

¹Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ВІДСІВІВ ГРАНІТОЇДНИХ ПОРІД У ВИРОБНИЦТВО КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ З ДОДАВАННЯМ КАОЛІНУ

Проведено комплексне науково-технічне обґрунтування впровадження дрібних фракцій (відсівів) гранітоїдних порід у виробництво керамічної цегли з додаванням каоліну. Методика включала теоретичне порівняння фізичних властивостей відсівів із вимогами ДСТУ та кількісне зіставлення вмісту критичної дрібної фракції (понад 29%) з гранично допустимими нормами для бетону (< 5%). На цій основі було теоретично доведено, що критичний фізичний недолік відсівів (надлишок пилу) може бути конвертований у технологічну перевагу (активний флюс) у виробництві керамічної цегли. Розроблена теоретична модель енергоефективності, що ґрунтувалася на хімічному аналізі, який підтвердив високий вміст лужних оксидів K_2O та Na_2O – близько 8.0%. Завдяки високій концентрації оксидів-плавнів (сумарно 18,7%), теоретично обґрунтовано, що гранітний шлам може заміщувати вогнетривкий каолін і виступати як ефективний флюс. Було спрогнозовано значні технологічні переваги: зниження оптимальної температури випалу до 1000–1150° С (проти >1200° С), що теоретично забезпечує економію палива 10–20%, а також очікується зростання міцності при стиску та різке зниження водопоглинання. На основі теоретичного обґрунтування були запропоновані конкретні кінцеві рецептури керамічних композицій (серії Е1–Е4) із систематичним введенням гранітного відсіву (від 10% до 40%) та схема термічних сходинок випалу (950° С – 1150° С), які є необхідною основою для експериментального підтвердження гіпотези низькотемпературного спікання.

Ключові слова: відсіви гранітоїдних порід; гранітний шлам; керамічна цегла; каолін; плавень (флюс); низькотемпературне спікання; енергозбереження; циркулярна економіка.

Вступ. Накопичення великотоннажних відвалів гірничодобувної промисловості, зокрема відходів обробки граніту та габро, становить значне техногенне навантаження на довкілля, спричиняючи вилучення великих площ продуктивних земель та забруднення

повітря мінеральним пилом. Водночас, ці відвали є значним недооціненим сировинним потенціалом, оскільки за своїм хімічним складом та фізико-механічними властивостями вони є аналогами первинної сировини. Це створює науково-практичне протиріччя між негативним впливом відвалів та їхнім ресурсним потенціалом, що вимагає наукового обґрунтування шляхів його вирішення в рамках циркулярної економіки [1].

Ключовою перешкодою для традиційного використання дрібних фракцій (відсівів) у будівельній галузі, зокрема у бетонах та асфальтобетонах, є їхній гранулометричний склад: вміст дрібнодисперсних частинок (0–0,63 мм) стабільно варіюється від 29,2% до 32,1% за масою. Цей показник у 6–10 разів перевищує гранично допустимі норми (3–5%), встановлені для дрібного заповнювача бетонів. Такий надлишок різко збільшує водопотребу суміші, погіршує рухливість та знижує кінцеву міцність виробу, вимагаючи дороговартісного процесу збагачення (промивки). Однак, хімічний склад відсівів, що містить лужні оксиди, відкриває можливість для альтернативного, більш раціонального застосування у керамічній промисловості [2].

Постановка задачі. У роботі [3] розглянуто проблему накопичення великотоннажних відвалів гранітного шламу як значний екологічний та техногенний виклик, що призводить до вилучення земель та забруднення. При цьому обґрунтовано сировинний потенціал цих відходів, оскільки його хімічні та фізико-механічні властивості подібні до первинної сировини [1; 3]. Досліджено недоцільність традиційного використання дрібних фракцій у будівельних матеріалах через надмірний вміст дрібнодисперсних частинок, що вимагає дороговартісного збагачення та негативно впливає на характеристики суміші [4]. Також, у роботі [5] здійснено наукове обґрунтування двох альтернативних шляхів ревалоризації. По-перше, детально вивчено застосування гранітного шламу як активного плавню (флюсу) у керамічній промисловості, що є раціональним завдяки високому вмісту лужних оксидів (близько 8,0% $K_2O + Na_2O$) [6]. Це хімічне обґрунтування дозволило спрогнозувати значні технологічні переваги: зниження температури випалу до 1000–1150° С, що обіцяє потенційну економію палива на 10–20% [2; 6], а також покращення механічних властивостей кераміки за рахунок інтенсивного утворення склофази [2]. По-друге, розглянуто застосування шламу як наповнювача у геополімерних композитах (ГПБ), де часткове

заміщення (до 30%) може навіть підвищити показники міцності ГПБ, що є екологічною альтернативою портландцементу [7; 8]. Порівняльний аналіз життєвого циклу (LCA), включений у матеріали, підтверджує екологічну вигідність обох шляхів ревалоризації порівняно із захороненням, причому використання шламу як флюсу дає вищі переваги у зменшенні змін клімату та виснаження викопних ресурсів [5].

Водночас, попередні дослідження не містять низки критичних даних, які потребують доопрацювання та експериментальної верифікації. По-перше, відсутні конкретні експериментальні результати, що підтверджували б спрогнозовані показники зниження температури випалу та фактичної економії енергії, а також зростання міцності саме для композиту відсів-каолін-глина [2]. По-друге, незважаючи на згадку про потенційно вигідний вплив на клімат, економічна стійкість нової технології вимагає ґрунтового дослідження та порівняльного аналізу собівартості виробництва керамічної цегли з цим наповнювачем проти традиційної цегли, що було лише поверхово висвітлено [9]. Також, слід розширити аналіз щодо впливу пігментуючого ефекту оксиду заліза (Fe_2O_3) на кінцевий колір цегли та її ринкове позиціонування [2; 10]. Оскільки відсіви гранітоїдних порід відносяться до природних будівельних матеріалів, обов'язковою вимогою, яка не була представлена у проаналізованих джерелах, є оцінка їхньої радіаційної безпеки для використання у житловому будівництві [11]. Таким чином, проаналізовані дослідження надали міцне теоретичне обґрунтування, але наступні етапи мають бути зосереджені на експериментальній верифікації ключових гіпотез і комплексному техніко-економічному обґрунтуванні.

Результати досліджень. Для обґрунтування можливості та ефективності впровадження відсівів гранітоїдних порід у сировинну суміш для виробництва керамічної цегли, було організовано відбір проб із породних відвалів трьох ключових каменевидобувних підприємств регіону (далі – Підприємство 1, 2, 3), що спеціалізуються на переробці гранітів.

Відбір проб проводився методом конвертування з різних горизонтів відвалу для отримання усереднених зразків, які найбільш репрезентативно характеризують накопичений матеріал.

Визначення гранулометричного (зернового) складу відсівів є першочерговим технологічним завданням, оскільки розмір часток критично впливає на формовність сирцю, його щільність, швидкість

сушки та процеси спікання керамічної маси. Цей показник є лімітуючим при розрахунку оптимального співвідношення відсіву, глини та каоліну у шихті.

Лабораторні дослідження, зосереджені на ситовому аналізі, підтвердили, що гранулометричний склад матеріалу у відвалах різних підприємств є суттєво неоднорідним. Результати ситового аналізу (представлені кумулятивними кривими на рисунку) надають кількісну основу для подальшої корекції складу шихти та аналізу фізико-механічних показників готової керамічної продукції.

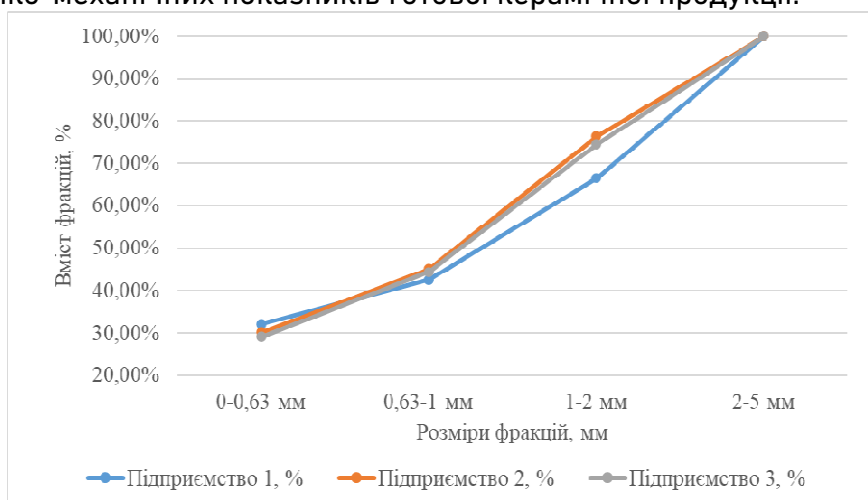


Рисунок. Кумулятивні криві гранулометричного складу відсівів щебеневої сировини з відвалів

Як видно з графіку на рисунок, вміст дрібнодисперсних фракцій у відсівах щебеневої сировини складає від 29 до 32%, що обмежує пряме використання відсівів у бетонах, де вміст пилоподібних частинок має складати не більше 5%.

Вихідними матеріалами для дослідження слугують глиниста сировина (червоно бурею глиною та вогнетривкий каолін) та кам'яний шлам. Перед початком експериментальних випробувань обидва матеріали піддавалися процедурі сушіння з метою усунення надлишкової вологи. Цей попередній етап є критично важливим для забезпечення однорідності та стабільності складу сировини, що мінімізує вплив варіабельності вологості на результати фізико-хімічного аналізу. Для кам'яного шламу, який містить значну частку дрібнодисперсних частинок, попередня сушка сприяє їх кращому розподілу в керамічних сумішах. Таким чином, досягається рівномірність фізичних та механічних характеристик кінцевих

зразків, що є ключовим аспектом у розробці нових керамічних матеріалів.

Для обґрунтування впровадження відсівів гранітоїдних порід у виробництво керамічної цегли потрібно дослідити хімічний склад компонентів шихти, що використовуються при виробництві кераміки (табл. 1). Для зниження температури випалу в керамічному виробництві, шляхом часткового або повного заміщення вогнетривкого каоліну було визначено функціональну роль основних оксидів у керамічній шихті, що є основою для розробки нових енергоефективних рецептур. Аналіз хімічного складу підтверджує, що гранітний шлам містить значно вищу концентрацію оксидів-плавнів, які каталізують спікання при нижчих температурах, на відміну від каоліну.

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 ₂ O ₃	18,8	15,5	46,2	Вогнетривкий компонент, основа структури
Fe ₂ O ₃	8,9	4,5	1,5	Плавень та барвник
K ₂ O	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 ₂ O	0,7	3,5	-	Плавень (Флюс), знижує температуру евтектики
P ₂ O ₅	0,2	0,2	-	Плавень, може впливати на структуру склофази

продовження табл. 1

MnO	0,2	0,1	-	Плавень, барвник (зазвичай у більших концентраціях)
Сума плавнів	27,3	18,7	2,4	Визначає температуру утворення рідкої фази

Обґрунтування методики заміщення вогнетривкого каоліну (46,2% Al_2O_3 , низька частка плавнів) гранітним шламом (18,7% плавнів) полягає у використанні шламу як каталізатора спікання. Висока концентрація лужних оксидів ($K_2O + Na_2O = 7,9\%$), лужноземельних оксидів ($CaO + MgO = 5,3\%$) та інших оксидів-плавнів у шламі різко підвищує загальну частку плавнів у керамічній шихті. Ці оксиди формують легкоплавкі евтектичні суміші з SiO_2 та Al_2O_3 при значно нижчих температурах (на $100-200^\circ C$ менше), ніж необхідно для спікання чистого каоліну. Утворений рідкий склоподібний розплав забезпечує капілярне ущільнення керамічного тіла, зменшуючи пористість та підвищуючи міцність без необхідності досягнення високих температур вогнетривкого матеріалу. Таким чином, заміщення сприяє економії енергії та зниженню собівартості кінцевого продукту.

Впровадження гранітного шламу істотно вплине на технологічні властивості керамічної маси та кінцевого продукту. Прогнозні зміни показників, порівняно з чистим каоліном (контроль), наведені у Таблиці 2. Очікується, що зразки з оптимальним вмістом шламу (20–30%) продемонструють значне зниження температури випалу до діапазону $1000-1150^\circ C$, що буде супроводжуватися різким зменшенням водопоглинання та зростанням міцності при стиску за рахунок інтенсивного спікання. Водночас, висока концентрація оксидів-плавнів призведе до збільшення усадки виробів. Слід також врахувати, що підвищений вміст Fe_2O_3 (4,5%) та TiO_2 (0,7%) у шламі змінить колір готової кераміки з білого на відтінки жовтого або коричневого, що має бути прийнято для виробництва будівельної чи технічної кераміки, де естетичні вимоги до білизни не є пріоритетними.

Таблиця 2

 Прогноз зміни технологічних показників при заміщенні каоліну
гранітним шламом

Показник	Одиниця виміру	Каолін (Контроль, 100%)	Каолін + Гранітний шлам (Експеримент)	Механізм впливу
Оптимальна Т випалу	°С	Вище 1200	1000–1150	Активація евтектичних плавнів (K_2O , Na_2O)
Водопоглинання	%	Високе при низьких Т	Різде зниження	Інтенсивне утворення склофази закриває пори.
Міцність при стиску	МПа	Низька при низьких Т	Значне зростання	Міцна скломатриця, утворена шламом, зв'язує частинки.
Усадка при випалі	%	Низька/Помірна	Збільшення	Інтенсивне ущільнення керамічного тіла внаслідок спікання.
Кінцевий колір	-	Білий/Світло-сірий	Жовто-коричневий	Вплив високого вмісту Fe_2O_3 та TiO_2 у шламі.

На основі аналізу хімічного складу та обґрунтування заміщення каоліну гранітним шламом з метою зниження температури випалу, пропонуються наступні рецептури (табл. 3). Вони забезпечують систематичне введення плавні (флюсу) за рахунок вогнетривкого компонента.

Таблиця 3

Обґрунтовані кінцеві рецептури керамічних композицій

Серія зразків	Каолін (мас.%)	Гранітний відсів (мас.%)	Обґрунтування функціональності
К (Контроль)	100%	0%	Вогнетривка база, референтна точка для порівняння.
E1	90%	10%	Початковий плавень. Введення мінімальної, але помітної частки K_2O/Na_2O для активації.
E2	80%	20%	Оптимізація. Компроміс між вогнетривкістю та флюсуванням. Очікується значне зниження T.
E3	70%	30%	Максимальне флюсування. Висока концентрація плавнів, що сприяє інтенсивному спіканню.
E4	60%	40%	Оцінка ризику. Перевірка на ризик перепалу, деформації та утворення великої кількості склофази.

Оскільки заміщення вогнетривкого каоліну гранітним шламом націлене на значне зниження температури випалу (за рахунок підвищеного вмісту плавнів 18,7%), необхідно підібрати температурний режим, який був би нижчим за типові температури для чистого каоліну ($> 1200^\circ C$) і знаходився у робочому діапазоні для легкоплавких керамічних мас.

Пропонований температурний режим випалу повинен бути серією інтервалів (термічними сходинками), що дозволить точно визначити оптимальну температуру, при якій зразки з гранітним шламом досягають максимального спікання.

Діапазон вибирається з урахуванням того, що плавні (оксиди K_2O , Na_2O , CaO) у складі гранітного шламу забезпечують інтенсивне утворення рідкої фази вже навколо $1000-1100^\circ C$.

Для експериментального підтвердження гіпотези рекомендується обрати наступні чотири ключові температури, що охоплюють прогнозований діапазон (табл. 4).

Таблица 4

Рекомендована схема термічних сходінок

Термічна сходінка	Температура випалу (Твип, °С)	Мета сходінки
С1	950	Нижня межа. Оцінка початкового спікання та реакційної здатності плавні.
С2	1050	Основна робоча точка. Очікується оптимальне спікання для зразків Е2-Е3.
С3	1100	Верхня робоча точка. Перевірка на досягнення максимальної міцності та мінімального водопоглинання.
С4	1150	Верхня межа. Контроль надлишку плавлення (ризик перепалу, спучення, максимальна усадка).

Низька температура 950° С використовується для оцінки початкових хімічних реакцій та ранніх стадій спікання, які активуються лужними оксидами (плавнями) гранітного шламу. При температурі 950° С завершується розкладання гідроксилів каолініту (дегідратація) та карбонатів (якщо вони присутні в шламі), що є необхідною підготовкою шихти до спікання. Незважаючи на те, що інтенсивне утворення рідкої фази починається вище 1000° С, при 950° С вже можуть розпочатися реакції у твердій фазі між дисперсними оксидами металів (які виділяються з плавні гранітного шламу) та аморфним кремнеземом (з каоліну). Ці реакції формують ранні прекурсори склофази. Тобто це дозволяє визначити, чи здатна висока концентрація плавні (18,7%) у шламі змістити початок формування склофази настільки, щоб забезпечити достатню міцність для будівельної кераміки вже на цій енергетично вигідній температурі.

Враховуючи вищевикладене, температура 950° С слугує нижньою контрольною межею діапазону. Зразки з чистим каоліном (Контроль К) матимуть дуже низьку міцність та високе водопоглинання (практично за відсутності спікання), що підтвердить його вогнетривкість. Зразки з гранітним шламом (Е2-Е4), завдяки плавню, можуть показати помітне підвищення міцності та зниження водопоглинання порівняно з контролем, навіть якщо це не є повним спіканням. Це буде прямим доказом каталітичного впливу шламу на термохімічні процеси.

Таким чином, обґрунтування впровадження відсівів гранітоїдних порід у виробництво керамічної цегли з додаванням каоліну полягає у використанні цих техногенних відходів як ефективного джерела плавні (оксидів K_2O , Na_2O , CaO), що дозволяє різко знизити вогнетривкість керамічної шихти, збагаченої Al_2O_3 каоліном. Це забезпечує активацію процесів низькотемпературного спікання через формування легкоплавкої склофази при температурі, значно нижчій за типову для чистого каоліну, що в кінцевому підсумку веде до суттєвого енергозбереження та сприяє екологічній стійкості виробництва шляхом утилізації дрібнодисперсних відходів каменеобробної промисловості.

Висновки. В результаті проведеного дослідження були виявлені наступні особливості:

Теоретично доведено, що завдяки високій концентрації оксидів-плавнів (зокрема, $K_2O + Na_2O \approx 8,0\%$), гранітний шлам може заміщувати вогнетривкий каолін і виступати як ефективний флюс (каталізатор спікання). Прогнозується зниження оптимальної температури випалу до $1000\text{--}1150^\circ\text{C}$ (проти $>1200^\circ\text{C}$ для чистого каоліну), що теоретично забезпечує економію палива в діапазоні $10\text{--}20\%$. Очікується значне зростання міцності при стиску та різке зниження водопоглинання за рахунок інтенсивного утворення склофази при нижчих температурах.

На основі теоретичного обґрунтування запропоновано конкретні кінцеві рецептури (серії E1–E4) із систематичним введенням гранітного відсіву (від 10% до 40%) та схему термічних сходінок ($950\text{--}1150^\circ\text{C}$), які є необхідною основою для експериментального підтвердження гіпотези низькотемпературного спікання.

1. Дослідження якісних властивостей відходів каменевидабування 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.** 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>. **3.** 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>. **4.** 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>. **5.** Valorization of phosphate mine waste

rock as alternative aggregates for high-performance concrete / Y. El Berdai et al. *Case Studies in Construction Materials*. 2024. Vol. 21. P. e03863. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03863>. **6.** 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>. **7.** Development of geopolymer concrete formulations based on activated stone processing sludge to reduce natural resource consumption / Shamrai V. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. Vol. 5, no. 6 (137). P. 41–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.341720>. **8.** Chajec A. The use of granite powder waste in cementitious composites. *Journal of Materials Research and Technology*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.06.253>. **9.** 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>. **10.** 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>. **11.** 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>.

REFERENCES:

1. Doslidzhennia yakisnykh vlastyvostei vidkhodiv kamenevydobuvannia ta kameneobrobky z metoiu yikh vykorystannia yak syrovyny dlia vyhotovlennia heopolimernoho betonu / V. I. Shamrai ta in. *Tekhnichna inzheneriia*. 2023. № 1(91). S. 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.** 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>. **3.** 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>. **4.** 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>. **5.** Valorization of phosphate mine waste rock as alternative aggregates for high-performance concrete / Y. El Berdai et al. *Case Studies in Construction Materials*. 2024. Vol. 21. P. e03863. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03863>. **6.** 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>. **7.** Development of geopolymer concrete formulations based on activated stone processing sludge to reduce natural resource consumption / Shamrai V. et al. *Eastern-*

European Journal of Enterprise Technologies. 2025. Vol. 5, no. 6 (137). P. 41–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.341720>. **8.** Chajec A. The use of granite powder waste in cementitious composites. *Journal of Materials Research and Technology*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.06.253>. **9.** 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>. **10.** 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>. **11.** 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>.

Oliinyk O. V. ^[1: ORCID ID: 0009-0004-8988-8612],
Post-graduate Student

¹*Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr*

JUSTIFICATION FOR THE USE OF GRANITOID ROCK SCREENINGS IN CERAMIC BRICK PRODUCTION WITH KAOLIN ADDITION

A comprehensive scientific and technical justification for the implementation of fine fractions (screenings) of granitoid rocks into ceramic brick production with kaolin addition was conducted. The methodology included a theoretical comparison of the physical properties of the screenings with the requirements of the SSU (State Standards of Ukraine) and a quantitative comparison of the critical fine fraction content (over 29%) with the maximum permissible norms for concrete (< 5%). On this basis, it was theoretically proven that the critical physical drawback of the screenings (excess dust) can be converted into a technological advantage (an active flux) in ceramic brick production. A theoretical energy efficiency model was developed based on chemical analysis, which confirmed the high content of alkali oxides K₂O and Na₂O – approximately 8.0%. Due to the high concentration of fluxing oxides (total 18.7%), it was theoretically justified that granite sludge can substitute refractory kaolin and act as an effective flux. Significant technological advantages were predicted: a reduction in the optimal firing temperature to 1000–1150° C (vs. >1200° C), theoretically providing a fuel saving of 10–20%, along with an expected increase in compressive strength and a sharp decrease in water absorption. Based on the theoretical justification, specific final formulations of ceramic compositions (series E1–E4) with the systematic introduction of granite screenings (from 10% to 40%) and a thermal step firing scheme (950° C –



1150° C) were proposed, which are the necessary basis for the experimental confirmation of the low-temperature sintering hypothesis.

Keywords: granitoid rock screenings; granite sludge; ceramic brick; kaolin; flux; low-temperature sintering; energy saving; circular economy.

Отримано: 17 червня 2025 року

Прорецензовано: 02 вересня 2025 року

Прийнято до друку: 25 вересня 2025 року