

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 691.535

А. М. ПЕТРОВ<sup>1</sup>, С. Ю. ШЕПТУН<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Кафедра надійності та міцності машин і споруд, Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських, 44, Харків, Україна, 61002, тел. +38 (067) 981 58 43, ел. пошта petrovbmg@btu.kharkov.ua, ORCID 0000-0001-6644-223X  
<sup>2\*</sup> Кафедра надійності та міцності машин і споруд, Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських, 44, Харків, Україна, 61002, тел. +38 (098) 480 66 52, ел. пошта zooms@btu.kharkov.ua, ORCID 0000-0002-1981-4560

### ВПЛИВ СТРОКІВ ЗБЕРІГАННЯ ШЛАМІВ ФЕРОСПЛАВНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ НА ВЛАСТИВОСТІ СУМІШЕЙ НА ЦЕМЕНТНІЙ ОСНОВІ

**Мета.** Перехід на екологічно чисті, безвідходні технології є пріоритетом для більшості країн світу. Металургійна і будівельні галузі вносять значний вклад у формування техногенних відходів у великих обсягах. При виробництві феросплавів утворюється відходи у вигляді шламів, які складаються в шламонакопичувачах. Складування шламів відбувається більше 25 років. З метою вивчення впливу тривалості зберігання шламу на його властивості в складах сухих будівельних сумішей на цементній основі проведено порівняння ефективності використання шламів різного терміну зберігання. Оцінено вплив шламу різних термінів зберігання на міцність цементного каменю. **Методика.** Дослідження проводилися відповідно до стандартних методик визначення фізико-механічних властивостей розчинів з сухих сумішей для влаштування наливних підлог, зазначених в ДСТУ Б В. 2.7-126:2011 «Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови». Шлам від мокрого газоочищення виробництва феросиліцію зберігатися в відвалах де він являє собою суміш з грудок різних фракцій розміром 5...150 мм. Для застосування шламу в складах сухих будівельних сумішей, його необхідно висушити і подрібнити на валковій дробарці і на дезинтеграторі. **Результати.** Визначено оптимальне співвідношення терміну зберігання шламу і його процентного вмісту в складі суміші для підвищення міцності цементного каменю. **Наукова новизна.** Проаналізовано вплив хімічної природи шламу від мокрого газоочищення виробництва феросиліцію на процеси гідратації і міцність цементного каменю. **Практична значимість.** Застосування техногенних відходів в складах сухих будівельних сумішей допомагає одночасно зменшити згубний вплив на екологію промислових підприємств і збільшити механічні та економічні характеристики цементних розчинів на основі сухих сумішей.

*Ключові слова:* суха будівельна суміш; мікронаповнювач; шлам; відходи виробництва; рециклінг

#### Вступ

Портландцемент є одним з дороговартісних компонентів сухих будівельних сумішей на основі гідравлічних в'язучих речовин. Виробництво портландцементу вимагає значних енергетичних витрат, що підвищує викид парникових газів в атмосферу. Останні тенденції в світовій економіці ведуть до поступового зменшення використання невідновлюваних джерел енергії.

Поховання техногенних відходів є гострою проблемою. Постійне збільшення площ поблизу підприємств, займаних відходами, не завжди представляється можливим, організація відвалів далеко від підприємств економічно не вигідна. Політика багатьох країн спрямована на збільшення обсягів і глибини переробки промислових та побутових відходів.

Одним з напрямків вирішення вищезазначених завдань є розширення виробництва і застосування в будівництві ефективних матеріалів і виробів на основі вторинних мінеральних ресурсів.

Пріоритет у використанні техногенних відходів в будівництві повинен віддаватися таким матеріалам, які володіють стабільним хімічним складом і фізичними властивостями, що визначають основні напрямки їх застосування. До цієї групи можуть бути віднесені шлам від мокрого газоочищення виробництва феросиліцію Запорізького заводу феросплавів. Одним з перспективних напрямків використання шламів є застосування їх в якості активаторів твердіння та наповнювачів у виробництві цементних і композиційних будівельних розчинів. Використання у виробництві сухих будівельних сумішей відходів виробництва дозволить ефектив-

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ніше утилізувати техногенні продукти промисловості і зменшити техногенний вплив на навколишнє середовище.

Шлам від мокрого газоочищення, на відміну від шлаків і шламів сухого газоочищення, не використовується, його скидають в шламонакопичувачі і вважають непридатним для виробництва. Шлам утворюється при мокрому газоочищенні феросплавного газу. Очищений газ використовується в котельні заводу, а шлам скидається в шламонакопичувачі, що згубно впливає на навколишнє середовище.

В останні роки проведено багато досліджень в області застосування відходів промислового виробництва в складах в'язучих речовин. В роботах вітчизняних і зарубіжних вчених (Kumbhar, Gupta, & Desai, 2013; Puskás, Corbu, Szilágyi, & Moga, 2014; Арутюнян, & Шуваєв, 2020) зазначено, що в Україні і світі не використовується у повній мірі потенціал рециклінгу будівельних матеріалів і техногенних відходів.

Автори (Макаревич, 2005; Yanzhou Peng, Shuguang Hu, & Qingjun Ding, 2009) встановили, що введення в змішане в'язуче мікрокремнезему сприяє більш швидкому формуванню пластичної міцності за рахунок підвищеної розчинності  $\text{SiO}_2$  і подальшої інтенсифікацією утворення гідросилікатів кальцію. Також автором встановлено, що введення до складу сухих штукатурних сумішей тонкодисперсних мінеральних добавок збільшує адгезійні властивості розчину з основою в результаті підвищення сумарної питомої поверхні суміші і збільшення площі контакту між штукатурним шаром і основою, а також за рахунок інтенсифікації процесів гідратації і гідролізу в системі. При цьому введення мікрокремнезема в кількості 5...15 % збільшує міцність зчеплення розчину з основою на 40...58 %; доломітового борошна і крейди – на 40...52 %.

Авторами (Кашибадзе, 2009; Yang Hua-Quan & Zhou Shi-Hua, 2009) встановлено що введення тонкомолотого шлаку до складу цементної композиції показало можливість отримання в'язучих низьких марок, при цьому економія цементу: складає до 30 %.

Методом Ритвельда показано, що різниця в кількісному сумарному складі гідратних новоутворень в системі цемент – мелений шлак при різних співвідношеннях в різні терміни твердіння становить від 10 до 30 % від сумарного

вмісту їх в системі цемент – мелений пісок. Оптимальними є композиції з 20 мас.% шлаку і піску, які забезпечують підвищений вміст гідратної новоутворень, що підтверджується даними по міцності.

Авторами (Риженко, 2009; Аббасова, 2014; Нетеса, 2015; Бондарь, Ковальський, Очеретный, Мороз, & Вознюк, 2019) встановлено, що зола в композиції з добавками ПАР (поверхнево активних речовин) і ефірами целюлози подовжує період коагуляційного структуроутворення цементних розчинів. Добавка суперпластифікатору викликає в цементно-зольних системах більш інтенсивний розвиток кристалізаційного структуроутворення. У ранньому віці компоненти ПФМ (поліфункціональний модифікатор бетону), представлені органічними добавками, мають певний стабілізуючий ефект на гідратацію цементно-зольних в'язучих. У дослідників немає єдиної думки про причини і механізм поліпшення структури бетонів з золою виносу у складі, і про необхідну її кількість в бетонній суміші.

Автор (Герасимов, 2002) пропонує використовувати керамзитобетон огорожувальних конструкцій знесених будівель, за умови його помелу в присутності пластифікатора С-3, в якості вихідної сировини для отримання ефективної будівельної суміші.

Автор (Дамінова, 2009) пропонує використовувати гранульовану добавки на основі продуктів сульфатно-целюлозного виробництва, що містять смоляні і жирні кислоти, що дозволяють направлено управляти параметрами умовно-замкнутої пористості, формуючи пори оптимальних розмірів до 300 мкм при факторі відстані менше 0,25 мм, що забезпечує істотне підвищення морозостійкості затверділих розчинів у порівнянні з контрольним аналогом.

При веденні гранульованих добавок в оптимальному дозуванні 9...10 % від маси цементу можливо отримати сухі суміші широкої номенклатури марок по рухливості від ПК2 до ПК4 і по міцності від М75 до М250.

Встановлено (Балабанська, 2011) позитивний вплив тонкодисперсних мінеральних добавок мікрокремнезема і золи-винусу на величину адгезії. Аналіз отриманих результатів показує, що величина адгезії розчинів з мікрокремнеземистою добавкою, перебуває в межах 0,3...4,0 МПа, з золою-винусу – 0,3...3,1 МПа.

Забезпечення нормативних значень адгезійної міцності клейових розчинів (не менш 0,5...1,0 МПа) можливо досягти шляхом регулювання співвідношення компонентів органічно-мінеральної добавки.

Виходячи з вищевикладених досліджень та інших, проаналізованих авторами, можна зробити висновок про нестачу наукових досліджень в сфері застосування відходів феросплавної промисловості в складах сухих будівельних сумішей.

### Мета

Визначити раціональну комбінацію терміну зберігання шламу і його дозування для збільшення міцності розчинів на основі сухих будівельних сумішей. Одночасно з'являється можливість вирішення екологічної проблеми складування відходів підприємств, за рахунок використання відходів при виробництві будівельних матеріалів.

### Методика

При проведенні експериментальних досліджень використовувалися такі матеріали:

- портландцемент ПЦІ-500Н Балаклійського цементного заводу Харківської області;
- Безлюдівський кварцовий пісок 0...1,5 мм з пос. Безлюдівка, Харківської області. Містить більше 96 % SiO<sub>2</sub>;
- вапно гашене;
- модифікована целюлоза Vermocoll CCA 425;
- пластифікатор СП-3;
- шлам мокрого газоочищення від виробництва феросиліцію Запорізького феросплавного заводу.

У дослідженні застосовувалося три види шламу: шлам відразу після виробництва, шлам п'ятирічної давності і шлам більш ніж двадцятирічної давності після виробництва (табл. 1).

Таблиця 1

Хімічний склад шламу від мокрого газоочищення виробництва феросиліцію

Вид шламу	Вміст компонентів, %										
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	в.п.в.
Одразу після виробництва	69,9	3,0	2,5	4,6	1,7	1,1	0,7	0,08	0,06	0,04	16,32
П'ять років після виробництва	72,6	3,5	2,8	3,6	1,5	1,0	0,8	0,07	0,07	0,03	14,03
Більше двадцяти п'яти років після виробництва	81,3	3,6	3,5	1,2	1,0	0,9	0,65	0,1	0,03	0,01	7,71

Шлам від мокрого газоочищення зберігається в відвалах Запорізького феросплавного заводу, в даних умовах зберігання він поступово спресовується і використовувати його в такому вигляді не є можливим, тому його необхідно спочатку висушити, а потім подрібнити. Подрібнення шламу проводилося в два етапи: попередньо в валковій дробарці, а потім в дезинтеграторі. В результаті подрібнення отримано мікронаповнювачі із середньою щільністю 200...250 кг/м<sup>3</sup> і питомою поверхнею 15000...25000 см<sup>2</sup>/г. Результати випробувань сухих будівельних сумішей занесені в табл. 2.

Аналіз дослідження показав, що тонкодисперсний мінеральний наповнювач значно збі-

льшує міцність зразків на стиск і на вигин. Використання шламу сприяє більшій економічній ефективності утилізації відходів від металургійного виробництва.

Введення шламу водопом'якшання збільшує міцність цементного каменю за рахунок формуванням навколо зерна аліту C<sub>3</sub>S шару з мікрористалів кальциту які частково заміщують в процесі гідратації шар кристалів Ca(OH)<sub>2</sub>, що призводить до підвищення активності системи. Поряд з цим, внаслідок меншої дифузійної здатності кальциту в порівнянні з кристалами Ca(OH)<sub>2</sub> швидкість процесу розчинення зростає незначно, що не приводить до виникнення рихлої структури цементного каменю.

Таблиця 2

## Випробування зразків з сухих будівельних сумішей з додаванням шламу мокрого газоочищення

№	Характеристика складів	Міцність при стиску, кгс/см <sup>2</sup>			Міцність при згині, кгс/см <sup>2</sup>			
		3 діб	7 діб	28 діб	3 діб	3 діб	28 діб	
I	Контр. зразок № I Цемент ПЦ-I 500 Н – 29 част.; Пісок кварцовий 0...1,5 мм – 68 част.; Вапно гашене – 2 част.; Ефір целюлози – 0,04 част.; Суперпластифікатор – 0,96 част.	73	85	102	21	33	46	
II	Зразок № II Цемент ПЦ-I 500 Н – 29 част.; Пісок кварцовий 0...1,5 мм – 68 част.; Вапно гашене – 2 част.; Ефір целюлози – 0,04 част.; Суперпластифікатор – 0,96 част.; Шлам – 5 % від маси цементу.	1	82	92	114	24	36	48
		2	90	102	121	26	40	59
		3	105	117	148	30	45	71
III	Зразок № III Цемент ПЦ-I 500 Н – 29 част.; Пісок кварцовий 0...1,5 мм – 68 част.; Вапно гашене – 2 част.; Ефір целюлози – 0,04 част.; Суперпластифікатор – 0,96 част.; Шлам – 10 % від маси цементу.	1	92	103	131	26	39	63
		2	99	120	146	29	47	75
		3	122	140	170	35	54	83
IV	Зразок № IV Цемент ПЦ-I 500 Н – 29 част.; Пісок кварцовий 0...1,5 мм – 68 част.; Вапно гашене – 2 част.; Ефір целюлози – 0,04 част.; Суперпластифікатор – 0,96 част.; Шлам – 15 % від маси цементу.	1	99	115	149	28	45	73
		2	107	133	165	31	52	80
		3	135	161	189	39	61	89
V	Зразок № V Цемент ПЦ-I 500 Н – 29 част.; Пісок кварцовий 0...1,5 мм – 68 част.; Вапно гашене – 2 част.; Ефір целюлози – 0,04 част.; Суперпластифікатор – 0,96 част.; Шлам – 20 % від маси цементу.	1	100	117	152	30	48	76
		2	109	138	170	34	55	83
		3	137	166	197	38	63	92

Шлам від мокрого газоочищення вступає в реакцію з гідроксидом кальцію, що утворюється в процесі гідратації цементу, таким чином підвищується кількість гідратованих силікатів типу CSH:



Фаза CSH характеризується меншим відношенням C/S (до 1,4), ніж CSH в результаті гідратації цементу. Як наслідок, вона має здатність зв'язувати луки, що має істотне значення в зв'язку з застосуванням шламу від мокрого газоочищення для зменшення розширення, викликаного реакціями між лугами і заповнювачем.

**Наукова новизна та практична значимість**

Експериментально встановлена закономірність впливу строків зберігання шламу від мокрого газоочищення виробництва феросиліцію на властивості розчинів на основі сухих будівельних сумішей.

Проаналізовано вплив хімічної природи шламу від мокрого газоочищення виробництва феросиліцію на процеси гідратації і міцність цементного каменю. Введення шламу призводить до підвищення ступеня гідратації клінкерних мінералів, збільшення кількості гідратованих силікатів типу CSH, прискорення процесу перетворення еtringіту в моносульфат, а також утворення гідрогранату.

### Висновки

Проведені дослідження показують, що використання в якості мікронаповнювача шламу від мокрого газоочищення виробництва феросиліцію значним чином впливає на властивості сухої суміші, збільшуючи міцність на стиск і вигин. Доцільним є застосування шламу віком понад 25 років у кількості 15 % від маси цементу, оскільки саме в цьому випадку досягається максимальне співвідношення між найкращими характеристиками міцності і економічним використанням матеріальних ресурсів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Kumbhar, S., Gupta, A., & Desai, D. (2013). Recycling and reuse of construction and demolition waste for sustainable development. *OIDA International Journal of Sustainable Development*, 6(7), 83-92.
- Puskás, A., Corbu, O., Szilágyi, H., & Moga, L. M. (2014). Construction waste disposal practices: The recycling and recovery of waste. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 191, 1313-1321.
- Yang Hua-Quan, & Zhou Shi-Hua (2009). Research on the Volume Stability of Ternary Cementitious Systems Incorporating Fly Ash and Slag Powder. *Key Engineering Materials*, 405-406, 256-261.
- Yanzhou Peng, Shuguang Hu, & Qingjun Ding (2009). Dense Packing properties of mineral admixtures in cementitious material. *Particuology*, 7(5), 399-402.
- Аббасова, А. Р., Савицкий, Н. В., & Павленко, Т. М. (2014). Рациональное использование золошлаковых смесей, зол и шлаков ТЭС в технологии бетонов. *Бетон и железобетон*, 3, 28-31.
- Арутюнян, А. І., & Шуваєв, А. А. (2020). Екологічно-економічна доцільність комплексного управління потоками відходів в будівельній галузі. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 18, 10-17.
- Балабанська, І. І. (2011). Клеючі розчини на основі сухих золовмісних будівельних сумішей з добавками органо-мінеральних модифікаторів (Автореферат кандидатської дисертації), Вінниця.
- Бондарь, А. В., Ковальский, В. П., Очеретный, В. П., Мороз, Д. В., & Вознюк, И. М. (2019). Влияние механической активации минеральных составляющих на свойства облегченных составов цементных сухих смесей для полов. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 74, 82-96.
- Герасимов, А. В. (2002). Строительные смеси на основе продуктов утилизируемого керамзитобетона (Автореферат кандидатской диссертации), Томск.
- Даминова, А. М. (2009). Управление структурой и морозостойкостью растворов из сухих монтажных смесей с гранулированной воздухововлекающей добавкой (Автореферат кандидатской диссертации), Томск.
- Кашибадзе, Н. В. (2009). Сухие строительные смеси с использованием сталеплавильных шлаков (Автореферат кандидатской диссертации), Белгород.
- Макаревич, М. С. (2009). Сухие строительные смеси для штукатурных работ с тонкодисперсными минеральными добавками (Автореферат кандидатской диссертации), Томск.
- Нетеса, Н. И. (2015). Проблемы утилизации вторичных ресурсов. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 8, 48-56.
- Риженко, І. М. (2009). Ефективні цементно-золині сухі будівельні суміші для мурувальних розчинів (Автореферат кандидатської дисертації), Вінниця.

A. M. PETROV<sup>1</sup>, S. YU. SHEPTUN<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Reliability and Strength of Machines and Structures, State Biotechnological University Alchevskys Street, Kharkiv, Ukraine, 61002, tel. +38 (067) 981 58 43, e-mail petrovbmg@btu.kharkov.ua, ORCID 0000-0001-6644-223X

<sup>2\*</sup> Department of Reliability and Strength of Machines and Structures, State Biotechnological University Alchevskys Street, Kharkiv, Ukraine, 61002, tel. +38 (098) 480 66 52, e-mail zooms@btu.kharkov.ua, ORCID 0000-0002-1981-4560

## INFLUENCE OF STORAGE TIMES OF SLUDGE FROM THE FERROALLOY INDUSTRY ON THE PROPERTIES OF CEMENT-BASED MIXTURES

**Purpose.** The transition to environmentally friendly, waste-free technologies is a priority for most countries in the world. The metallurgical and construction industries make a significant contribution to the formation of large volumes of man-made waste. During the production of ferroalloys, waste is generated in the form of sludge, which is stored in sludge collectors. Sludge storage has been going on for over 25 years. In order to study the effect of the duration of storage of sludge on its properties in the compositions of dry building mixtures on a cement basis, a

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

comparison was made of the efficiency of using sludge with different storage periods. The influence of sludge of various storage periods on the strength of dry construction is estimated. **Methodology.** The studies were carried out in accordance with the standard methods for determining the physical and mechanical properties of solutions from dry mixtures for the installation of self-leveling floors, specified in DSTU B V. 2.7-126: 2011 "Sludge awesome dry modified. General technical minds". Sludge from wet gas cleaning of ferrosilicon production is stored in dumps where it is a mixture of lumps of various fractions 5...50 mm in size. To use sludge in the composition of dry building mixtures, it must be dried and crushed on a roller crusher and on a disintegrator. **Findings.** The best ratio of the "age" of the sludge and its percentage in the composition of the mixture was determined to increase the strength characteristics of the cement stone. **Originality.** The influence of the chemical nature of sludge from wet gas purifiers of ferrosilicon production on the hydration processes and strength of cement stone is analyzed. **Practical value.** The use of man-made waste in the formulations of dry building mixtures helps to simultaneously reduce the harmful effect on the environment of industrial enterprises and increase the mechanical and economic characteristics of cement mortars based on dry mixtures.

*Keywords:* dry mortar; sludge; microfiller; waste production; recycling

## REFERENCES

- Kumbhar, S., Gupta, A., & Desai, D. (2013). Recycling and reuse of construction and demolition waste for sustainable development. *OIDA International Journal of Sustainable Development*, 6(7), 83-92. (in English)
- Puskás, A., Corbu, O., Szilágyi, H., & Moga, L. M. (2014). Construction waste disposal practices: The recycling and recovery of waste. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 191, 1313-1321. (in English)
- Yang Hua-Quan, & Zhou Shi-Hua (2009). Research on the Volume Stability of Ternary Cementitious Systems Incorporating Fly Ash and Slag Powder. *Key Engineering Materials*, 405-406, 256-261. (in English)
- Yanzhou Peng, Shuguang Hu, & Qingjun Ding (2009). Dense Packing properties of mineral admixtures in cementitious material. *Particuology*, 7(5), 399-402. (in English)
- Abbasova, A. R., Savitskiy, N. V., & Pavlenko, T. M. (2014). Ratsionalnoe ispolzovanie zoloshlakovykh smesey, zol i shlakov TES v tekhnologii betonov. *Beton i zhelezobeton*, 3, 28-31. (in Russian)
- Arutiunian, A. I., & Shuvaiev, A. A. (2020). Ekolohichno-ekonomichna dotsilnist kompleksnogo upravlinnia potokamy vidkhodiv v budivelnii haluzi. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 18, 10-17. (in Ukrainian)
- Balabanska, I. I. (2011). Kleiuchi rozchyniv na osnovi sukhykh zolovmisnykh budivelnnykh sumishei z dobavkamy orhano-mineralnykh modyfikatoriv (Avtoreferat kandydatskoi dysertatsii), Vinnytsia. (in Ukrainian)
- Bondar, A. V., Kovalskiy, V. P., Ocheretnyy, V. P., Moroz, D. V., & Voznyuk, I. M. (2019). Vliyanie mekhanicheskoy aktivatsii mineralnykh sostavlyayushchikh na svoystva oblegchennykh sostavov tsementnykh sukhykh smesey dlya polov. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, 74, 82-96. (in Russian)
- Gerasimov, A. V. (2002). Stroitelnye smesi na osnove produktov utiliziruemogo keramzitobetonu (Avtoreferat kandidatskoy dissertatsii), Tomsk. (in Russian)
- Daminova, A. M. (2009). Upravlenie strukturoy i morozostoykostyu rastvorov iz sukhykh montazhnykh smesey s granulirovannoy vozdukhovovlekayushchey dobavkoy (Avtoreferat kandidatskoy dissertatsii), Tomsk. (in Russian)
- Kashibadze, N. V. (2009). Sukhie stroitelnye smesi s ispolzovaniem staleplavilnykh shlakov (Avtoreferat kandidatskoy dissertatsii), Belgorod. (in Russian)
- Makarevich, M. S. (2009). Sukhie stroitelnye smesi dlya shtukaturnykh rabot s tonkodispersnyimi mineralnymi dobavkami (Avtoreferat kandidatskoy dissertatsii), Tomsk. (in Russian)
- Netesa, N. I. (2015). Problemy utilizatsii vtorichnykh resursov. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 8, 48-56. (in Russian)
- Ryzhenko, I. M. (2009). Efektyvni tsementno-zolni sukhi budivelni sumishi dlia muruvalnykh rozchyniv (Avtoreferat kandidatskoi dysertatsii), Vinnytsia. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 12.10.2021.

Прийнята до друку 10.11.2021.