

В. С. МОРКУН, Н. В. МОРКУН, доктори техн. наук, професори,
Криворізький національний університет
С. М. ГРИЩЕНКО, канд. пед. наук, доц., Державний податковий університет
О. Ю. СЕРДЮК, асист., А. А. ГАПОНЕНКО, Є. Ю. БОБРОВ, аспіранти
Криворізький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ МАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВИМІРЮВАНЬ

Ефективність роботи та якість розділення продуктів збагачення у магнітному сепараторі залежать від багатьох факторів, головними з яких є його конструктивні внутрішні параметри (рівень пульпи у робочій камері, зазор між барабаном та дном робочої камери, характеристики і розташування магнітної системи, рівень вивантажування магнітного продукту) та властивості вхідного продукту (вміст феромагнітного компоненту, щільність та швидкість потоку пульпи, крупність частинок подрібненої руди). Оскільки поки що не має технічної можливості оперативно отримати повну інформацію стосовно всіх змінних процесу магнітної сепарації, а взаємозв'язок між ними є важкоформалізуємим, для моделювання цього процесу доцільно використовувати апарат нечіткої логіки та штучні нейронні мережі. Однією з найпоширеніших таких систем, що застосовує такий підхід, є ANFIS (adaptive neuro-fuzzy inference system). Це структура, що реалізує механізм логічного висновку Такагі-Сугено-Канга.

Для отримання інформації щодо характеристик вхідного продукту магнітного сепаратора пропонується метод, заснований на використанні вимірювань змін параметрів розповсюдження витікаючих хвиль Лемба під дією імпульсного магнітного поля.

При розповсюдженні ультразвукових хвиль Лемба в металевій пластині, що контактує із залізородною пульпою, частина їх енергії випромінюється (витікає) в оточуюче середовище і відповідним чином трансформується в об'ємні ультразвукові хвилі, які далі розповсюджуються у пульпі. За рахунок цих процесів змінюються характеристики як хвилі Лемба, що продовжують розповсюджуватися по металевій пластині, так і об'ємних ультразвукових хвиль в потоці пульпи.

Інформація, одержувана на підставі результатів ультразвукових вимірювань, щодо зміни під дією імпульсного магнітного поля щільності пульпи (концентрації твердої фази), крупності частинок подрібненої руди (вмісту контрольного класу крупності) та швидкості її потоку дозволяє спрогнозувати процес поділу рудного матеріалу в магнітному сепараторі та оцінити його ефективність.

Отримані результати використані при прогнозуванні результатів магнітної сепарації (вміст Fe у вихідному промпродукті) магнетитових кварцитів за допомогою модуля ANFIS програмного пакету Matlab 2017. Сформована FIS структура із п'ятьма входами, на які подаються результати наведених вище ультразвукових вимірювань. При формуванні бази правил моделі найкращі результати показали Гаусівські функції належності. У процесі навчання моделі були протестовані як гібридний метод, так і метод зворотного поширення помилки. За результатами проведеного аналізу було обрано гібридний метод. Для ефективного навчання фінального варіанта моделі виявилось достатньо 10 епох. Сформована ANFIS модель має такі характеристики: кількість вузлів – 176; кількість лінійних параметрів – 84; кількість нелінійних параметрів – 140; загальна кількість параметрів – 224; кількість нечітких правил – 14. Середня абсолютна помилка (MAE) прогнозування становила 0,64, середньоквадратична помилка (RMSE) - 0,45 при коефіцієнті детермінації (R^2) - 0,93.

Отримані результати показують, що запропонований метод прогнозування якості продуктів процесу магнітної сепарації залізняку на основі моделювання оцінки впливу прикладеного імпульсного магнітного поля на результати ультразвукових вимірювань характеристик потоку пульпи може бути ефективно використаний для оптимізації технологічної лінії збагачення.

Напрямом подальших досліджень слід вважати удосконалення бази даних, які використовуються для навчання ANFIS моделі та використання більш ефективних методів її оптимізації.