

О.В. БУЛАХ, А.Ю. КРИВЕНКО, кандидати техн. наук, доценти,  
Д.Є. ЧУБЧЕНКО, магістрант  
Криворізький національний університет

## ПЕРСПЕКТИВИ ДОЗБАГАЧЕННЯ ХВОСТІВ ПЕРЕРОБКИ ЗАЛІЗНИХ РУД

Сучасна гірничо-металургійна промисловість перебуває на етапі фундаментальної трансформації, зумовленої виснаженням багатих запасів мінеральної сировини та посиленням екологічних вимог. Тривале та постійне накопичення відходів збагачення є однією з найбільш критичних проблем гірничодобувної галузі у світі. Щорічний обсяг утворення хвостів збагачення залізних руд у глобальному масштабі перевищує 1,5 млрд тонн, при цьому коефіцієнт їх переробки в більшості випадків не перевищує 15–20%.

Україна, яка володіє значними запасами залізних руд, не є винятком із цієї глобальної тенденції. Хвости збагачення, які накопичуються у хвостосховищах, займають тисячі гектарів земель, порушують гідрогеологічний режим та є джерелом техногенного навантаження на довкілля. Водночас, ці відходи, з точки зору сучасних гірничо-металургійних технологій, розглядаються як комплексна техногенна сировина, тобто потенційне джерело для вилучення не лише заліза, але й кольорових, рідкісних та рідкісноземельних металів, а також для отримання будівельних матеріалів.

Світовий досвід також демонструє економічну доцільність переробки хвостів збагачення за умови застосування комплексних підходів, що дозволяє знизити капітальні витрати та досягти рентабельності при вмісті заліза у хвостах понад 12–15%.

У Криворізькому регіоні, де діють такі гірничо-збагачувальні комбінати як Північний, Південний, Інгулецький, Центральний та ГЗК АрселорМіттал Кривий Ріг накопичено понад 10 млрд тонн хвостів із середнім вмістом заліза 12–18%. Враховуючи зростання екологічного навантаження, актуальним є питання повторного використання хвостів збагачення. Дозбагачення хвостів дозволяє не тільки отримати додаткову кількість цінного компоненту, але й зменшити площі хвостосховищ та екологічні ризики.

Для розуміння проблем їхнього подальшого збагачення необхідно класифікувати ці відходи за ключовими параметрами. Однією з головних перешкод є те, що хвости, які вважалися "відходами", сформувалися внаслідок недосконалості технологій минулих років. Також чинитиме вплив складний мінеральний склад руди зі значним вмістом в ній силікатів і карбонатів, а також тонким вкращенням магнетиту, а іноді, навіть і окислених різновидів. Крім того, довготривале зберігання у хвостосховищах призводить до окислення, гідратації та цементації мінералів.

Сьогодні відомо достатньо досліджень з можливості дозбагачення хвостів переробки залізних руд різними методами. Основними з них є магнітна сепарація, флотація та гравітаційне збагачення. Ключовими напрямками залишаються комбіновані технологічні схеми. Водночас існують значні виклики такі, як мінералогічна неоднорідність, транспортування, екологічні ризики які потребують ретельного планування й системного підходу.

Як правило, хвости збагачення представлені матеріалом крупністю менше 0,1 мм. Аналіз гранулометричного складу хвостів дає змогу з'ясувати, що вміст заліза збільшується зі зменшенням крупності, а основна його кількість зосереджена у тонких класах. У багатьох випадках, для максимального вилучення корисного компоненту спочатку потрібне їх доподрібнення, а потім подальше збагачення.

Хоча, можливо використати інший підхід без попереднього подрібнення тим самим зменшуючи шламоутворення. В такому випадку вихідні хвости одразу спрямовуються на гравітаційне збагачення, наприклад, на концентраційному столі. У легкій фракції будуть концентруватися частинки порожньої породи та зростки з невеликим вмістом заліза. А важку фракцію необхідно доподрібнювати до 97% класу  $-0,044$  мм і знешамлювати за класом 0,01 мм. Знешамлений продукт можливо збагачувати магнітною сепарацією з перемістками у слабкому полі, напруженістю 90 – 100 кА/м. Якщо використовувати суто магнітне збагачення то вміст заліза у концентраті буде трохи нижчим, порівняно з гравітаційно-магнітною схемою. Таким чином, з вихідних хвостів з вмістом заліза до 20% за комбінованою гравітаційно-магнітною схемою можливо отримати додатковий концентрат якістю близько 65% при виході 18–20%.