

УДК 622.799.7:628.4:691.32

**Меринів Р.Р., здобувач освітньо-наукового ступеня «доктор філософії»,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Шамрай В.І., к.т.н., доц.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ ШЛАМУ КАМЕНЕОБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ ДИРЕКТИВИ ЄС ПРО ВІДХОДИ

Накопичення великотоннажних відвалів шламу, що утворюється в результаті обробки природного каменю, є однією з найбільш обтяжливих екологічних проблем для гірничодобувної галузі, вимагаючи негайного переходу від лінійної економіки до принципів Циркулярної Економіки (CE), що просуваються Рамковою Директивою ЄС про відходи (WFD). Ця Директива встановлює ієрархію поводження з відходами, де пріоритетом є запобігання утворенню та повторне використання, а кінцева мета полягає у мінімізації захоронення. Технологічна ефективність використання цих відходів як вторинної сировини безпосередньо залежить від розробки комплексної системи управління.

Першим і найбільш критичним технологічним бар'єром є зневоднення шламу, який характеризується високою дисперсністю частинок та значним вмістом вологи. Традиційні методи, що використовують седиментаційні ставки, є неефективними, вимагають великих земельних площ і забезпечують повільний та неконтрольований процес. Для відповідності вимогам ЄС необхідне впровадження Найкращих доступних технологій (BAT), зокрема механічного зневоднення за допомогою фільтр-пресів. Цей метод, хоча й є більш капіталомістким, дозволяє швидко знизити вміст вологи у фільтрувальному кеку до 20–30%, перетворюючи шлам на стабільний та транспортабельний матеріал для подальшої переробки.

Отриманий зневоднений фільтрувальний кек має високий потенціал для використання у високотемпературному синтезі, а саме у виробництві керамічної цегли. Аналіз показує, що шлам гранітоїдних порід містить високу концентрацію оксидів-плавнів (K_2O та Na_2O), що сягає 8–18% від маси. Цей склад дозволяє використовувати шлам як активний флюс, який ефективно знижує оптимальну температуру випалу керамічної шихти (з понад $1200^{\circ}C$ до 1000 – $1150^{\circ}C$), забезпечуючи, таким чином, не лише утилізацію відходів, але й суттєву економію палива у діапазоні 10–20%.

Другий, стратегічно важливий шлях утилізації, повністю співзвучний кліматичним цілям ЄС, — це застосування шламу у низькотемпературних в'язучих, таких як геополімерні композити або цементні системи. У цьому випадку шлам виступає як активний мікронаповнювач або частковий замісник клінкеру. Використовуючи тонкодисперсний матеріал для заміщення високоенергоємного клінкеру, цей підхід безпосередньо сприяє декарбонізації будівельної галузі та знижує вуглецевий слід кінцевого бетону, що є пріоритетом у європейській зеленій політиці.

Ефективне управління шламом та його комплексна переробка мають відповідати найвищому рівню екологічної інтеграції. Це означає, що перероблений матеріал має досягти статусу "End-of-Waste" (припинення існування як відходу), що дозволяє класифікувати його як вторинну сировину (наприклад, мікронаповнювач або технологічну добавку) і повністю вивести його з-під дії Директиви про відходи. Такий підхід забезпечує не лише технічну, але й регуляторну відповідність усім вимогам ЄС.

Загальна технологічна ефективність комплексного управління (BAT-зневоднення + дуальна утилізація) виражається у трьох ключових аспектах: радикальне зменшення обсягу відходів, що потрапляють на полігони (до 90%), енергозбереження у виробництві кінцевих матеріалів (кераміка, цемент) та збереження первинних ресурсів за рахунок їхнього заміщення вторинним продуктом. Ці аспекти разом формують економічну модель, стійку у довгостроковій перспективі.

На завершення, досягнення екологічної інтеграції для українських каменеобробних підприємств є стратегічним завданням, яке вимагає значних інвестицій у технології механічного зневоднення (BAT) та одночасного розвитку дуал-систем утилізації (використання шламу у високотемпературному та низькотемпературному синтезі). Лише такий комплексний підхід дозволить підприємствам не лише відповідати суворим екологічним стандартам ЄС, але й забезпечити стійку конкурентоспроможність на європейському ринку.