

## Застосування промислових відходів для виробництва будівельних матеріалів

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*У період економічної кризи підприємства будівельної галузі стикаються зі зниженням попиту, що зумовлює потребу в зниженні собівартості продукції. Дослідження рішення використання промислових відходів для виготовлення будівельних матеріалів, що дозволяє не лише економити ресурси, але й покращувати екологічну ситуацію. Застосування техногенних відходів, таких як зола-винос, для виробництва бетону допомагає знизити витрати на сировину, збільшити міцність матеріалів та забезпечити екологічність будівельних процесів.*

**Ключові слова:** відходи промисловості, зола-винос, екологічність, бетон.

### Abstract

*During the economic crisis, construction companies are facing a decline in demand, which necessitates a reduction in production costs. The study of the solution of using industrial waste for the production of building materials, which not only saves resources but also improves the environmental situation. The use of industrial waste, such as ash-removal, for concrete production helps to reduce raw material costs, increase the strength of materials, and ensure the environmental friendliness of construction processes.*

**Keywords:** industrial waste, ash-removal, environmental friendliness, concrete.

### Вступ

У період економічної кризи підприємства різних галузей прагнуть знизити собівартість своєї продукції. Це обумовлено тим, що попит знижується, і зростає частка споживання продукції нижчої цінової категорії. Особливо сильно криза вплинула на підприємства будівельної галузі: скорочення попиту на нерухомість призводить до зменшення фінансування будівельних проектів, що уповільнює темпи будівництва, а багато недобудованих об'єктів навіть доводиться заморожувати.

Один із способів знизити витрати в будівництві — це використання різних промислових відходів, як власних, так і залучених, для виробництва будівельних матеріалів або при спорудженні таких конструкцій, як фундаменти та інші конструктивні елементи. А також за своїм мінералогічним і хімічним складом багато промислових відходів не поступаються природній сировині. Деякі з них навіть стають незамінними компонентами у виробництві високоякісних будівельних матеріалів [1-3].

Переробка та використання цих відходів є вигідним рішенням як з економічної, так і з екологічної перспективи, оскільки це дозволяє звільнити великі площі земель від накопичених відходів, мінімізувати забруднення навколишнього середовища та зменшити витрати на утримання та формування відходів [4-6].

### Результати досліджень

Для сучасного будівництва важливим є створення ефективних будівельних матеріалів із залученням техногенних відходів, що дає можливість знижувати енерговитрати та підвищувати екологічність виробництва. Частка сировини в собівартості матеріалів сягає понад 50%, тому зменшення витрат досягається завдяки використанню відходів інших галузей, що не лише заощаджує природні ресурси, а й покращує екологічну ситуацію в місцях накопичення відходів.

У роботі [7-9] відмічається, що залучення промислових відходів може забезпечити до 40% потреб у сировині та знизити витрати на 10-30% порівняно з виробництвом на основі природної сировини. Водночас, за обсягами будівництва житла на одну особу, Україна значно відстає від сусідніх країн і розвинених держав. Для збільшення виробництва будівельних матеріалів та зменшення собівартості, актуальним є використання промислових відходів, що дозволить не тільки підвищити темпи

будівництва, а й забезпечити відповідність зростаючим вимогам до термічного опору будівельних конструкцій.

Будівельні відходи переважно складаються з таких матеріалів, як бетон і залізобетон, цегла, метал, ґрунт, пісок з домішками глини, сантехнічна кераміка, дерево, скло, гіпсокартон, пластмаса та асфальтобетон. За даними досліджень, бетон і залізобетон становлять 52% маси будівельних відходів, кам'яні стінові матеріали (цегла, блоки, піно- і газобетон) — 32%, відходи асфальту та будівельних розчинів — 8%, відходи металів — 4%, відходи дерева і пластмас — 2%, сантехнічна кераміка та плитка — 1%, а також гіпсокартон, скло та інші матеріали — 1% [10-12].

Найбільше промислових відходів накопичується на підприємствах гірничодобувної, металургійної та теплоенергетичної галузей, що створює значний тиск на екологічний баланс та є джерелом забруднення довкілля. Щорічно при спалюванні вугілля на теплових електростанціях України утворюється 7-9 млн тонн золи-виносу та шлаків. Основними компонентами золи-виносу є  $\text{SiO}_2$  та  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , які в основному містяться у склоподібній фазі, що робить їх інертними. Вміст  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  та  $\text{CaO}$  значно впливає на фізико-хімічні властивості золи-виносу [4].

У роботі [13-15] відмічається використання золи-виносу, як добавки для створення бетону. У складі бетонної суміші зола діє як активна мінеральна добавка, збільшуючи вміст в'язучих компонентів, а також як мікронаповнювач, що покращує гранулометричний склад піску та сприяє процесам структуроутворення бетону [16-19].

Основні показники, що визначають придатність золи для використання в бетоні, включають: вміст оксиду  $\text{CaO}$  — до 10% (вільного  $\text{CaO}$  не більше 5%), оксиду  $\text{MgO}$  — до 5%, сірчанних сполук у перерахунку на  $\text{SO}_3$  — від 3 до 6%, лужних оксидів — від 1,5 до 3%, втрати при прожарюванні — від 3 до 25%. Питома поверхня золи повинна становити не менше 1500–3000  $\text{cm}^2/\text{g}$ , а залишок на ситі №008 — 15–30%. Ці показники можуть варіювати залежно від типу золи та характеристик вихідного палива.

Гідравлічна активність золи, як і інших пуцоланових речовин, значною мірою визначається хімічною взаємодією її алюмосилікатної частини з гідроксидом кальцію, який утворюється при гідролізі клінкерних мінералів, утворюючи при цьому гідросилікати і гідроалюмінати кальцію. Ступінь гідратації золи зростає з підвищенням вмісту склоподібної фази, оскільки кристалічна фаза практично неактивна. Хімічна активність золи також залежить від її дисперсності: за сучасними дослідженнями, міцність бетону із зольними добавками пов'язана з товщиною поверхневого шару зольних частинок, що беруть участь у хімічних реакціях. Здатність дрібнодисперсних частинок золи служити основою для кристалізації новоутворень додатково стимулює процес твердіння цементу, що позитивно впливає на формування структури бетону. Міцність бетону із зольними добавками залежить від властивостей і дисперсності золи, кількості та хіміко-мінералогічного складу цементу, а також від умов обробки й віку бетону.

Тонкодисперсні кислі золи, хоча й не мають власних в'язучих властивостей, є одними з найефективніших активних добавок для бетонів. Їх активність виявляється під час гідратації та взаємодії з гідратованими продуктами цементу. Найбільша економія цементу досягається при використанні сухої золи-винесення.

Для забезпечення якості виробів з бетону на основі золомістких сумішей важливо правильно визначити кількість золи в складі, оскільки це позитивно впливає на міцність і довговічність матеріалу. Оптимальним вмістом золи в бетоні є: для пропарених бетонів — близько 150  $\text{kg}/\text{m}^3$ , для бетонів нормального твердіння — 100  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Наприклад, додавання 150 кг золи-винесення на 1  $\text{m}^3$  важкого бетону класу В7,5...В30 дозволяє зекономити 40...80 кг цементу. Використання золи в бетонах, що твердіють за умов термічної обробки, дозволяє знизити витрати цементу до 20%.

Для забезпечення високої якості виробів з бетону, що містять золу, важливо точно визначити її кількість у складі, оскільки це має позитивний вплив на міцність і довговічність матеріалу. Оптимальний вміст золи в бетонних сумішах становить: для пропарених бетонів — близько 150  $\text{kg}/\text{m}^3$ , для бетонів нормального твердіння — 100  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

Підбір складу бетону з додаванням золи полягає в визначенні оптимального співвідношення компонентів, яке забезпечує необхідні властивості бетонної суміші та готового бетону при мінімальних витратах цементу. Зниження витрат цементу при додаванні золи-винесення є доцільним при використанні цементу вищої марки. Для цього була запропонована методика підбору складів бетону, що враховує коефіцієнт ефективності використання цементу при застосуванні золи теплових електростанцій ( $K_e$ ).

$$K_e = R_{ct} / C, \quad (1)$$

де  $R_{ct}$  – міцність бетону при стиску у заданому віці, МПа

$C$  – витрата цементу, кг/м<sup>3</sup>.

Для того, щоб одержати бетонів рівної міцності при обраному складі змішаного в'язучого витрати компонентів складають:

$$\text{цементу} - C = R_{ct} / K_e \quad (2)$$

$$\text{золи-винесення} - Z = (C \times m_3) / (100 - m_3), \quad (3)$$

де  $m_3$  – масова частка золи-винесення у змішаному в'язучому.

Таб. 1 – Переваги та недоліки використання золи-виносу.

Параметри	Переваги	Недоліки
Економічність	Знижує витрати на сировину за рахунок використання відходів, скорочує потребу у природних ресурсах.	Потребує витрат на збір, транспортування та підготовку золи для використання у будівельних матеріалах.
Фізико-хімічні властивості	Покращує деякі властивості будівельних матеріалів, зокрема підвищує термостійкість, покращує щільність та міцність кінцевого продукту, а також значний коефіцієнт корозійної стійкості для золонаповнених бетонів	Може змінювати показники міцності та морозостійкості матеріалу, потребує детальної оптимізації складу для досягнення необхідних характеристик. Зниження стійкості до стирання і кавітації.
Екологічний ефект	Зменшує обсяги накопичення промислових відходів та забруднення довкілля, знижує потребу у видобутку нових матеріалів.	Може містити важкі метали та токсичні речовини, що потребує додаткового очищення та перевірки відповідно до екологічних стандартів.
Довговічність	Покращує довговічність бетону та інших матеріалів завдяки інертності компонентів ( $SiO_2$ , $Al_2O_3$ ), що забезпечує стійкість до агресивних середовищ.	Зміни у складі золи різних виробників можуть вплинути на якість кінцевого продукту, що потребує додаткового контролю якості та стандартизації.
Енергозбереження	Зменшує витрати енергії на виготовлення матеріалів завдяки використанню готових інертних компонентів, таких як $SiO_2$ та $Al_2O_3$ .	Технологічні процеси обробки та підготовки золи до використання можуть потребувати додаткових енергоресурсів.

Із таблиці випливає, що використання золи як компоненту в будівельних матеріалах має значний потенціал для покращення економічних, екологічних та експлуатаційних показників. Зокрема:

Переваги економічності включають зниження витрат на сировину за рахунок повторного використання відходів, а також зменшення потреби у природних ресурсах. Водночас, є недоліки, пов'язані з витратами на збір, транспортування та підготовку золи. Зола покращує термостійкість, щільність, міцність і корозійну стійкість будівельних матеріалів. Однак можливі зміни у показниках морозостійкості та міцності матеріалів потребують оптимізації складу. Використання золи сприяє зменшенню накопичення відходів і знижує потребу у видобутку нових матеріалів.

Проте зола може містити токсичні речовини, які потребують додаткової перевірки відповідно до екологічних норм. Додавання золи забезпечує підвищену довговічність будівельних матеріалів завдяки їхній стійкості до агресивних середовищ. Однак, різноманітність складу золи вимагає контролю якості для забезпечення стабільності властивостей кінцевого продукту. Зола дозволяє знизити витрати енергії на виробництво завдяки наявності готових інертних компонентів. У той же час, процеси підготовки золи до використання можуть споживати додаткові енергоресурси. Таким чином, використання золи має значний потенціал, але потребує ретельного контролю технологічних процесів і врахування екологічних ризиків для забезпечення ефективності та безпеки.

### Висновки

У результаті дослідження використання промислових відходів у будівництві, зокрема золи-виносу, вдалося підтвердити їх ефективність як добавок у бетонні суміші. Використання золи дозволяє значно знизити витрати на сировину, зменшити викиди шкідливих речовин і зекономити природні ресурси. Правильний підбір складу бетонів із зольними добавками забезпечує високу міцність і довговічність будівельних матеріалів, а також зменшує витрати цементу. Визначення оптимальної кількості золи в складі бетону є критично важливим для досягнення високих технічних характеристик матеріалу. Запропонована методика підбору складів бетону з урахуванням коефіцієнта ефективності використання цементу при застосуванні золи є важливим кроком для досягнення економічності та екологічності будівельного виробництва.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Богінська Л.О. Використання відходів виробництв у будівництві: тези доп. всеукр. конф. Суми, 2021. С. 35-36.
2. Березюк, О. В., М. С. Лемешев, and В. П. Ковальський. "Будівельні вироби з механоактивованих промислових, побутових відходів." (2023).
3. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 616 p. (2021)
4. Коновалов С.В. Промислові відходи у будівництві. Режим доступу: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/26561/Konovarov.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
5. Березюк, О. В., М. С. Лемешев, and С. В. Королевська. "Математичне моделювання прогнозування обсягів продукування будівельних відходів в різних країнах світу." Вісник Вінницького політехнічного інституту 3 (2021): 41-46.
6. Друкований М.Ф., Очеретний В.П., Ковальський В.П., Чепурченко В.П. В'яжуче з відходів для дорожнього будівництва // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – С. 50-54.
7. Зола-винос як важливий сировинний ресурс для виробництва ніздрюватих бетонів / В. Р. Сердюк, Б. І. Августович // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. - 2013. - № 2. - С. 22-28. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Stmkb\\_2013\\_2\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Stmkb_2013_2_6)
8. Ocheretnyi, V. P., V. P. Kovalskiy, and Guo Mingjun. METHODS OF PREPARATION OF PHOSPHOGYPSE FOR THE MANUFACTURE OF BINDER. Diss. Інституту проблем природокористування та екології НАН України, 2021.
9. Lyubarsky, V. S., and V. P. Kovalskiy. The use of non-ferrous metallurgical waste in the manufacture of mineral binders. ВНТУ, 2022.
10. Попович О.Р., Захарко Я.М., Мальований М.С.:тези доп. конф. Львів, 2013. С. 321
11. Tymoshenko, V. O., and V. P. Kovalskiy. Prospects of using ash-alkaline concretes. ВНТУ, 2023.

12. Ковальський, В. П. Використання відходів промисловості для виробництва легких бетонів [Електронний ресурс] / В. П. Ковальський, І. М. Вознюк, Д. О. Войтюк // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 13-15 березня 2019 р. – Електрон. текст. дані. – 2019. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp2019/paper/view/7576>.
13. Дворкін Л.Й., Мироненко А.В. Будівельні матеріали та вироби із застосуванням промислових відходів: навч. посібник. Рівне, 2019. С.168-174
14. Лемешев, М. С. Легкі бетони отримані на основі відходів промисловості / М. С. Лемешев, О. В. Березюк // Сборник научных трудов SWorld. – Иваново: МАРКОВА АД, 2015. – No 1 (38). Т. 13. – С. 111-114.
15. Любарський, В. С., М. В. Ковальський, and В. П. Очеретний. *Використання техногенних відходів ТЕЦ у будівництві*. Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2024.
16. Ковальський В. П. Використання золи-виносу ТЕС у будівельних матеріалах / В. П. Ковальський, О. С. Сідлак // Вісник Сумського національного аграрного університету: Серія "Будівництво". – Випуск 10 (18), 2014. – С. 44-47.
17. Ковальський, В. П., В. О. Тимошенко, and М. В. Ковальський. Використання відходів теплових електростанцій. Національний університет «Львівська політехніка», Яро́ченко Яніна Володимирівна, 2024.
18. Khodetskyi O. Ash and slag waste utilization in construction / O. Khodetskyi, V. Kovalsky // Abstracts of XXXII International Scientific and Practical Conference «Science, modern trends and society», Bilbao, Spain, 2023. – Pp. 8-10.
19. Ковальський В. П. Комплексне золо-цементне в'язуче, модифіковане лужною алюмоферитною добавкою: Монографія. / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний. – ВНТУ, 2010. – 42с

**Удуденко Єлизавета Вікторівна** — студент групи БМ-23б, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [ududenkoliza07@gmail.com](mailto:ududenkoliza07@gmail.com)

**Зоря Павло Олегович** — аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email: [pavlo.zorja@gmail.com](mailto:pavlo.zorja@gmail.com)

**Ковальський Віктор Павлович** — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email: [kovalskiy@vntu.edu.ua](mailto:kovalskiy@vntu.edu.ua) ORCID 0000-0002-3103-6319.

**Ududenko Yelyzaveta V.** — student of BM-23b group, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia,

**Pavlo Zoria O.** — Postgraduate student of the Department of Civil Engineering, Urban Planning and Architecture, Vinnytsia National Technical University

**Kovalskiy Viktor P.** — PhD, Associate Professor, Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: [kovalskiy@vntu.edu.ua](mailto:kovalskiy@vntu.edu.ua) ORCID 0000-0002-3103-6319.