binder.

Mineral filer is an important component of the asphalt mixture, which plays a major role in ensuring the quality of asphalt mixtures. The specific surface area of mineral filler is about 90 % of the specific surface area of mineral materials in the asphalt mix. Mineral filler plays two roles in the asphalt mixture: it fills the pores between fine and coarse aggregates and structures the bitumen.

Problem Statement. Ukrainian power generating enterprises generate millions of tons of dusty waste – fly ash - as a result of coal combustion. This material is close in grading the requirements for aggregate according to DSTU B V.2.7-121 and can probably be used for the production of asphalt mixtures.

Purpose. To determine the possibility of using fly ash for the production of asphalt mixtures by analyzing its chemical properties.

Materials and methods. During the research, we used aggregate produced by SKALA-PODILSKYI SPECIAL QUARRY LLC and fly ash from Burshtyn TPP.

Results. The test results showed that the studied fly ash can be used for the production of asphalt mixtures with a complete replacement of limestone mineral filler.

Conclusions. The study of physical and mechanical characteristics, using standard and alternative methods, made it possible to analyze the most important properties (specific surface area, porosity, bitumen capacity) of the fuel and energy industry waste in the form of fly ash studied in this work. This made it possible to determine the possibility of their use as a filler in asphalt concrete.

A comprehensive analysis of the composition and acid-base properties of anthropogenic aluminosilicate raw materials from fuel and energy enterprises in the form of fly ash from thermal power plants of various origins suggests that all the studied samples have a sufficiently high potential for use as filler.

The use of fly ash for the production of asphalt mixtures will significantly reduce the amount of waste and improve the ecological state of the environment.

Keywords: road, asphalt, asphalt mixture, density, ecology, fly ash, mineral filler, mineralogical composition, X-ray phase analysis.