

УДК 622.74.913.3

БУЛАХ О.В., канд. техн. наук, доц., ЗАПОРОЖЕЦЬ О.Ю., магістрант
Криворізький національний університет

ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ТОНКОГО ГРОХОЧЕННЯ В СХЕМАХ ПЕРЕРОБКИ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ

Мета. Метою даної роботи є визначення можливості отримання високоякісного концентрату при збагаченні магнетитових кварцитів з використанням операції тонкого грохочення в різних схемах збагачення. Підвищення масової частки заліза в концентраті та зменшення витрат на його виробництво досягається завдяки розвитку технологій та обладнання при збагаченні залізних руд, які дозволяють не тільки підвищити якість концентрату, але і зменшити вміст шкідливих домішок.

Методи дослідження. Узагальнення та аналіз науково-технічної інформації. При аналізі технологій переробки залізних руд, що дозволяють отримувати високоякісні концентрати з'ясовано, що найбільш перспективним напрямком робіт з підвищення якості концентрату є застосування операції тонкого грохочення як циклах подрібнення так і в якості дозбагачення концентрату в різних технологічних схемах. В комплексі це дозволяє збільшити масову частку заліза в концентраті або знизити питомі витрати на переробку руди.

Наукова новизна. Використання в схемах переробки залізорудної сировини операції тонкого грохочення на грохотах корпорації Deggick для підвищення якості концентрату по діючій схемі та можливості його дозбагачення.

Практична значимість. Визначено доцільність використання операції тонкого грохочення при переробці магнетитових кварцитів. Використання грохотів тонкого грохочення в різних діючих схемах у відкритому та замкнутому циклах, замість обладнання для класифікації третьої стадії подрібнення та як обладнання для дозбагачення концентрату є доцільним як з технологічної так і економічної точки зору.

Результати. Операція тонкого грохочення на гірничо-збагачувальних фабриках використовується для підвищення якості концентрату та зниження в ньому вмісту кремнезему. При видаленні частинок крупніше 75 мкм з кінцевого залізорудного концентрату саме з використанням тонкого грохочення можливо зменшити вміст кремнезему на 1,0-1,5% та підвищити його якість, в середньому, на 1,5-2,0%. Важливо також відзначити, що витрати на цей процес нижче ніж на тонке подрібнення або флотацію.

Ключові слова: магнетитові кварцити, технологія збагачення, тонке грохочення, підвищення якості, концентрат.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Боротьба за зменшення собівартості та підвищення якості продукції, що виготовляється є важливим завданням для керівників різних підприємств, а в умовах сучасних надскладних ринкових відносин - вона є ключовою.

Для зниження собівартості металургійного виробництва необхідне підвищення якості магнетитових концентратів як вихідної сировини. Важливим показником якості залізорудних концентратів є не тільки масова частка заліза в них, але й вміст шкідливих домішок. Одним з показників, що впливають на ціну концентратів є вміст кремнезему. Високий вміст кремнезему в концентраті значно підвищує витрати на металургійне виробництво, а отже, це призводить до зменшення ціни концентрату.

Сучасні напрямки розвитку технологій переробки залізних руд на ГЗК України та країн СНД спрямовані на підвищення масової частки заліза в концентраті та зменшення витрат на його виробництво за рахунок впровадження нових технологій та/або використання сучасного, високоефективного обладнання, що дозволяє не тільки підвищити якість концентрату, але і зменшити вміст шкідливих домішок.

Одним з напрямків вирішення цієї проблеми є використання в схемах переробки залізних руд операції тонкого грохочення, яким все частіше цікавляться більшість підприємств через високу ефективність цього процесу та можливості покращення технологічних та економічних показників.

Аналіз досліджень і публікацій. Вперше про грохоти тонкого грохочення стало відомо в ще 70-х роках минулого сторіччя завдяки розробці компанією «Deggick» багаточислової ситової панелі, що не забивається, запатентованої як «Сендвіч панель». В подальшому, компанія створила поліуретанові сита з високим коефіцієнтом «живого перетину». Але сьогодні велику зацікавленість серед гірничо-збагачувальних підприємств має грохот Деррік «Стек Сайзер» (StackSizer™) який має п'ять паралельних ситових дек, розташованих одна над іншою та характеризується високою питомою продуктивністю [1].

В даний час усе більшого розповсюдження в практиці збагачення різноманітної мінеральної сировини знаходять високоефективні операції тонкого грохочення на основі застосування високочастотних віброгрохотів корпорації Derrick.

За останні роки процес тонкого грохочення набув широкого розповсюдження в технологічних схемах збагачення різних типів корисних копалин по всьому світу. Це стало можливим завдяки появі саме грохотів Derrick із зносостійким сітками, що не забиваються, що забезпечують високу ефективність розділення по класам крупності – 0,07 та – 0,05 мм від 70 до 80% і вище. Такі грохоти доцільно використовувати коли необхідно отримати якісний підрешітний продукт з невеликою допустимою кількістю тонкого в надрешітному матеріалі. Використання тонкого грохочення на більшості підприємств при невеликих капітальних витратах дозволяє підвищити вміст заліза в концентраті на 1,7-2,7%, а особливо це важливо через зростання цін на енергоносії та збільшення вартості сировини та витрат при металургійному виробництві [2,3].

Наразі галузь використання тонкого грохочення достатньо широка. В роботі [4] наведено можливості застосування тонкого грохочення, а саме:

- в технологічних процесах переробки техногенних вугільних родовищ;
- в технологічних схемах діючих вуглезбагачувальних фабрик, наприклад, для виділення крупнозернистого шламу;
- в замкнених циклах подрібнення руд чорних, кольорових та благородних металів замість гідравлічної класифікації;
- в схемах збагачення, коли вміст одного з розділяемих компонентів в дрібних класах є більшим, ніж в крупних;
- в технологічних схемах доведення промпродуктів перед їх збагаченням, де потребується висока точність розділення при відносно невисокій продуктивності.

Постановка завдання. Підвищення якості концентратів практично неможливо при діючих схемах збагачення та кількості обладнання при збільшенні обсягів виробництва та частки важкозбагачуваних руд, залучених у переробку. Типові схеми збагачення більшості залізних руд характеризуються стадіальністю процесів подрібнення та магнітної сепарації з виділенням хвостів після кожної операції.

Кінцевий концентрат, отримуваний після останньої стадії подрібнення і магнітної сепарації, коли порожня порода виведена з хвостами збагачення, часом не задовольняє вимогам пред'явленим споживачами продукції. Виникає необхідність вдосконалення існуючих схем збагачення з використанням нового, більш ефективного обладнання або розглядання можливості дозбагачення концентрату, отриманого по базовій схемі переробки. Той чи інший варіант повинен бути більш ефективним та менш витратним.

Викладення матеріалу і результати. Для розділення по крупності необхідно використовувати вібраційний гідравлічний грохот, тому що в ньому часткове розділення за густиною, пов'язане з сегрегацією та частковим характером переміщення частинок в підрешітний продукт сприятиме підвищенню масової частки заліза в готовому продукті. В гідроциклоні, часткове розділення за густиною знижує масову частку заліза в готовому продукті (зливі).

При подрібненні магнетитових руд по використовуваних схемах відбувається вибіркова зміна розмірів магнетиту і вміщуючих порід. Це проявляється в більш високій масовій частці заліза в дрібних класах крупності.

Тому тонке грохочення магнетитовміщуючих продуктів слід віднести до вибіркового грохочення, що дозволяє підвищити якість готового продукту.

При цьому вибірковість грохочення проявляється і в замкнутому циклі подрібнення.

В стадіях подрібнення магнетитових руд (на відміну від інших руд) широко застосовується як збагачувальна операція в замкнутому циклі для виведення відвальних хвостів.

Використання в замкнутому циклі подрібнення тонкого грохочення і магнітної сепарації дозволяє не тільки отримати готовий по крупності продукт, але і, порівняно з гідроциклонами, підвищити масову частку заліза в готовому продукті і знизити циркулюючу навантаження [5].

У даний час є багато варіантів використання операції тонкого грохочення в схемах переробки корисних копалин.

Відомі схеми збагачення [5] з використанням тонкого грохочення в замкнутому циклі подрібнення, зі стадіальним виділенням концентрату, з розділенням промпродукту на два сорти, з підвищенням якості концентрату (рис. 1).

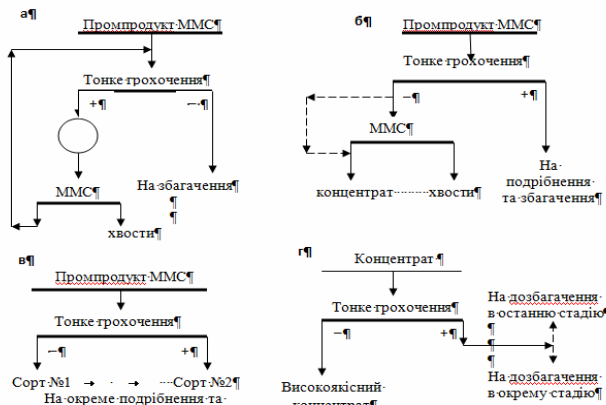


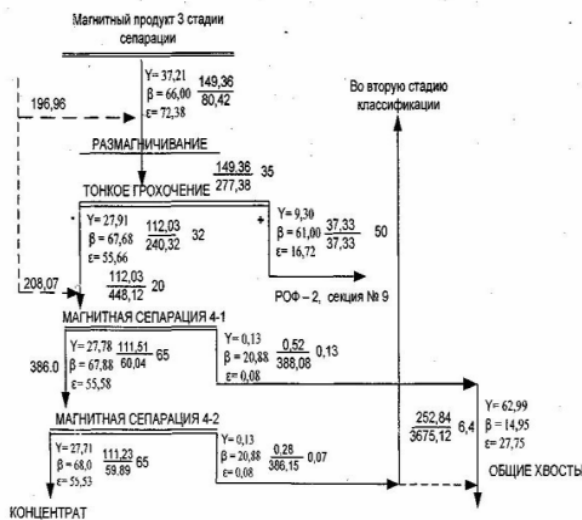
Рис. 1. Варіанти використання тонкого грохочення в схемах збагачення залізних руд: а – замкнутий цикл подрібнення; б – стадійне виділення концентрату; в – розділення промпродукту на два сорти; г – підвищення якості концентрату

В роботі [6] наведено дослідження на рудах Північного Кривого Рігу поточного видобутку з впровадженням грохоту тонкого грохочення фірми Derrick в схему збагачення.

На підставі проведених досліджень була вдосконалена існуюча технологічна схема збагачення магнетитових кварцитів (рис. 2), що включає наступні операції: подрібнення дробленої до 25-0 мм вихідної руди, магнітне збагачення (I стадія) зливу класификатора, подрібнення магнітного продукту, знешламлення зливу гідроциклону з подальшим його магнітним збагаченням (II стадія), грохочення магнітного продукту по класу 0,063 мм, підрешітний продукт знешламлюється і збагачується на магнітному сепараторі (III стадія).

На підставі проведених досліджень була вдосконалена існуюча технологічна схема збагачення магнетитових кварцитів (рис. 2), що включає наступні операції: подрібнення дробленої до 25-0 мм вихідної руди, магнітне збагачення (I стадія) зливу класификатора, подрібнення магнітного продукту, знешламлення зливу гідроциклону з подальшим його магнітним збагаченням (II стадія), грохочення магнітного продукту по класу 0,063 мм, підрешітний продукт знешламлюється і збагачується на магнітному сепараторі (III стадія).

Рис. 2. Рекомендована технологічна схема збагачення магнетитових кварцитів Північного Кривого Рігу з впровадженням операції тонкого грохочення



Надрешітний продукт подрібнюється, класифікується. Злив класификатора повертається на магнітне збагачення у другу стадію. В комплексі це дозволяє збільшити масову частку заліза в концентраті або знизити питомі витрати на переробку руди. За даною технологією отриманий концентрат містить 67,2% заліза при вилученні – 72,1%.

Відомі дослідження [3] з підвищення масової частки заліза у концентраті, де одним із завдань було впровадження операції тонкого грохочення в технологію переробки мінеральної сировини

були проведені на рудозбагачувальній фабриці №2 гірничо-збагачувального комплексу ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», але за результатами було запропоновано два варіанти технологічних схем: 1 – з тонким грохоченням у відкритому циклі; 2 – с тонким грохоченням у замкнутому циклі.

По першій схемі (рис. 3) концентрат надходить на тонке грохочення, над решітний продукт до збагачується у окремому циклі.

Дана схема дозволяє отримувати концентрат з вмістом заліза 68,0% при виході 27,71%.

На рис. 4 наведено фрагмент другого варіанту схеми, де замість гідроциклонів в третій стадії подрібнення встановлені грохоти Derrick типу 2SG48-60R/W-5STK.

а обома варіантами схем при повному впровадженні тонкого грохочення можливо отримувати високоякісні концентрати.

Схожі дослідження [7] були виконані на тому ж ГЗК «АрселорМіттал Кривий Ріг», але їх метою було визначення можливості дозбагачення концентратів з використанням операції тонкого грохочення.

При детальному вивченні концентратів та за результатами кількісних мінералогічних підрахунків зроблений висновок про можливість підвищення якості концентрату шляхом відділення від нього найбільш крупнозернистого матеріалу.

Аналіз результатів досліджень показав, що концентрат необхідної якості для обох збагачувальних фабрик можливо отримати виділенням фракції з розміром частинок – 0,05 мм з використанням тонкого грохочення.

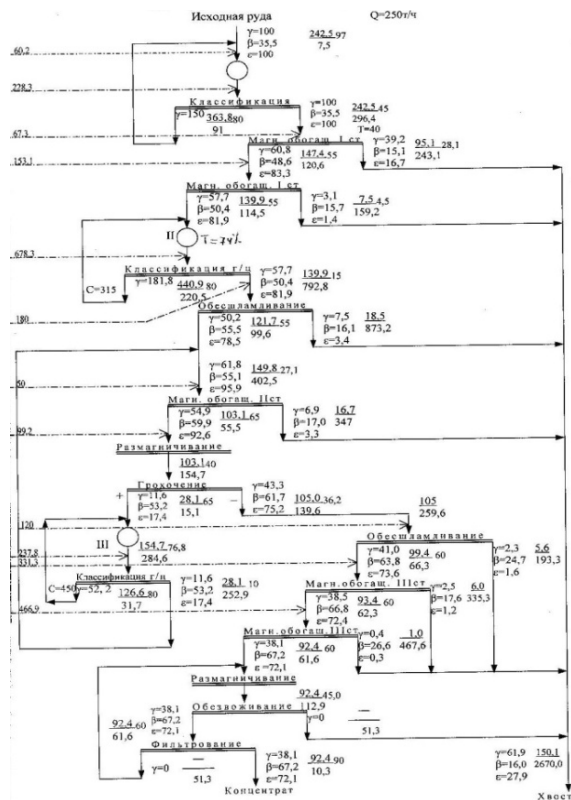


Рис. 3. Технологічна схема збагачення магнітного продукту третьої стадії магнітної сепарації на секції №10 з використанням тонкого грохочення у відкритому циклі

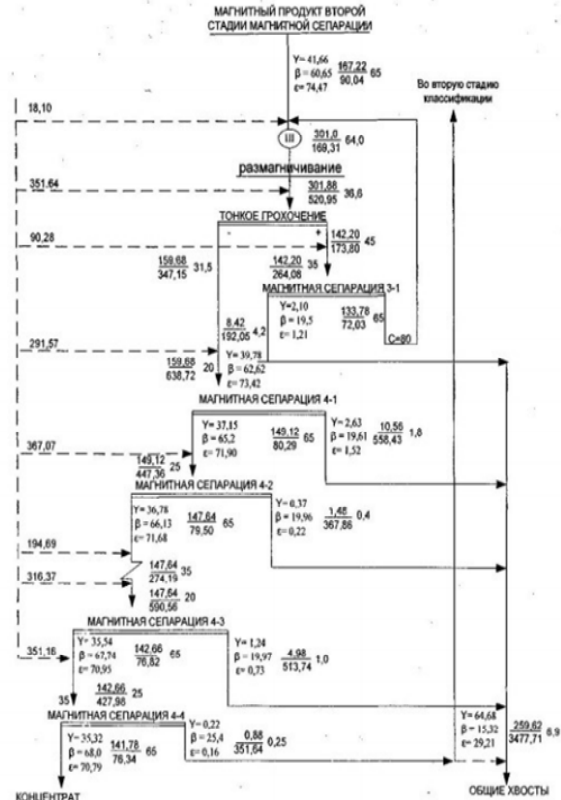


Рис. 4. Технологічна схема збагачення магнітного продукту другої стадії на секції №10 з використанням тонкого грохочення в замкнутому циклі подрібнення

При цьому, для першої фабрики вміст корисного компоненту у концентраті складає 68,0% при його виході 90,3%, а для другої фабрики ГЗК – 68,1 % та 86,8 % відповідно (рис. 5).

Загальний вміст заліза в матеріалі крупністю +0,05 мм концентрату РЗФ-1 складає 40,2 мас.%, для концентрату РЗФ-2 – 43,2 мас.%. В роботі пропонуються такі варіанти використання надрешітного продукту.

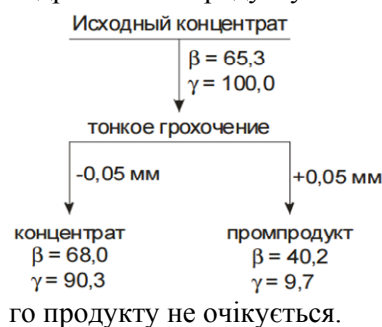


Рис. 5. Технологічна схема підвищення якості концентрату РЗФ-1 з використанням тонкого грохочення

Скидання його з хвостами збагачення. Внаслідок цього, буде збільшено вміст заліза у хвостах до 16-16,5 мас.%. Також буде знижено обсяг виробництва концентрату на 10% у порівнянні з теперішнім.

Повернення крупнозернистого надрешітного продукту в технологічні процеси збагачувальної фабрики. Це дозволить до подрібнити матеріал, але суттєвого збільшення якості кінцевого продукту не очікується.

Доподрібнення цього продукту в індивідуальному режимі з наступним його збагаченням магнітними або гравітаційними методами. Саме цей варіант є найбільш раціональним, оскільки він забезпечує мінімальні втрати продуктивності фабрики по концентрату.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Операція тонкого грохочення на гірничо-збагачувальних фабриках використовується для підвищення якості концентрату та зниження в ньому вмісту кремнезему. При видаленні частинок крупніше 75 мкм з кінцевого залізородного концентрату саме з використанням тонкого грохочення можливо зменшити вміст кремнезему на 1,0-1,5%. Важливо також відзначити, що витрати на цей процес нижче ніж на тонке подрібнення або флотацію.

Список літератури

1. <http://промкаталог.pf/PublicDocuments/1105388.pdf>
2. <http://library.stroit.ru/articles/tgrohot/>

3. **Ширяев А.А.** Применение тонкого грохочения для повышения качества железорудного концентрата на обогатительной фабрике горно-обогатительного комплекса «АрселорМиттал Кривой Рог» / **А.А. Ширяев, Е.Н. Нескоромный, А.И. Мироненко, С.А. Самохина, С.С. Старых**// Вісник КНУ. – Кривий Рог, 2013.
4. <http://ea.donntu.org:8080/bitstream/123456789/31306/1/Букин1.pdf>
5. **Пелевин А.Е.** Научные основы процесса тонкого гидравлического вибрационного грохочения и разработка новых систем обогащения магнетитовых руд: дис. доктора техн. наук :25.00.13 / **Пелевин А. Е.**, Екатеринбург, 2011. – 398 с.
6. **Булах О.В.** Тонке грохочення як перспективний метод підвищення ефективності збагачення магнетитових кварцитів / **О.В. Булах, І.В. Хміль, О.О. Булах** // Гірничий вісник. - № 100 – Кривий Ріг: КНУ, 2015. – С. 102 – 105.
7. **Евтехов В.Д.** Минералогическое обоснование возможности повышения качества магнетитового концентрата действующих горнообогатительных комбинатов Криворожского бассейна. 1. Дообогащение концентрата методом тонкого грохочения / **В.Д. Евтехов, В.В. Филенко, Е.В. Евтехов, Л.Н. Ковальчук, Л.Т. Дударь** // Геолого-мінералогічний вісник. - № 2(16) - Кривий Ріг: КНУ, 2016. – С. 41 – 51.
8. **Вепнер м.л.** Опыт применения вибрационных грохотов корпорации «DERRIK» при обогащении железных руд / **Вепнер м.л., Н. Трапе, В.Ю. Лелис**// – Горный журнал, 2002г., №3. с.- 60-64.
9. <http://www.mining-media.ru/ru/article/gorobor/1655-osvoenie-vysokochastotnogo-grokhota-korporatsii-derrick-na-oao-ssgpo>.
10. <http://library.stroit.ru/articles/tgrohot>.

Рукопис подано до редакції 24.02.17

УДК 519.6:378

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., П.В. БУРНАСОВ, ст. викладач,
Т.П. БУРНАСОВА, студентка, Криворізький національний університет

ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ФОРМУВАННЯ НЕЖОРСТКИХ ВИМОГ ДО РОЗКЛАДУ ЗАНЯТЬ В УНІВЕРСИТЕТІ З БОКУ ВИКЛАДАЧІВ

Мета. Метою цієї роботи є формування принципів автоматичного формування нежорстких вимог до розкладу з боку викладачів у випадку їх відсутності, на основі аналізу розкладів попередніх періодів. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи.

Методи дослідження. Для вирішення цього завдання проведено аналіз теоретичних й експериментальних робіт та використані метод найближчого сусіда для визначення прецедентів з інтегрованої бази розкладів та загальна теорія розкладів для розробки математичних моделей формування розкладу занять.

Наукова новизна. Розроблено принципи автоматичного формування нежорстких вимог до розкладу з боку викладачів на основі аналізу розкладів занять попередніх періодів з використанням модифікованого методу найближчого сусіда для визначення прецедентів з інтегрованої бази розкладів, що дозволить зменшити кількість операцій введення нежорстких обмежень.

Практична значимість. У випадку відсутності сформульованих побажань викладачів до розкладу занять виконується аналіз розкладів за попередні роки з якого визначаються критерії якості розкладу з точки зору викладача, виходячи з припущення, що якщо розклади попередніх періодів задовольняли викладача, то і новий розклад складений за тими самими критеріями також буде задовільним. Таким чином, у підсумку база даних нежорстких вимог з боку викладачів може бути вичерпною, що дозволить задіяти автоматичний режим формування розкладу занять.

Результати. До складу узагальненого критерію врахування інтересів викладачів входять наступні частинні критерії: число "вікон" у розкладі викладачів, виконання обмеження на максимальне число зайнятих днів у тиждень для викладачів, виконання обмеження на мінімальне число занять у довільний день тижня для викладачів, особисті побажання викладачів. Узагальнений критерій оптимальності розкладу викладачів враховує ступінь оптимальності індивідуального розкладу кожного викладача. Для кількісного порівняння та ранжування часткових критеріїв оптимальності вводиться числовий еквівалент ступеня важливості кожного часткового критерію оптимальності. Пошук рішення на основі прецедентів в базі даних попередніх розкладів полягає у визначенні ступеня подібності поточної ситуації з прецедентами, які мали місце раніше, а потім у виконанні спроби розв'язати сформовану проблемну ситуацію, використовуючи прецедент, що має найбільшу ступінь схожості з поточною ситуацією. Безумовного введення будуть потребувати тільки ті обмеження, що стосуються нових дисциплін, або потребують змінення на нові значення. Обмеження введені для поточного розкладу мають пріоритет перед сформованими автоматично.

Ключові слова: розклад занять, метод найближчого сусіда, база прецедентів, автоматичний розклад, якість розкладу, алгоритм розкладу.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Серед характеристик, що можна вимірювати і контролювати, які визначають якість керування освітнім процесом, істотно положення займають показники якості управління ресурсами. Стосовно завантаження аудиторного фонду критерії якості мають об'єктивний характер і досить просто визначаються у