

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ І БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ У СКЛАДІ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто технологічні особливості використання відходів промисловості та будівельного лому у виробництві сухих будівельних сумішей. Проаналізовано процес переробки вторинних заповнювачів, включаючи дроблення, сортування, сушіння та механічну активацію, що наведено на технологічній схемі (рис. 1). Досліджено вплив золи-винесення та переробленого мінерального заповнювача на фізико-механічні характеристики композиційних сумішей. Показано, що введення 10–25 % золи та 20–40 % ресайклінг-заповнювача підвищує міцність на стиск на 12–18 %, знижує водопотребу на 8–12 % і покращує структуру цементної матриці, що підтверджено результатами графічних залежностей (рис. 2) та узагальненими даними (табл. 1–2). Отримані результати підтверджують технологічну та екологічну доцільність застосування вторинної сировини у виробництві сухих будівельних сумішей.

Ключові слова: сухі будівельні суміші, зола-винесення, вторинні заповнювачі, будівельний лом, механічна активація, технологія виробництва, міцність, водопотреба.

Abstracts

The paper considers the technological features of the use of industrial waste and construction scrap in the production of dry building mixtures. The process of processing secondary aggregates, including crushing, sorting, drying and mechanical activation, is analyzed, which is shown in the technological scheme (Fig. 1). The influence of fly ash and recycled mineral aggregate on the physical and mechanical characteristics of composite mixtures is studied. It is shown that the introduction of 10–25% fly ash and 20–40% recycled aggregate increases the compressive strength by 12–18%, reduces water consumption by 8–12% and improves the structure of the cement matrix, which is confirmed by the results of graphical dependencies (Fig. 2) and generalized data (Tables 1–2). The results obtained confirm the technological and environmental feasibility of using secondary raw materials in the production of dry building mixtures.

Key words: dry construction mixes, fly ash, secondary aggregates, construction scrap, mechanical activation, production technology, strength, water consumption.

Вступ

Сучасне будівництво потребує матеріалів із підвищеною технологічною та експлуатаційною ефективністю при одночасному зниженні вартості та екологічного навантаження. Значні обсяги промислових і будівельних відходів в Україні створюють актуальну потребу в розвитку технологій їх переробки та повторного використання. Особливий інтерес становлять зола-винесення, шлаки та ресайклінг-заповнювачі, які можуть частково або повністю замінювати природні компоненти сухих будівельних сумішей [1–4].

Проблематика полягає у визначенні оптимальних технологічних режимів підготовки вторинної сировини, забезпеченні стабільності показників сумішей та збереженні потрібних фізико-механічних властивостей [5–8]. Тому дослідження впливу вторинних матеріалів на технологічні процеси та структуроутворення сухих сумішей [9] є важливим для підвищення ефективності та екологічної безпеки сучасного будівництва.

Результати дослідження

Використання відходів промисловості та будівельного лому у складі сухих будівельних сумішей (СБС) є одним із ключових напрямів сучасного ресурсозберігаючого будівництва. Згідно з результатами досліджень [6–7] найбільш ефективними компонентами є зола-винесення ТЕС, доменні та металургійні шлаки, а також мінеральний пісок, отриманий шляхом ресайклінгу бетонного та цегляного бою [8].

Технологічний процес переробки вторинних заповнювачів є багатоступеневим і включає: дроблення на первинний та вторинний стадіях, сортування на фракції 0–2 та 2–5 мм, сушіння до

постійної маси при 105–110°C, механічну активацію та подальше змішування у турбоміксерах. Узагальнену технологічну схему наведено на рисунку 1.

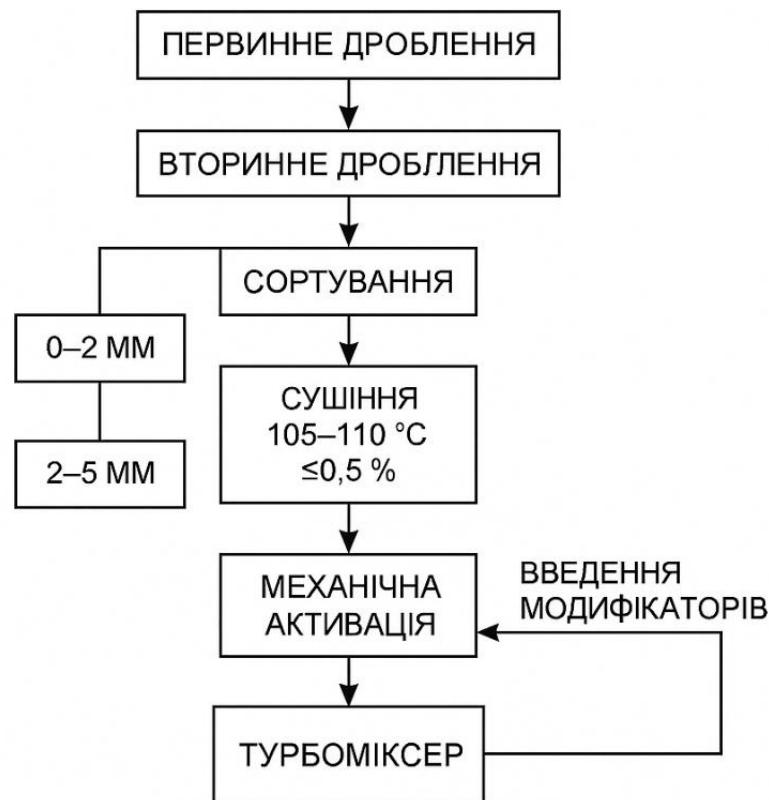


Рисунок 1 – Технологічна схема переробки вторинних мінеральних заповнювачів для використання в сухих будівельних сумішах

Попереднє фракціонування та активація вторинних компонентів дозволяє знизити водопотребу та підвищити реологічні властивості сумішей. Як показано в таблиці 1, введення ресайклінг-заповнювачів у кількості 20–40% та часткова заміна цементу золою (10–25%) забезпечують суттєве перерозподілення фракцій, що впливає на ущільнення структури цементного каменю [8].

Таблиця 1 – Компонентний склад сухих сумішей із вторинними матеріалами

Компонент	Базова суміш	Із ЗВ	Із РЦ-заповнювачем
Цемент, %	40	38	37
Зола-виносення, % (ЗВ)	–	20	10
Перероблений пісок, % (РЦ)	–	–	40
Природний пісок, %	58	40	12
Модифікатори, %	2	2	1

Ефективність модифікації підтверджується порівнянням фізико-механічних властивостей сумішей (табл. 2). Зокрема, міцність при стиску зростає на 12–18 %, що продемонстровано на побудованому графіку міцності (рис. 2), а водопотреба зменшується при введенні золи або переробленого піску (рис. 3).

Таблиця 2 – Технологічні властивості сумішей

Показник	Базова	Із ЗВ	Із РЦ-заповнювачем
Рухливість, мм	130	140	145
Водопотреба, %	100	92	88
Міцність при стиску, МПа	18.5	21.2	20.8
Усадка, мм/м	0.42	0.36	0.34

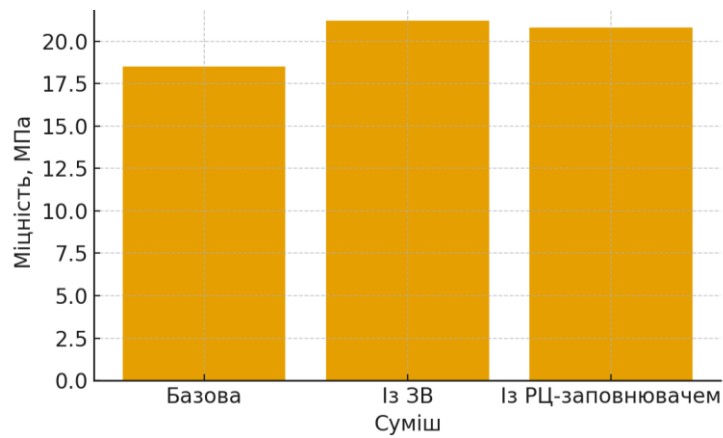


Рисунок 2 – Міцність сухих будівельних сумішей

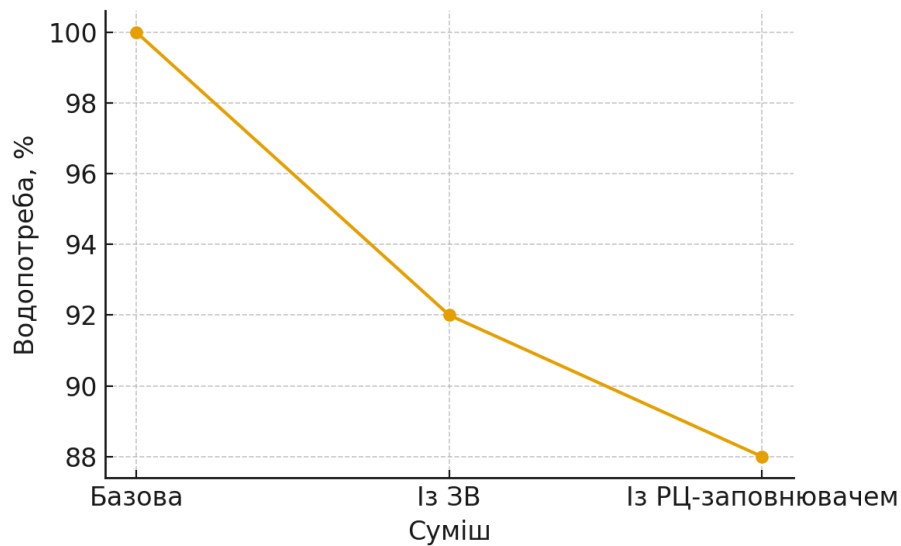


Рисунок 3 – Вплив вторинних компонентів на водопотребу сумішей

Мікроструктурні дослідження свідчать, що дрібні сферичні частинки золи виконують функцію центрів кристалізації та сприяють формуванню щільнішої матриці цементного каменю. Схематичну модель структури матриці наведено на рисунку 4.

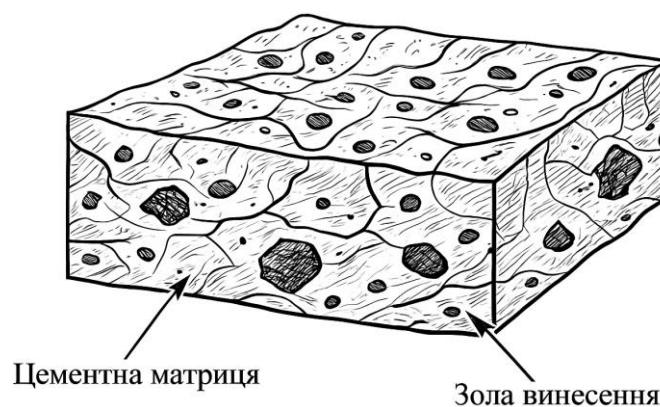


Рисунок 4 – Мікроструктура цементної матриці із частинками золи-виносення

Таким чином, результати досліджень підтверджують, що застосування відходів промисловості та будівельного лому як активних мінеральних добавок і заповнювачів забезпечує покращення технологічних і експлуатаційних характеристик сухих будівельних сумішей, а також сприяє зменшенню собівартості та екологічного навантаження на довкілля..

Висновки

1. Впровадження золи-винесення та ресайклінг-заповнювачів у склад сухих будівельних сумішей є технологічно обґрунтованим і сприяє підвищенню міцності та зменшенню водопотреби.
2. Попередня підготовка вторинних матеріалів за технологічною схемою (рис. 1) забезпечує однорідність і стабільність сумішей.
3. Результати, наведені у таблицях 1–2, підтверджують ефективність застосування 20–40 % переробленого матеріалу та 10–25 % золи.
4. Мікроструктурні дослідження (рис. 3) демонструють покращену щільність структури та рівномірність розподілу частинок.
5. Використання вторинної сировини зменшує екологічний вплив будівельної галузі та собівартість виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Л. Й. Дворкін, В. В. Житковський і В. В. Марчук, «Ефективні сухі будівельні суміші та розчини на їх основі: монографія», Київ: Каравела, 2024, 348 с.
2. Л. Й. Дворкін, К. К. Пушкарьова, О. Л. Дворкін і М. О. Кочевих, «Використання техногенних продуктів у будівництві: навчальний посібник», Рівне: НУВГП, 2009, 330 с.
3. Ю. Г. Гасан, М. А. Мохорт і М. В. Суханевич, «Будівельні матеріали з відходів паливно-енергетичної, гірничо-видобувної та збагачувальної промисловості: конспект лекцій», Київ: КНУБА, 2009, 60 с.
4. Л. Й. Дворкін і А. В. Мироненко, «Будівельні матеріали та вироби із застосуванням промислових відходів: навчальний посібник», Рівне: НУВГП, 2019, 298 с.
5. А. В. Бондар, В. П. Ковальський, В. П. Бурлаков, та Є. Р. Матвійчук, «Утилізація відходів промисловості шляхом виготовлення на їх основі сухих будівельних сумішей», *Екологічні науки: науково-практичний журнал*, № 3 (22), с. 21–24, 2018.
6. А. В. Бондар, О. В. Христич, О. В. Бондар, і І. В. Сафроненко, «Перспективи використання вторинних відходів будівельної галузі у виробництві сухих будівельних сумішей», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, № 36, 1, с. 64–70, 2024. DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-1-64-70>.
7. А. В. Бондар, Н. Ю. Іродова і О. В. Бондар, «Ефективність використання місцевих матеріалів та відходів промисловості для виготовлення сухих будівельних сумішей», LIV Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінниця, 24–27 березня 2025 р. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/24493/2024511>
8. О. В. Бондар, і О.В. Христич, «Заповнювачі для сухих будівельних сумішей з продуктів ресайклінгу будівельного лому», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, №38 (1), с. 45–50, 2025. DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2025-1-45-50>
9. ДСТУ Б В.2.7-126:2011. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови. Чинний від 2011-06-01. Вид. офіц. К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. 42 с.

Бондар Олександр Васильович – аспірант, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: alexbondar.phdoc@gmail.com

Науковий керівник: Христич Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: khristych@vntu.edu.ua

Bondar Oleksandr – postgraduate student, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: alexbondar.phdoc@gmail.com

Scientific advisor: Khristych Oleksandr – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: khristych@vntu.edu.ua