

**Олійник О.В., здобувач освітньо-наукового ступеня «доктор філософії»,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ГРАНІТНИЙ ШЛАМ ЯК КАТАЛІЗАТОР НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО СПІКАННЯ КЕРАМІЧНИХ КОМПОЗИЦІЙ НА ОСНОВІ КАОЛІНУ

Накопичення великотоннажних відвалів гірничодобувної промисловості, зокрема відходів обробки граніту, створює значне техногенне навантаження на довкілля [1, 2]. Ключова перешкода для утилізації цих відсівів у традиційних будівельних галузях, як бетон, полягає в їхньому гранулометричному складі [3]. Вміст дрібнодисперсних частинок (0–0,63 мм) у відсівах стабільно становить 29–32% , що в 6–10 разів перевищує гранично допустимі норми для дрібного заповнювача бетонів (3–5%). Такий надлишок пилу різко погіршує властивості суміші. Дане дослідження пропонує науково-технічне обґрунтування того, як цей критичний фізичний недолік (надлишок пилу) може бути конвертований у технологічну перевагу у виробництві керамічної цегли [4].

Теоретична модель ґрунтується на хімічному складі відсівів. Рентгенофлуоресцентний аналіз підтвердив (табл. 1), що гранітний шлам містить високу концентрацію оксидів-плавнів (сумарно 18,7%) , зокрема високий вміст лужних оксидів K_2O та Na_2O (сумарно близько 8.0%) [5]. Завдяки цьому, гранітний шлам пропонується використовувати не як інертний заповнювач, а як ефективний флюс (катализатор спікання), здатний замішувати вогнетривкий каолін. Висока концентрація цих оксидів формує легкоплавкі евтектичні суміші з SiO_2 та Al_2O_3 при значно нижчих температурах, забезпечуючи утворення рідкого склоподібного розплаву. Цей розплав сприяє капілярному ущільненню керамічного тіла, зменшуючи пористість та підвищуючи міцність без необхідності досягнення високих температур, необхідних для чистого каоліну [6].

Таблиця 1.

Рентгенофлуоресцентний аналіз (вміст оксидів) у глині та гранітних шламах

Оксид	Червоно-бура глина, мас. %	Гранітні шлами, мас. %	Каолін, мас. %	Функціональна роль
SiO_2	53,9	65,8	51,4	Основний склоутворювач
Al_2O_3	18,8	15,5	46,2	Вогнетривкий компонент, основа структури
Fe_2O_3	8,9	4,5	1,5	Плавень та барвник
K_2O	5,9	4,4	0,2	Плавень (Флюс), знижує в'язкість розплаву
MgO	4,9	1,7	0,3	Плавень, знижує в'язкість розплаву, впливає на термічне розширення
CaO	4,7	3,6	0,4	Плавень (Флюс), утворює легкоплавкі силікати
TiO_2	1,8	0,7	-	Плавень, може утворювати пігменти
Na_2O	0,7	3,5	-	Плавень (Флюс), знижує температуру евтектики
P_2O_5	0,2	0,2	-	Плавень, може впливати на структуру склофази
MnO	0,2	0,1	-	Плавень, барвник (зазвичай у більших концентраціях)
Сума плавнів	27,3	18,7	2,4	Визначає температуру утворення рідкої фази

Впровадження гранітного шламу як активного плавню прогнозує значні технологічні переваги. По-перше, очікується зниження оптимальної температури випалу з понад 1200°C (для каоліну) до діапазону 1000–1150°C. Це забезпечує потенційну економію палива на 10–20%. По-друге, прогнозується значне покращення фізико-механічних властивостей готового продукту: зростання міцності при стиску та різке зниження водопоглинання завдяки інтенсивному утворенню склофази при нижчих температурах. Водночас, підвищений вміст Fe_2O_3 (4,5%) та TiO_2 (0,7%) у шламі, ймовірно, змінить кінцевий колір кераміки на жовто-коричневі відтінки [7].

Хоча теоретичне обґрунтування є міцним, ця робота також позиціонується як необхідна основа для подальшої експериментальної верифікації, оскільки попередні дослідження мають низку прогалин. Зокрема, відсутні конкретні експериментальні результати, що підтверджували б спрогнозовані показники зниження температури випалу та фактичної економії енергії саме для композиту "відсів-каолін-глина". Окрім того, майбутні етапи дослідження мають обов'язково включати ґрунтовний техніко-економічний аналіз собівартості виробництва нової цегли та оцінку радіаційної безпеки відсівів гранітоїдних порід для підтвердження можливості їх використання у житловому будівництві [8].

На основі проведеного теоретичного обґрунтування, запропоновано конкретну методологію для експериментального підтвердження гіпотези низькотемпературного спікання. Ця методологія включає розробку кінцевих рецептур керамічних композицій (серії E1–E4), що передбачають систематичне заміщення вогнетривкого каоліну гранітним відсівом у діапазоні від 10% до 40%. Окрім цього, запропоновано детальну схему термічних сходинок випалу (950°C, 1050°C, 1100°C та 1150°C). Вибір 950°C як нижньої межі діапазону має на меті оцінити початкові реакції та ранні стадії спікання, які активуються високою концентрацією плавні у шламі, що дозволить визначити мінімально енергетично вигідну температуру для формування достатньої міцності [9].

Таким чином, комплексне обґрунтування полягає у раціональному використанні техногенних відходів каменеобробки як ефективного джерела плавнів (K_2O , Na_2O , CaO). Це дозволяє цілеспрямовано знизити вогнетривкість керамічної шихти, збагаченої Al_2O_3 з каоліну, та активувати процеси формування легкоплавкої склофази при температурах, значно нижчих за типові. Такий підхід не лише веде до суттєвого енергозбереження у виробництві, але й сприяє екологічній стійкості та реалізації принципів циркулярної економіки шляхом утилізації дрібнодисперсних промислових відходів [10].

Список використаної літератури:

1. Дослідження якісних властивостей відходів каменевидобування та каменеобробки з метою їх використання як сировини для виготовлення геополімерного бетону / В. І. Шамрай та ін. Технічна інженерія. 2023. № 1(91). С. 385–397. URL: [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-385-397](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-385-397).
2. Assessment of the impact of the mining industry on the environment: the waste management system / V. Melnyk-Shamrai et al. Ecological Sciences. 2024. No. 4 (55). P. 164–168. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.26>.
3. Reuse of stone working enterprise slurry in geopolymer and concrete products / V. Shamrai et al. Mining of Mineral Deposits. 2024. Vol. 18, no. 4. P. 10–17. URL: <https://doi.org/10.33271/mining18.04.010>.
4. Development of Ceramic Materials for the Manufacture of Bricks with Stone Cutting Sludge from Granite / J. M. Terrones-Saeta et al. Minerals. 2020. Vol. 10, no. 7. P. 621. URL: <https://doi.org/10.3390/min10070621>.
5. Subashi De Silva G. H. M. J., Mallwattha M. P. D. P. Strength, durability, thermal and run-off properties of fired clay roof tiles incorporated with ceramic sludge. Construction and Building Materials. 2018. Vol. 179. P. 390–399. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.187>.
6. Almendro-Candel M. B., Jordán Vidal M. M. Glasses, Frits and Glass-Ceramics: Processes and Uses in the Context of Circular Economy and Waste Vitrification. Coatings. 2024. Vol. 14, no. 3. P. 346. URL: <https://doi.org/10.3390/coatings14030346>.
7. Rasuly W., Aminian M. K., Fatah S. K. Investigating red ceramic pigments: Tailoring clay-iron oxide composites and analyzing the physical characteristics. International Journal of Applied Ceramic Technology. 2025. URL: <https://doi.org/10.1111/ijac.15083>.
8. Solidification performance and mechanism of typical radioactive nuclear waste by geopolymers and geopolymer ceramics: A review / J. Liu et al. Progress in Nuclear Energy. 2024. Vol. 169. P. 105106. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2024.105106>.
9. Liu R., Xiang D. Recycling photovoltaic silicon waste for fabricating porous mullite ceramics by low-temperature reaction sintering. Journal of the European Ceramic Society. 2021. Vol. 41, no. 12. P. 5957–5966. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.05.028>.
10. Mechanical properties, high temperature resistance and microstructure of eco-friendly ultra-high performance geopolymer concrete: Role of ceramic waste addition / M. Abd Ellatief et al. Construction and Building Materials. 2023. Vol. 401. P. 132677. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132677>.