

**Верезумський А.В., здобувач освітнього ступеня «магістр»,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Шамрай В.І., к.т.н., доц.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОПОЛІМЕРНОЇ АКТИВНОСТІ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ ГРАНІТОЇДНИХ ПОРІД

Накопичення великотоннажних відвалів гірничодобувної промисловості, зокрема відходів обробки граніту, становить значне техногенне навантаження на довкілля. Ці матеріали, що розглядаються як промислові відходи, водночас становлять значний недооцінений сировинний потенціал. У рамках циркулярної економіки постає науково-практичне завдання щодо їхньої ревалоризації. Одним із найбільш перспективних напрямків є їхнє застосування у геополімерних композитах (ГПБ) як екологічної альтернативи традиційному портландцементу. Це вимагає теоретичного обґрунтування геополімерної активності цих дрібнодисперсних матеріалів.

Ключовою фізичною характеристикою гранітних відсівів (шламу) є їхній гранулометричний склад. Вміст дрібнодисперсних частинок (0–0,63 мм) стабільно варіюється від 29,2% до 32,1%. Цей показник, що є критичним недоліком для використання у бетонах, теоретично є перевагою для геополімеризації. Висока питома поверхня дрібних фракцій забезпечує збільшену площу контакту з лужним активатором, що, як очікується, має інтенсифікувати процеси розчинення алюмосилікатних фаз та прискорити хімічні реакції, які лежать в основі формування геополімерної матриці [1].

Теоретична можливість геополімеризації ґрунтується на хімічному складі відходів. Рентгенофлуоресцентний аналіз гранітних шламів показує, що вони є алюмосилікатною сировиною, яка складається переважно з SiO_2 (65,8%) та Al_2O_3 (15,5%). Наявність цих двох основних оксидів є фундаментальною передумовою для синтезу геополімеру. У той час як для кераміки цінністю є оксиди-плавні (K_2O , Na_2O), для геополімеризації ці ж лужні оксиди, що вже присутні у структурі мінералів, можуть потенційно сприяти процесу, знижуючи потребу в активаторі або посилюючи реакційну здатність шламу.

Дрібнодисперсний гранітний шлам у геополімерних системах може відігравати подвійну роль. По-перше, він може виступати як активний алюмосилікатний прекурсор, де його компоненти (SiO_2 та Al_2O_3) безпосередньо беруть участь у реакції поліконденсації з лужним розчином, формуючи тривимірну полімерну сітку. По-друге, він може діяти як активний наповнювач (мікронаповнювач). Дрібні частинки заповнюють пори між більшими зернами, оптимізуючи гранулометрію суміші, знижуючи загальну пористість та покращуючи щільність і, як наслідок, міцність кінцевого композиту [2].

Існуючі дослідження, проаналізовані у літературі, підтверджують цю теоретичну гіпотезу. Зокрема, вказується на можливість розробки рецептур геополімерного бетону на основі активованого кам'яного шламу. При цьому наголошується, що часткове заміщення (до 30%) основного в'язучого цим шламом здатне не лише не погіршити, але й підвищити показники міцності геополімерного бетону. Це є прямим свідченням того, що гранітний шлам діє не як інертний баласт, а як функціонально активний компонент системи.

Екологічний аспект є ключовим драйвером цієї технології. Геополімерні композити розглядаються як екологічна альтернатива портландцементу, виробництво якого пов'язане зі значними викидами CO_2 . Порівняльний аналіз життєвого циклу (LCA), згаданий у проаналізованих джерелах, підтверджує екологічну вигідність ревалоризації шламу, зокрема у геополімерах, порівняно з його захороненням. Використання техногенних відходів для створення довговічних будівельних матеріалів є практичною реалізацією принципів сталого розвитку.

Таким чином, теоретичний аналіз фізичних та хімічних властивостей дрібнодисперсних відходів гранітоїдних порід свідчить про їхню високу потенційну геополімерну активність. Вони можуть виступати і як алюмосилікатний прекурсор, і як активний мікронаповнювач. Подальші дослідження мають бути зосереджені на експериментальній верифікації: оптимізації складу лужного активатора, визначенні максимального ефективного відсотка заміщення та дослідженні довговічності отриманих геополімерних композитів.

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. 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>.