

УДК 691.3:666.972.2

**ВІБРОПРЕСОВАНІ ДРІБНОЗЕРНИСТІ НАДЖОРСТКІ БЕТОНИ
З ЗАСТОСУВАННЯМ МІНЕРАЛЬНИХ СУМІШЕЙ НОВОГО ПОКОЛІННЯ
НА ОСНОВІ ПЕРЕРОБЛЕНИХ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДВАЛІВ ТЕПЛОВИХ
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ УКРАЇНИ**

Асп. І. С. Лічнов, д-р техн. наук М. А. Саницький, канд. техн. наук В. О. Каганов

**VIBROPRESSED FINE-GRAINED ULTRA-HARD CONCRETE USING NEW
GENERATION MINERAL MIXTURES BASED ON RECYCLED ASH SLAG DUMPS OF
THERMAL POWER PLANTS OF UKRAINE**

Postgraduate student I. S. Lichnov, Dr. Sc. (Tech.) M. A. Sanytsky, PhD (Tech.) V. O. Kahanov

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.210.2024.320732>



Анотація. Масове виготовлення дрібнозернистих наджорстких бетонів для сучасних бетоноформувальних комплексів імпортного виробництва (Німеччина, США, Туреччина) тісно пов'язано з необхідністю використання портландцементів першого і другого типів і питаннями застосування ефективних золошлакових сумішей як мінеральних домішок із метою зменшення витрат зв'язного в процесі вібропресування будівельних виробів.

Ситуація, що склалася в Україні у 2024 році з суттєвим руйнуванням більшості діючих потужних ТЕС під час російських ракетних обстрілів, призвела до створення штучного дефіциту виробництва золи винесення сухого відбору та відсутності цього цінного матеріалу

на підприємствах генерації електричної енергії. Між тим питання економії зв'язного у вигляді портландцементів першого і другого типів для масового виготовлення бетонних виробів і надалі стоїть на порядку денному сучасних підприємств будівельної індустрії. Стаття авторів присвячена дослідженню вібропресованих дрібнозернистих бетонів на основі наджорстких сумішей, які активно впроваджують у Західному регіоні України, де вже зараз функціонує ціла низка технологічних ліній із новітніми бетоноформувальними комплексами імпортного виробництва. Проблеми застосування перероблених золошлакових відвалів, накопичених на українських ТЕС у минулі роки, відкривають нові перспективи щодо виготовлення сучасних вібропресованих виробів на основі наджорстких сумішей із підвищеними експлуатаційними характеристиками за значної економії використаного портландцементу як зв'язного для будівельних елементів. У статті колектив авторів кафедри будівельного виробництва ознайомлює науково-технічну аудиторію з останніми дослідженнями, здійсненими у Львівській політехніці в цій царині, надаючи певні результати вивчення впливу на властивості наджорстких вібропресованих бетонів із використанням мінеральних очищених класифікованих сумішей марки SM 0/40/70 (ДСТУ 2.7-128:2006 «Добавка активна мінеральна») на часткову заміну портландцементів першого і другого типів виробництва ПАТ «Івано-Франківськцемент».

Ключові слова: мінеральна суміш, золошлакові відвали теплових електростанцій, вібропресовані дрібнозернисті бетони, наджорсткі бетонні суміші, бетоноформувальні комплекси.

Abstract. Mass production of fine-grained ultra-hard concrete for modern blockmaking machines (production of Germany, USA, Turkey) is closely related to the need to use Portland cements CEM I and CEM II and the issues of using effective ash-slag mixtures as mineral additives to reduce the consumption of binder in the process of vibropressing construction products.

The situation that developed in 2024 with the significant destruction of most of the powerful thermal power plants operating in Ukraine during Russian missile attacks led to the creation of an artificial deficit in the production of dry-selection fly ash and the absence of this valuable material at electricity generation enterprises. Meanwhile, the issue of saving binder in the form of Portland cements CEM I and CEM II in the mass production of concrete products continues to be on the agenda of modern construction industry enterprises. The authors' article is devoted to the study of vibropressed fine-grained concrete based on ultra-hard mixtures, which are actively being introduced in the Western region of Ukraine, where several technological lines with the latest blockmaking machines of imported production are already operating. The problems of using recycled ash and slag heaps, which have accumulated in significant quantities at Ukrainian thermal power plants in recent years, open new prospects in the manufacture of modern vibropressed products based on ultra-hard mixtures with increased performance characteristics with significant savings in the amount of Portland cement used as a binder for building elements. As a result of the publication, the team of authors of the Department of Construction Production introduces the scientific and technical audience to the latest research carried out at the Lviv Polytechnic in this area, which presents certain results of studying the impact on the properties of ultra-hard vibropressed concretes using mineral purified classified mixtures SM 0/40/70 (DSTU 2.7-128:2006 «Active mineral additive») for partial replacement of Portland cements (CEM I and CEM II) produced by «Ivano-Frankivskcement».

Keywords: mineral mixture, ash and slag heaps of thermal power plants, vibro-pressed fine-grained concretes, ultra-hard concrete mixtures, blockmaking machines.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загалом проблематиці використання золи винесення сухого

відбору ТЕС у процесі виготовлення бетонних сумішей різноманітного призначення було присвячено значну

кількість наукових досліджень, серед яких слід зазначити публікації Леоніда Дворкіна [1], Ванесси Клапченко, Григорія Краснянського, Ірини Азнаурян, Ірини Кузнецової [2]. Воєнна агресія російської федерації проти України, направлена на знищення енергетичної інфраструктури на діючих генеруючих українських підприємствах, викликала серйозні проблеми в постачанні на технологічні лінії будівельної індустрії золи винесення сухого відбору ТЕС як активної мінеральної добавки і поставило підприємства з виготовлення індустріального і товарного бетону в ситуацію, що викликає потребу в заміні золи винесення сухого відбору ТЕС на ефективніші спеціально підготовлені золошлакові суміші з накопичених раніше відвалів відходів теплових електростанцій. За даними проекту сучасних нормативних документів, гармонізованих із європейськими нормами [3], і наукових звітів із вивчення властивостей золошлакових відвалів західно-українських ТЕС [4] за десятиліття роботи генеруючих підприємств накопичилася значна кількість золошлакових відвалів із різним гранулометричним складом таких відходів (Бурштинська ТЕС – до 25 млн т, Добротвірська ТЕС – приблизно 18 млн т, Ладжинська ТЕС – близько 20 млн т). Потенціал переробки золошлакових відвалів для виготовлення мінеральних активних добавок із відповідним рівнем очищення та певним рівнем класифікації на ТЕС Західного регіону України є досить потужним.

Наукові роботи спеціалістів у галузі енергетики та відомих фахівців України з будівельного матеріалознавства: О. О. Хлопицького, В. П. Ковальського, О. О. Сідкана, В. І. Мосьпана, А. О. Кесової, О. М. Денисюка, Л. А. Нудченка, О. В. Дзюбана, В. М. Дерев'янка, В. В. Колохова, С. В. Мальцева свідчать, що золівмісні компоненти в будівельних матеріалах, бетонах і розчинах на основі

портландцементів як зв'язного мають значні перспективи і створюють резерви в економії зв'язного, що покращує гранулометричний склад як товарних готових бетонних продуктів, так і вібропресованих бетонів на основі жорстких і наджорстких сумішей [5-9].

Основна частина. Спеціалістами кафедри будівельного виробництва НУ «Львівська політехніка» за керівництвом М. А. Саницького давно досліджують фізико-хімічні та фізико-механічні властивості вібропресованих дрібнозернистих бетонів на основі наджорстких сумішей. Роль заміни частини витрат портландцементу першого і другого типу на активні мінеральні домішки є значною, оскільки, крім економії зв'язного, такий процес дає змогу покращити гранулометричний склад бетонних наджорстких сумішей і основні експлуатаційні властивості дрібнозернистих вібропресованих бетонів [10-12].

У результаті здійснених на кафедрі протягом 2023-2024 років комплексних наукових досліджень було виявлено ефективність процесу застосування перероблених золошлакових відвалів ТЕС нового покоління як активних мінеральних добавок у дрібнозернистих бетонах у процесі їхнього вібропресування на сучасних бетоноформувальних комплексах.

У табл. 1 подано результати фізико-хімічного аналізу з визначенням елементного складу мінеральної очищеної та класифікованої золошлакової суміші марки SM 0/40/70, виготовленої «Зеленою Карбонатною компанією» (м. Київ) у 2024 році на основі золошлакових відходів Ладжинської ТЕС.

Елементний склад досліджуваної в публікації активної мінеральної золошлакової добавки свідчить про ефективні показники мінеральної домішки як зв'язного між компонентами наджорсткої бетонної суміші, чим частково можна замінити дію портландцементу як зв'язного у вібропресованих бетонах.

Таблиця 1

Результати фізико-хімічного аналізу визначення елементного складу мінеральної очищеної класифікованої золошлакової суміші марки SM 0/40/70

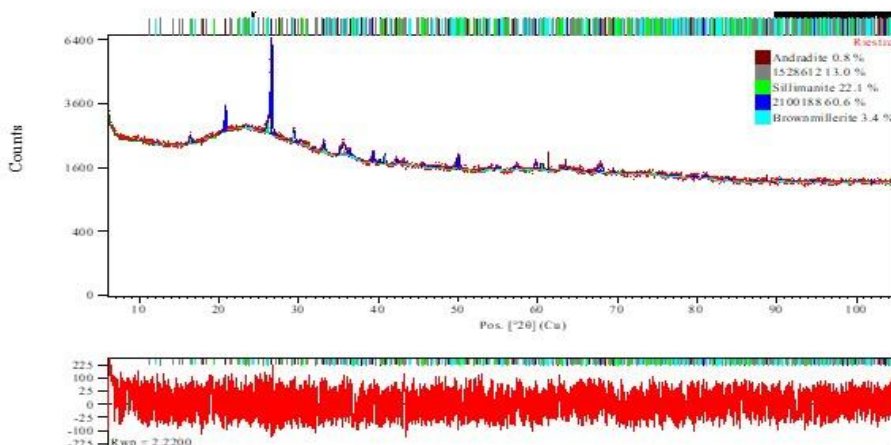
Номер	Елемент	Серія	Інтенсивність	Концентрація
14	SiO ₂	К	318732	57.723889±0.071057%
13	Al ₂ O ₃	К	58604	19.865274±0.092967%
26	Fe ₂ O ₃	К	760059	13.286811±0.029998%
19	K ₂ O	К	126145	4.014863±0.022919%
20	CaO	К	93854	2.785686±0.018395%
22	TiO ₂	К	66275	1.652294±0.010781%
16	SO ₃	К	2271	0.209265±0.011197%
25	MnO	К	6206	0.086376±0.005915%
38	SrO	К	75979	0.082864±0.000850%
30	ZnO	К	1315	0.053995±0.014059%
40	ZrO ₂	К	62904	0.052140±0.000670%
37	Rb ₂ O	К	36051	0.040067±0.000766%
28	NiO	К	2501	0.038041±0.005349%
24	Cr ₂ O ₃	К	2462	0.031299±0.004777%
29	CuO	К	1170	0.028836±0.009325%
33	As ₂ O ₃	К	9531	0.020881±0.000677%
82	PbO	К	6477	0.014977±0.000992%
39	Y ₂ O ₃	К	15119	0.012444±0.000556%

Подальші фізико-хімічні дослідження мінеральної очищеної та класифікованої суміші на основі спеціально підготовлених відвалів Ладижинської ТЕС марки SM 0/40/70 демонструють результати рентгено-фазового аналізу складу досліджуваного матеріалу (рис. 1).

Хімічний силікатний аналіз складу активної мінеральної суміші з перероблених золошлакових відвалів Ладижинської ТЕС марки SM 0/40/70, наведений на рис. 2, свідчить про властивості досліджуваного матеріалу суттєво впливати на щільність вібропресованої дрібнозернистої бетонної суміші. Хімічний склад мінеральної активної суміші марки SM 0/40/70 нового покоління дає змогу отримати значно знижену водопотребу бетонної суміші, що особливо цінно для формування вібропресованих наджорстких бетонів на сучасних бетоноформувальних комплексах.

Як основне зв'язного у вібропресованих дрібнозернистих бетонах із використанням перероблених золошлакових відвалів ТЕС Західного та Центрального регіону України застосовували портландцементи ПАТ «Івано-Франківськцемент» активністю 500. Порівняно з високоміцними бетонами (що мають міцність більше 50 МПа), виготовленими на основі портландцементу ПЦ ІІ/А-Ш-400Р-Н, бетони, вироблені на основі портландцементу ПЦ ІІ/А-Ш-500Р-Н мають вищу ранню міцність, яка у свою чергу дає змогу гарантовано отримувати у свіжовідформованих вібропресованих виробках на основі наджорстких сумішей потрібну проектну міцність на стиск і розтяг зі згином. У табл. 2 наведені результати фактичних фізико-механічних характеристик портландцементу ПАТ «Івано-Франківськцемент».

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Number of used phases	5
Number of variables	188
Number of constraints	5
Zero shift/ °2Theta	0.000000
Specimen displacement/ mm	0.025929
Specimen Packing Factor	0.000000
Profile function	Pseudo Voigt
Background	Use available background
R (expected)/ %	2.32650
R (profile)/ %	1.71942
R (weighted profile)/ %	2.22002
GOF	0.95423
d-statistic	1.09433
Mixture MAC/ cm^2/g	63.50
U standard	0.000000
V standard	0.000000
W standard	0.010000
TCH U Left	0.000000
TCH V Left	0.000000
TCH W Left	0.010000
TCH Z Left	0.000000
TCH X Left	0.000000
TCH Y Left	0.000000
TCH U Right	0.000000
TCH V Right	0.000000
TCH W Right	0.010000
TCH Z Right	0.000000

Рис. 1. Рентгено-фазовий аналіз активної мінеральної суміші з перероблених золошлакових відвалів ТЕС

Таблиця 2

Результати фізико-механічних характеристик портландцементу ПАТ «Івано-Франківськцемент»

Найменування	Питома поверхня, м ² /кг	НГТ, %	Терміни тужавіння, хв		Тонина помолу, %
			початок	кінець	
1	2	3	4	5	6
ПЦ I – 500P-H	435	30,0	150	240	0,4
ПЦ II/A-B-500P-H	477	30,5	140	220	0,8

Продовження табл. 2

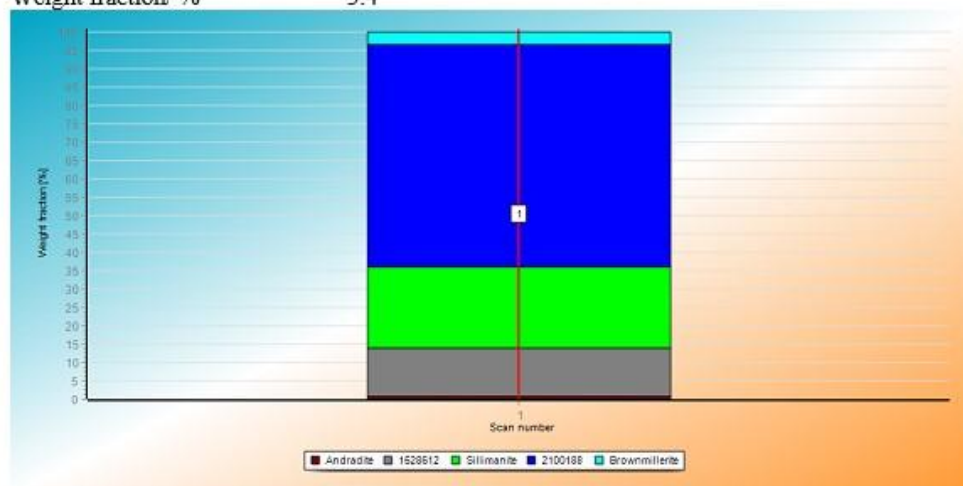
1	2	3	4	5	6
ПЦ П/А-Ш-500Р-Н (березень 2023)	425	30,0	160	250	0,8
ПЦ П/А-Ш-500Р-Н (травень 2023)	421	30,0	150	220	0,4
ПЦ П/А-Ш-500Р-Н (серпень 2023)	430	30,0	150	230	0,4

Pattern List: (Bookmark 4)

Ref. Code	Score	Compound Name	Displ. [°2θ]	Scale Fac.	Chem. Formula
96-210-0189	19	2100188	-0.262	0.231	Si _{3,00} O _{6,00}
96-900-6526	10	Sillimanite	-0.277	0.094	Al _{8,00} Si _{4,00} O _{20,00}
96-152-8613	10	1528612	-0.149	0.058	O _{96,00} Fe _{64,00}
96-900-1186	10	Andradite	-0.379	0.068	Si _{24,00} Fe _{16,00} Ca _{24,00} O _{96,00}
96-900-3344	8	Brownmillerite	-0.303	0.037	Ca _{8,00} Fe _{6,16} Al _{1,84} O _{20,00}

Document History: (Bookmark 5)

Phase Andradite
Weight fraction/ % 0.8
Phase 1528612
Weight fraction/ % 13.0
Phase Sillimanite
Weight fraction/ % 22.1
Phase 2100188
Weight fraction/ % 60.6
Phase Brownmillerite
Weight fraction/ % 3.4



Sample ID	Rwp	Andradite [%]	1528612 [%]	Sillimanite [%]	2100188 [%]	Brownmillerite [%]
Riestra	2.2200	0.8	13.0	22.1	60.6	3.4

Рис. 2. Повний хімічний склад мінеральної суміші SM 0/40/70

Особливою характеристикою функціонування в бетонах очищених мінеральних класифікованих сумішей марки SM 0/40/70, які були виготовлені на основі спеціально перероблених золошлакових відвалів Ладжинської ТЕС у вібропресованих виробках, є такі фактори:

За рахунок значно зменшеного вмісту незгорілого вуглецю (до 2-3 %) суттєво збільшена активність мінеральної суміші в бетонах.

Досліджувана очищена та класифікована мінеральна суміш не містить негашеного вапна та оксиду магнію в результаті довготривалої витримки матеріалу в мокрому стані, що значно покращує адгезійні властивості компонента вібропресованої бетонної суміші.

За наявності в такій суміші частинок сферичної форми та ефективного

наповнення пор цей мінеральний очищений компонент у бетоні працює як свого роду мінеральний пластифікатор.

За відсутності в складі карбону досліджувана мінеральна суміш є однорідною та дрібнішою за гранулометричним складом (залишок на ситі у 45 мікрон не більше 12 %, яку повністю вилучають із підготовленого матеріалу).

Досліджений комплекс наведених вище властивостей суттєво підвищує гідравлічну активність такої суміші, що значно впливає на підвищення міцності вібропресованого дрібнозернистого бетону.

У табл. 3 подано основні технічні характеристики очищеної мінеральної класифікованої суміші марки SM 0/40/70 нового покоління із золошлакових відвалів Ладжинської ТЕС.

Таблиця 3

Технічні характеристики очищеної мінеральної класифікованої суміші марки SM 0/40/70

Номер	Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
1	Вологість	%	<0.5
2	Насипна щільність	т/м ³	1,4-1,7
3	Втрати з прожарюванням	%	<2,7

Результати проведених досліджень. Досвід використання на виробництві ТМ «Мій Двір» (м. Львів) очищеної мінеральної класифікованої суміші SM 0/40/70 як заміника портландцементу ПЦ-ІІ 500 А/Ш ПАТ «Івано-Франківськцемент» (до 20 % маси зв'язного) створює додаткові можливості для економії портландцементу, покращує реологічні властивості свіжовідформованих наджорстких дрібнозернистих і жорстких вібропресованих бетонів обох шарів будівельних (основного – нижнього шару та фактурного – верхнього шару) сумішей.

Свідченням такого факту є результати лабораторних випробувань, отримані сертифікованою вимірювальною лабораторією підприємства-виробника на основі цементно-піщаних балок 4x4x16 см з додаванням до 20 % мінеральних золошлакових сумішей із відвалів Бурштинської, Ладжинської та Добротвірської ТЕС (рис. 3), де на графіках і в табличній формі продемонстровано, як забезпечена необхідна міцність виробів на стиск на відповідному рівні. Економія витрат портландцементу як зв'язного при цьому коливається в межах від 12 до 17 %. Отже, дослідним шляхом було доведено

суттєву ефективність підготовлених активних мінеральних сумішей із золошлакових відвалів ТЕС нового

покоління у вібропресованих дрібнозернистих наджорстких бетонах.

Виробник портландцементу, марка	Фізико-механічні властивості портландцементу (міцність на стиск, МПа)	
	48 год	28 днів
ІКСЕМ ПЦ П/А-Ш 500Р-Н	23.06	50.02
ІКСЕМ ПЦ П/А-Ш 500Р-Н + Зола Бурштинська ТЕС (80%+20%)	16.35	41.12
ІКСЕМ ПЦ П/А-Ш 500Р-Н + мінеральна мука ТОВ "ЗКК" (80%+20%)	15.22	37.57
ІКСЕМ ПЦ П/А-Ш 500Р-Н + Зола Добротвірська ТЕС (80%+20%)	18.69	42.45

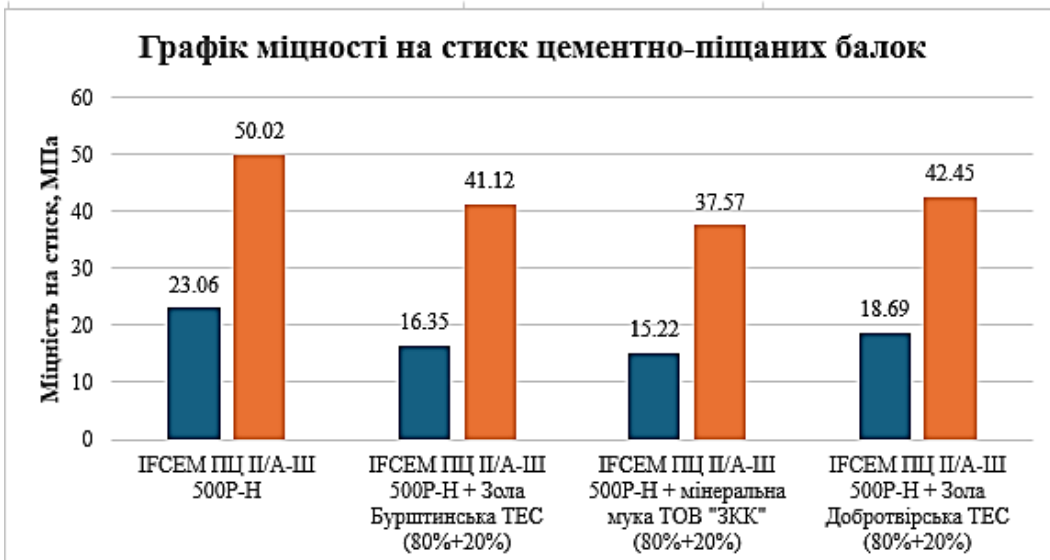


Рис. 3. Результати випробувань цементно-піщаних зразків із додаванням до зв'язного 20 % активної мінеральної золошлакової суміші

Висновки. У результаті здійснених у 2023-2024 роках досліджень ефективності застосування підготовлених і спеціально очищених і класифікованих мінеральних сумішей Ладижинської ТЕС (марки SM 0/40/70), Бурштинської і Добротвірської ТЕС, виготовлених в умовах виробничої бази ТМ «Мій Двір» (м. Львів), свідчать про відповідну ефективність їх застосування для серійного вібропресування наджорстких і жорстких дрібнозернистих бетонів на

сучасних бетоноформульних комплексах імпортного виробництва (Німеччина).

Економічний ефект застосування активних мінеральних сумішей на основі перероблених (очищених і класифікованих) золошлакових відвалів теплових електростанцій становить у середньому до 15 % за рахунок економії портландцементу ПЦ П 500А/Ш, що в грошовому еквіваленті складає до 350-400 грн на кубічний метр бетонної суміші.

Список використаних джерел

1. Дворкін Л. Й. Ефективні золівмісні цементи, бетони та розчини: монографія. Рівне: НУВГП, 2022. 419 с.
2. Клапченко В., Краснянський Г., Азнаурян І., Кузнецова І. Використання золи теплоелектростанцій у виробництві бетону. *Збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі»*. Київ: КНУБА, 2018. Вип. 10. С. 47-52.
3. ДСТУ Б В.2.7-128:2006. Будівельні матеріали. Добавки активні мінеральні та добавки-наповнювачі до цементу. Технічні умови. Чинний від 01.01.2007. Київ: Мінбуд України, 2006. 12 с.
4. Звіт щодо проведення ситуації з золошлаковими відвалами на території Львівської та Івано-Франківської областей. Ч. 2. АЦ «Спільнота соціально-відновлювального бізнесу». Львів, 2015. 74 с.
5. Хлопицький О. О. Стан проблеми та перспектива переробки золошлакових відходів теплоелектростанцій України». *Scientific Journal «Science Rice»*. 2014. № 4(2). Р. 23-28.
6. Ковальський В. П., Сідлак О. С. Використання золи виносу ТЕС у будівельних матеріалах. *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*. Вінниця, 2020. С. 35-40.
7. Кєсова Г. В., Кравчук Г. В. Перспективні заходи утилізації золошлакових відходів ТЕС. *Збірник наукових праць «Системний аналіз енергозберігаючих технологій та оптимізація енергоємних виробництв»*. Київ, 2018. № 52. С. 59-64.
8. Денисюк О. М., Нудченко Л. А., Токарчук В. В. Утилізація золошлакових відходів ТЕС в цементній промисловості. *Науковий огляд*. Київ, 2019. № 5(58). С. 79-88.
9. Дерев'янку В. М., Мосьпан В. І., Колохов В. В., Дзюбан О. В. Основні напрямки досліджень із використання золи ТЕС у виробництві будівельних матеріалів. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2022. № 1(1007). С. 38-44.
10. Lichnov I., Kahanov V. Vibro-pressed Concrete in Ukraine: Problems, Trends and Prospects for Development. In *International Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering Lviv-Košice-Rzeszów*. 2023. P. 224-231.
11. Lichnov I. S., Sanytsky M. A., Kahanov V. O. and Danyliuk V. I. Directions and development paths of vibro-pressing of products based on ultra-hard mixtures. *Збірник тез Міжнародної науково-технічної конференції «Гідротехнічне і транспортне будівництво»*. Одеса: ОДАБА, 2023. С. 15-18.
12. Lichnov I. S., Sanytsky M. A., Kahanov V. O., Danyliuk V. I. Optimization of the working compositions of fine-grained vibropressed concretes based on ultra-hard mixtures. *Збірник тез Міжнародної науково-технічної конференції «Гідротехнічне і транспортне будівництво»*. Одеса: ОДАБА, 2024. С. 79-82.

Лічнов Ігор Сергійович, аспірант кафедри будівельного виробництва, Національний університет «Львівська політехніка». ORCID iD: 0009-0004-7924-4274. Тел.: +38 (067) 670-02-36. E-mail: ihor.s.lichnov@lpnu.ua.
Саницький Мирослав Андрійович, доктор технічних наук, професор кафедри будівельного виробництва, Національний університет «Львівська політехніка». ORCID iD: 0000-0002-8609-6079. Тел.: +38 (067) 673-16-55. E-mail: msanytsky@ukr.net.
Каганов Вадим Оскарович, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельного виробництва, Національний університет «Львівська політехніка». ORCID iD: 0000-0002-9607-2951. Тел.: +38 (067) 341-41-93. E-mail: kahanov@ukr.net.

Lichnov Ihor, postgraduate student, department of building construction, National University Lviv Polytechnic. ORCID iD: 0009-0004-7924-4274. Tel.: +38 (067) 670-02-36. E-mail: ihor.s.lichnov@lpnu.ua.

Sanytsky Myroslav, Doctor of Sciences, professor of the department of building construction, National University Lviv Polytechnic. ORCID iD: 0000-0002-8609-6079. Tel.: +38 (067) 673-16-55. E-mail: msanytsky@ukr.net.
Kahanov Vadym, Ph.D., associate professor of the department of building construction, National University Lviv Polytechnic. ORCID iD: 0000-0002-9607-2951. Tel.: +38 (067) 341-41-93. E-mail: kahanov@ukr.net.

Статтю прийнято 11.12.2024 р.