

УДК 624.138.232:691.54

Михайловська О. В.,

etikhaylovskaya27@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7451-3210,

к.т.н., старший науковий співробітник, доцент кафедри буріння та геології, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава

Усанов М. О.,

mikhailusanov99lvl@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-4090-1012,

студент, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава

ВПЛИВ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБАВОК ТЕХНОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ НА МІЦНІСНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТОВИХ ОСНОВ І ФУНДАМЕНТІВ З ҐРУНТОЦЕМЕНТУ

Анотація. Проаналізовано відомі технологічні рішення щодо збільшення міцності ґрунтоцементу. Встановлено, що зола-виносення є одним із найбільш досліджених техногенних продуктів. Техніко-економічні розрахунки показують, що використання золошлакових відходів теплоелектро станцій у виробництві бетонних і залізобетонних виробів дозволяє скоротити витрату цементу з метою підвищення міцності ґрунтоцементу пропонується додавати добавки золи виносу в кількості 5 мас.% від маси цементу при виготовленні ґрунтоцементу. Встановлено, що додавання золи виносу у кількості 5 % від маси цементу здатне покращити міцність зразків після 28 діб.

Додавання залишкового осаду каналізаційних очисних споруд до складу ґрунтоцементу є сучасним методом комплексної утилізації промислових відходів, що дозволяє одночасно вирішувати екологічні та інженерні завдання. У такій системі осад виконує роль органо-мінерального мікронаповнювача, який завдяки своїй дрібнодисперсній структурі заповнює пори між частинками ґрунту, підвищуючи щільність та водонепроникність готового матеріалу. Ключовим чинником, що обмежує використання сирового осаду є високий вміст органічних речовин, який перешкоджає нормальній гідратації цементу. Тому спостерігаємо зниження міцності ґрунтоцементу при додаванні 10 % висушеного залишкового осаду каналізаційних очисних споруд. Однак при додаванні до ґрунтоцементу залишкового осаду у кількості 5 % значення міцності значно не змінились.

Визначено, що якщо додати до ґрунтоцементу добавку висушеного осаду у кількості 5 % це значно не вплине на його міцність. Встановлено, що міцність ґрунтоцементу з додаванням 5 % осаду каналізаційних очисних споруд чи золи виносу буде зростати з часом, як і у ґрунтоцементу без додавання добавок. Проте темпи цього зростання та фінальні показники будуть відрізнятися.

Ключові слова: несуча здатність, ґрунтоцемент, паля, осад, ґрунтові умови, міцність.

Mykhailovska O. V.,

etikhaylovskaya27@gmail.com, ORCID ID:0000-0001-7451-3210,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Drilling and Geology, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava

Usanov M. O.,

mikhailusanov99lvl@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-4090-1012,

Student, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava

INFLUENCE OF MINERAL ADDITIVES OF TECHNOGENIC ORIGIN ON THE STRENGTH PROPERTIES OF SOIL BASES AND SOIL-CEMENT FOUNDATIONS

Abstract. It was analyzed technological solutions for increasing the strength of soil cement. It was determined that fly ash is one of the most studied technogenic products. Feasibility studies show that the

use of ash and slag waste from thermal power plants in the production of concrete and reinforced concrete products allows reducing cement consumption. In order to increase the strength of soil cement, it is proposed to add fly ash additives in the amount of 5 wt.% of the mass of cement in the manufacture of soil cement. It was determined that the addition of fly ash in the amount of 5 % of the mass of cement can improve the strength of samples after 28 days by 16.9 %. Adding residual sludge from sewage treatment plants to the soil cement composition is a modern method of comprehensive utilization of industrial waste. This allows solving environmental and engineering problems simultaneously. In such a system, sediment acts as an organo-mineral microfiller. Due to its finely dispersed structure, it fills the pores between soil particles and increases the density and water resistance of the finished material. The key factor limiting the use of raw sediment is the high content of organic substances, which prevents normal hydration of cement. Therefore, we observe a decrease in the strength of soil cement when adding 10 % of dried residual sludge from sewage treatment plants. However, when adding 5 % of residual sludge to soil cement, the strength values did not change significantly. It was determined that adding 5 % of dried sludge to soil cement will not significantly affect the strength of soil cement. It was found that the strength of soil cement with the addition of 5 % of sewage treatment plant sludge or fly ash will increase over time, as in soil cement without the addition of additives. However, the pace of this growth and the final figures will vary.

Key words: bearing capacity, soil cement, pile, sediment, soil conditions, strength.

JEL Classification: Q24; C91; C92

DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-1221-2026-45-03>

Постановка проблеми. Сучасний стан наукових досліджень у галузі дорожнього та промислового будівництва свідчить про активний пошук методів модифікації ґрунтоцементу для покращення його фізико-механічних показників та зниження енергоємності виробництва. Аналіз наукової літератури дозволяє класифікувати добавки до ґрунтоцементу як: хімічні модифікатори, мінеральні наповнювачі (мікронаповнювачі) та армувальні компоненти. Актуальним є використання мінеральних та техногенних добавок у складі ґрунтоцементу з метою покращення екологічного стану регіону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Активне вивчення технологій відновлення ресурсів, зокрема шляхом часткового заміщення цементу та піску промисловими відходами, бере свій початок ще з 70-80-х років минулого століття [1]. Особлива увага в науковій літературі приділяється інтеграції золи-винесення ТЕС у склад бетонів [2-3]. Доведено, що завдяки пуцолановим властивостям ці добавки взаємодіють із гідроксидом кальцію, утворюючи вторинні гідросилікати. Такий процес сприяє ущільненню структури матеріалу та посилює його стійкість до зовнішніх агресивних чинників [4]. Згідно з висновками Л. Й. Дворкіна (2021), використання мінеральних і техногенних модифікаторів у ґрунтоцементі дозволяє не лише оптимізувати мікроструктуру, а й суттєво зменшити частку клінкеру в суміші [5].

Зола-винесення наразі належить до категорії найґрунтовніше вивчених промислових відходів. Аналіз техніко-економічних показників свідчить,

що впровадження золошлаків ТЕС у технологію виготовлення бетонних конструкцій забезпечує економію цементу в межах 10 % та суттєво оптимізує фізико-механічні параметри ґрунтоцементу [6]. Екологічний та логістичний ефект від утилізації таких відходів полягає у мінімізації витрат на утримання відвалів та запобіганні забрудненню довкілля.

Дослідження процесів гідратації портландцементу з додаванням 40 % золи-виносу підтвердили доцільність радикального зменшення частки клінкерного складника в бетонах [3]. Зокрема, В. П. Ковальський (2014) обґрунтовує ефективність використання близько 20 % тонкодисперсної золи у будівельних розчинах як альтернативи високим маркам портландцементу. У такій рецептурі зола виконує функцію мінерального мікронаповнювача, що не лише заощаджує в'язуче, а й покращує пластичні характеристики сумішей [3, 7].

Дослідники вказують на доцільність використання осадів стічних вод як органо-техногенного компонента при створенні ґрунтоцементних сумішей. Такий підхід вважається перспективною стратегією у сфері «зеленого» будівництва. Згідно з працями Yusuf et al. (2012), інтеграція цих відходів у ґрунтові системи не лише вирішує проблему утилізації продуктів очисних споруд, а й сприяє покращенню експлуатаційних характеристик матеріалів [4].

За своєю структурою залишковий осад є складним поліфазним субстратом, де близько

60 % припадає на кристалічні мінерали, а 40 % становить склоподібна фаза. Wang et al. (2005) експериментально підтвердили, що поєднання зольного осаду стічних вод з алюмінієвим порошком як газоутворювачем дозволяє синтезувати легкі теплоізоляційні матеріали. Завдяки значному вмісту кальцію та розвиненій пористості, зольний осад січних вод ефективно виконує роль пороутворювача [8].

Водночас Lin (2005) застерігає, що клінкер на основі зольного осаду стічних вод може характеризуватися підвищеною концентрацією важких металів, зокрема Pb, Zn, Cd, Ni, Cr та Cu [9]. Це зумовлює необхідність суворого моніторингу хімічного складу при використанні таких добавок. Таким чином, оптимізація міцності будівельних матеріалів та економія в'язучого за одночасного зниження антропогенного навантаження на довкілля через утилізацію відходів залишається пріоритетним науковим завданням.

Постановка завдання. Метою дослідження є аналіз впливу мінеральних добавок техногенного та ограно-техногенного походження на міцність ґрунтоцементу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під ґрунтоцементом розуміють штучний монолітний конгломерат, який виникає внаслідок твердіння збалансованого складу з ґрунтової основи, гідравлічного в'язучого та води [10–15]. З наукової точки зору формування каркаса цього матеріалу є складним гетерогенним процесом. Він базується на синергії гідратації клінкерних мінералів цементу та іонообмінних явищ, що відбуваються на поверхні глинистих частинок. Найкращі результати при цементації демонструють ґрунти з високим вмістом піщаних фракцій, оскільки вони формують жорсткий структурний скелет. При цьому критично важливою є мінімальна кількість органічних речовин, які здатні сповільнювати (інгібувати) реакції гідратації [11].

Дослідження механічних характеристик ґрунтоцементних композитів проводилося із залученням золи-винесення Миколаївської ТЕЦ [12]. На підготовчому етапі техногенна сировина піддавалася механічному очищенню: для видалення сторонніх включень її просівали крізь сито з чарунками 2 мм. Середній показник вологості підготовленої золи становив 0,6 %, а вміст склоподібної фази (фракцією до 2 мм) складав приблизно 15 %.

За своїм агрегатним станом сирий осад каналізаційних очисних споруд (КОС) класифікується

як переважно мулиста субстанція, що містить вкраплення піщаних фракцій. Натомість зола-винесення, яка утворюється в процесі спалювання вугілля на ТЕС, виступає як еталонний пуцолановий компонент.

Завдяки високій концентрації активних оксидів – діоксиду кремнію (SiO_2) та оксиду алюмінію (Al_2O_3) – зола вступає у хімічну взаємодію з гідроксидом кальцію, що вивільняється під час гідратації цементу. Результатом цієї реакції є синтез додаткових сполук, які в довгостроковій перспективі суттєво зміцнюють структуру бетону чи ґрунтоцементу та подовжують термін їх експлуатації.

Осад КОС (рис. 1), зі свого боку, належить до категорії органо-мінеральних модифікаторів. Його специфіка полягає в тому, що мінеральний склад представлений переважно дрібними частинками глини, піску та солей, тоді як органічна складова (гумусоподібні сполуки) виконує роль пластифікуючого або гідрофобізуючого агента.



Рис. 1. Загальний вигляд сирого осаду каналізаційних очисних споруд

Інтеграція залишкових осадів каналізаційних очисних споруд (КОС) у склад ґрунтоцементних сумішей виступає прогресивною стратегією рециклінгу промислових відходів. Такий підхід забезпечує синергію між вирішенням екологічних проблем та досягненням інженерних цілей. У структурі композиту осад функціонує як органо-мінеральний мікронаповнювач. Завдяки високій дисперсності його частинки ефективно заповнюють порову структуру ґрунту, що веде до зростання показників щільності та гідрофобності матеріалу.

Твердіння, зміцнення системи визначається гідратацією цементу, при якій активні компоненти осаду інтегруються у процес розбудови кристалічного каркаса гідросилікатів кальцію.

Проте позитивний вплив добавки лімітується концентрацією органічних сполук. Високий вміст органіки в осаді КОС провокує інгібуючий ефект, що гальмує швидкість тужавіння цементного каменю та негативно позначається на міцності матеріалу при стисканні. З огляду на це, раціональне дозування осаду зазвичай обмежується діапазоном 5–15 % від загальної маси.

В межах роботи було проведено експериментальне порівняння динаміки міцності при використанні золи-виношення Миколаївської ТЕЦ та сирого осаду очисних споруд м. Кропивницький. Технологічний процес виготовлення лабораторних зразків було адаптовано до реальних умов виробництва [2]. На початковому етапі готувалася в'язуча суспензія (так зване «цементне молоко»). Рецепт передбачала масову частку цементу на рівні 20 % від ваги сухого ґрунту, при цьому водоцементне відношення (В/Ц) становило 2,0.

На наступному етапі до отриманого розчину вводили активну добавку у вигляді золи-виношення (5 % від маси цементу) або залишкового осаду (5 % та 10 % від маси цементу) та проводили ретельне перемішування до гомогенного стану суміші.

На завершальній стадії до модифікованої суміші додавали лесовий суглинок із природною вологістю 14 %, після чого компоненти інтенсивно перемішували протягом щонайменше 5 хвилин до досягнення стану повної однорідності.

Після перемішування ґрунтоцементна суміш укладалася у циліндричні форми діаметром 2,8 см і висотою 3,5–4 см (рис. 2). До проведення випробування зразки зберігались зануреними у воду протягом 28, 90 діб з метою набору міцності.

Випробування проводились згідно з ДСТУ Б В.2.7-214:2009 як для бетонів з урахуванням ДСТУ Б В.2.1-4-96. Експеримент проводили з 6–10 зразками. Результати експерименту наведені у таблиці 1. В таблиці 1 представлені середні значення міцності на стиск.



Рис. 2. Загальний вигляд руйнування зразка ґрунтоцементу із додаванням 5 % висушеного осаду каналізаційних очисних споруд

Встановлено, що використання залишкового осаду каналізаційних очисних споруд як добавки до ґрунтоцементу перетворює його з відходу на орґано-мінеральний наповнювач. При дозуванні до 10 % від маси в'язучого, осад сприяє ущільненню структури матеріалу, заповнюючи мікропорожнечі, що позитивно впливає на водоцементне відношення.

Встановлено, що межа міцності на стиск зразків ґрунтоцементу із додаванням частки залишкового осаду 5 % і 10 % від маси цементу становить 2,85 МПа та 2,21 МПа. Відомо, що межа міцності на стиск зразків ґрунтоцементу без додавання добавок – 2,78 МПа.

Встановлено, що додавання золи виносу у кількості 5 % від маси цементу здатне покращити міцність зразків після 28 діб на 16,9 %

За результатами експерименту додавання сирого осаду у кількості 10 % у віці 28 діб знижує середню міцність зразків на стиск за рахунок наявності у залишковому осаді значної кількості органічних речовин. Якщо додати до ґрунтоцементу добавку у кількості 5 % це значно не вплине на міцність ґрунтоцементу. При цьому можна відмітити зростання міцності на величину близько 2 %.

Таблиця 1

Характеристики міцності на стиск ґрунтоцементних зразків з додаванням золи виносу (у віці 28–90 діб) при коефіцієнті варіації, v

Середня міцність на стиск, МПа	Без добавки	З додаванням		
		Висушений залишковий осад 10 %	Висушений залишковий осад 5 %	Золи виносу 5 %
R_{28}/v	2,78/0,30	2,21/0,13	2,85/0,29	3,25/0,18
R_{90}/v	3,06/0,28	2,32/0,20	2,98/0,24	3,65/0,21

За результатами досліджень встановлено, що зі збільшенням терміну витримки зразків у воді до 90 діб зростає середня міцність на стиск зразків ґрунтоцементу без добавки та з додаванням відповідного відсотку золи виносу.

Зразки з додаванням висушеного залишкового осаду каналізаційних очисних споруд також набирають міцність при витримці їх у воді.

Спостерігаємо зростання міцності на 4,5–4,98 % після 90 діб перебування в замоченому стані в порівнянні зі зразками витриманими 28 діб. При набірці міцності зразками з осадом критично важливо, щоб матеріал не пересихав у перші 14 днів. Органічні речовини в осаді при пересиханні можуть стискатися, створюючи мікротріщини, які з часом лише розширюватимуться. Відбувається основна фаза гідратації цементу. У сумішах з осадом етап набору міцності дещо сповільнений. У термін з 7 до 28 діб при твердінні ґрунтоцементних зразків органічні речовини (гумінові кислоти), що містяться в залишковому осаді, діють як інгібітори. При цьому сповільнюється момент утворення кристалічної решітки.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі.

Ключовим чинником, що обмежує використання сирого осаду є високий вміст органічних речовин, який перешкоджає нормальній гідратації цементу. Тому спостерігаємо зниження міцності ґрунтоцементу при додаванні 10 % висушеного залишкового осаду КОС. Однак при додаванні до ґрунтоцементу залишкового осаду у кількості 5 % значення міцності значно не змінилися.

Слід відмітити зростання міцності ґрунтоцементу з вмістом добавок. Так, міцність ґрунтоцементу з додаванням 5 % осаду каналізаційних очисних споруд чи золи виносу буде зростати з часом, як і у ґрунтоцементу без додавання добавок. Проте темпи цього зростання та фінальні показники будуть відрізнятися.

Додавання осаду до ґрунтоцементу існуюча технологія для створення нижніх шарів доріг, дамб або рекультивації сміттєзвалищ. Головне завдання при цьому знайти баланс між екологічною користю та механічною стійкістю конструкції.

Слід відзначити, що необхідно дослідити міцнісні характеристики зразків ґрунтоцементу з комбінуванням додавання осаду КОС та активних мінеральних добавок, таких як зола виносу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Yusuf R. O., Noor Z. Z., Din M. F. M. and Abba A. H. Use of sewage sludge ash (SSA) in the production of cement and concrete *Int. J. Global Environmental*, 2012. Issues 12 (2/3/4). P. 214–228.

2. Phummiphan I., Horpibulsuk S., Sukmak P., Chinkulkijniwat A., Arulrajah A., & Shen S. L. Stabilisation of marginal lateritic soil using high calcium fly ash-based geopolymer. *Road Materials and Pavement Design*. 2016. № 17 (4). P. 877–891. <https://doi.org/10.1080/14680629.2015.1132632>

3. Ковальський В. П., Сідлак О. С. Використання золи-виносу ТЕС в будівельних матеріалах. *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*. 2014. 16 (1). С. 35–40.

4. Дворкін Л. Й. Ефективні золівмісні цементи, бетони та розчини.: монографія. Рівне. 2022. 419 с.

5. Dvorkin L., Zhitkovsk V., Lushnikova N., & Ribakov Y. Metakaolin and Fly Ash as Mineral Admixtures for Concrete (1st ed.). CRC Press. 2021. 240 p. <https://doi.org/10.1201/9781003096825>

6. Mykhailovska O. V., & Zotsenko M. L. Drilling Waste Disposal Technology Using Soil Cement Screens. *Key Engineering Materials*. 2022. № 925. P. 211–220. <https://doi.org/10.4028/p-mk6s47>

7. Блащук Н. В., Маєвська І. В., Гончарук М. С. Використання золи виносу у складі ґрунтоцементу. *Науково-технічний журнал «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*. 2020. Том 29. Вип. 2. С. 51–65. DOI 10.31649/2311-1429-2020-2-51-65

8. Wang K-S., Chion I-J., Chen C-H. and Wang D. Lightweight properties and porestructure of foamed material made from sewage sludge ash. *Constr. Build. Mater*. 2005. № 19 (8). P. 627–633.

9. Lin K-L. and Lin C-Y. Hydration characteristics of waste sludge ash utilized as rawcement material. *Cem. Concr. Res*. 2005. № 35 (10). P. 1999–2007.

10. Bida S. V., Petrash O. V., Petrash R. V. Reinforcement Efficiency of Soil-Cement Elements Manufactured by Deep Soil Mixing Technology. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*. 2025. Issue 12 (43). Part I. P. 350–357. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).1.350-357](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.350-357)

11. Зоценко М. Л., Винников Ю. Л., Зоценко В. М. Бурові ґрунтоцементні палі, які виготовляються за бурозмішувальним методом : монографія. Харків, 2016. 92 с.

12. Mykhailovska O. Technology of Manufacturing Hollow Soil-Cement Blocks. *Key Engineering Materials*. 2024. № 986. P. 119–127. Trans Tech Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4028/p-4vnn0p>

13. Киричек Ю. А., Комісаров Г. В. Конструкції з ґрунтоцементу для зведення фундаментів будівель і споруд. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 3. С. 42–50.

14. Губашова В. Є. Досвід виконання ґрунтоцементних елементів по технології струменевої цементації в шлаках доменного виробництва. *Науково-технічний журнал «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*. Вінниця. 2019. № 27 (2). С. 87–95.

15. Gubashova V. Experience of performance of the horizontal anti-filtration screen with the application of double fluid jet grouting. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*. Poland. 2020. № 1 (53). С. 28–34.

REFERENCES

1. Yusuf R. O., Noor Z. Z., Din M. F. M. and Abba A. H. Use of sewage sludge ash (SSA) in the production of cement and concrete *Int. J. Global Environmental*, 2012. Issues 12 (2/3/4). P. 214–228.

2. Phummiphan I., Horpibulsuk S., Sukmak P., Chinkulkijniwat A., Arulrajah A., & Shen S. L. Stabilisation of marginal lateritic soil using high calcium fly ash-based geopolymer. *Road Materials and Pavement Design*. 2016. № 17 (4). P. 877–891. <https://doi.org/10.1080/14680629.2015.1132632>

3. Kovalskiy V. P., Sidlak O. S. Use of TPP fly ash in building materials. *Modern technologies, materials and structures in construction*. 2014. 16 (1). P. 35–40 [in Ukrainian].

4. Dvorkin L. Yu. Effective ash-containing cements, concretes and mortars.: monograph. Rivne. 2022. 419 p. [in Ukrainian].

5. Dvorkin L., Zhitkovsk V., Lushnikova N., & Ribakov Y. Metakaolin and Fly Ash as Mineral Admixtures for Concrete (1st ed.). CRC Press. 2021. 240 p. <https://doi.org/10.1201/9781003096825>

6. Mykhailovska O. V., & Zotsenko M. L. Drilling Waste Disposal Technology Using Soil Cement Screens. *Key Engineering Materials*. 2022. № 925. P. 211–220. <https://doi.org/10.4028/p-mk6s47>

7. Blaschuk N. V., Mayevska I. V., Goncharuk M. S. Use of fly ash in the composition of soil cement.

Scientific and technical journal “Modern technologies, materials and structures in construction”. 2020. Issue 29. Issue 2. P. 51–65. DOI 10.31649/2311-1429-2020-2-51-65

8. Wang K-S., Chion I-J., Chen C-H. and Wang D. Lightweight properties and porestructure of foamed material made from sewage sludge ash. *Constr. Build. Mater*. 2005. № 19 (8). P. 627–633.

9. Lin K-L. and Lin C-Y. Hydration characteristics of waste sludge ash utilized as rawcement material. *Cem. Concr. Res*. 2005. № 35 (10). P. 1999–2007.

10. Bida S. V., Petrash O. V., Petrash R. V. Reinforcement Efficiency of Soil-Cement Elements Manufactured by Deep Soil Mixing Technology. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*. 2025. Issue 12 (43). Part I. P. 350–357. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).1.350-357](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.350-357)

11. Zotsenko N, Vynnykov Yu., Zotsenko V. Soil-cement piles by boring-mixing technology. Kharkiv. 2016. 92 p. [in Ukrainian].

12. Mykhailovska O. Technology of Manufacturing Hollow Soil-Cement Blocks. *Key Engineering Materials*. 2024. № 986. P. 119–127. Trans Tech Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4028/p-4vnn0p>

13. Kyrychek Y. A., Komissarov G. V. Soil-cement structures for the construction of foundations of buildings and structures. *Bulletin of the Pridneprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2019. № 3. P. 42–50. [in Ukrainian].

14. Gubashova V. E. Experience of carrying out of ground-cement elements on the jet grouting technology in slags of a blast-furnace process. *Scientific and technical journal “Modern technologies, materials and structures in construction”*. Vinnytsia. 2019. № 27 (2). P. 87–95. [in Ukrainian].

15. Gubashova V. Experience of performance of the horizontal anti-filtration screen with the application of double fluid jet grouting. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*. Poland. 2020. № 1 (53). P. 28–34.

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Дата першого надходження статті до видання: 19.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 17.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 08.05.2026