

знижується вміст лугів ($K_2O + Na_2O$), які в основному входять до складу силікатів, що дозволяє використовувати окатиші для подальшої металізації.

Аналіз структурних технологічних схем збагачення тонковкраплених магнетитових руд показує, що найбільш ефективним методом підвищення якості залізних концентратів є «зворотна» катіонна флотація, з вилученням породотворюючих мінералів у пінний продукт.

Отже, для підвищення якості магнетитових концентратів ПАТ «ПівніГЗК» доцільно розробити технологію доводки з використанням колонної катіонної флотації. Це дозволить підвищити вміст цінного компоненту до 70,5%. Для цього необхідно детально вивчити речовинний та гранулометричний склад сировини, її фізико-механічні властивості, які будуть суттєво впливати на процес збагачення.

Список літератури

1. Орлова В.П., Веригина М.И., Голівкина Н.И. - Железородная база России/под ред. М.: ЗАО «Геоинформ-марк», 1998. - 842 с. - ISBN 5 -900357-07-4.
2. Кармазин В.В., Кармазин В.И. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых. - М.: Изд-во МГТУ. 2005. - Т. 1.
3. Кармазин В.И., Кабишер С.Г. и др. Получение предельно-богатых концентратов//Горнорудная промышленность,- 1962.- № 3.
4. Кармазин В.И., Остапенко П.Е. Опыт получения концентратов высокой чистоты из бедных железных руд//Горный журнал.- 1961.- № 5.
5. Кретов СИ. Основные закономерности сухой центробежной магнитной сепарации железистых кварцитов // Горный журнал. - 2006. - №7.
6. Зайцев Г.В. Современные направления развития техники и технологии производства высококачественного железорудного концентрата с высокими технико-экономическими показателями / Зайцев Г.В.// Ежемесячник «Стройка». – 13.03.06
7. Алейников Н.А. Получение высококачественных магнетитовых концентратов в магнитных полях малой напряженности//Обогащение руд и проблема безотходной технологии. – Л.: Наука. – 1980. – С.73-75.
8. Стаханов В.В., Зайцев Г.В. Перспективы применения тонкого грохочения в технологии обогащения железорудного сырья. Отчет НИИ «Уралмеханобр», Екатеринбург, 2000 г.
9. Остапенко П.Е. Обогащение железных руд. – М.: Недра, 1977. – 274 с.
10. Белаш Ф.Н. Пути освоения флотации железных окислов в Криворожском бассейне. // «Изв. Вузов, Горный журнал».- 1960.- № 3.
11. Глембоцкий ВА, Бехтле Г.А. Флотация железных руд. - М.: Недра, 1964. -223с.
12. Белаш Ф.Н. и Андреева А.И. Влияние окислителей и кислорода воздуха на флотацию гематита и магнетита // Горный журнал.- 1961№6.
13. Богданов О.С., Максимов И.И., Поднек А.К., Янис. Теория и технология флотации руд. -М.:_Недра. - 1990.
14. Гристан Е.Л., Турецкий Я.М. Получение высокосортных железных концентратов методом флотации // Бюллетень ЦИИИ ЧМ.- 1961.-№10.
15. Губин Г.В., Олейник Т.А., Татарин Ф.Г., Оснюк О.Н. Флотация гематита с помощью «носителей»//Вісник КТУ, 2009.

Рукопис подано до редакції 25.03.14

УДК 622.74.913.3

О.В. БУЛАХ, канд. техн. наук, доц., І.В. ХМІЛЬ, аспірант, О.Л. КОСТЮЧИК, магістрант
Криворізький національний університет

ВИРОБНИЦТВО ЗАЛІЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТУ В УМОВАХ РЗФ-1 ПАТ «ПівніГЗК» З ВПРОВАДЖЕННЯМ У ТЕХНОЛОГІЮ ЗБАГАЧЕННЯ ОПЕРАЦІЇ ТОНКОГО ГРОХОЧЕННЯ

Розглянуто розвиток процесу тонкого грохочення в Україні та країнах СНД, проведено дослідження на можливість впровадження у технологічну схему збагачення грохотів тонкого грохочення в умовах РЗФ-1 ПАТ «ПівніГЗК».

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Для промисловості чорної металургії України, Росії та інших країн світу характерно постійне збільшення обсягів видобутку і збагачення магнетитових руд. При цьому з одного боку, масова частка заліза у видобуваємих рудах постійно знижується, а з іншого боку - підвищуються вимоги до якості залізних концентратів.

Зменшення масової частки заліза у видобутій руді пов'язано із залученням у переробку більшої частини магнетитових руд з дисперсною і вельми тонкою рудною вкрапленістю. Для компенсації погіршення якості руди на фабриках ускладнюються технологічні схеми подрібнення і збагачення. В основному це пов'язано зі збільшенням тонини помелу готових продуктів, що призводить до зростання витрат на подрібнення, частка яких досягає 30 % (аналіз собівартості РЗФ-1 ПАТ «ПВНГЗК» за 2011р) від загальних витрат переділу збагачення.

Аналіз досліджень і публікацій. Підвищенням якості магнетитових концентратів займалися протягом багатьох років, як у країнах СНД, так і за кордоном [1].

Основними напрямками в розроблених схемах є:

зниження крупності подрібнення, тобто розкриття зростків, з подальшим магнітним збагаченням подрібненого продукту;

флотація рядових концентратів;

застосування тонкого грохочення;

використання операції знешламливання.

У даний час усі розробки з підвищення якості рядового концентрату впроваджені в промислових умовах.

Дослідженню процесу тонкого грохочення було присвячено багато робіт галузевих інститутів чорної та кольорової металургії в період 1970-1980 рр. Були проведені промислові дослідження грохотів фірми «Раніфайн» (США) та грохоти, розроблені інститутом Механобр, на Лебединському й Полтавському ГЗК. Дослідження показали, що обидва грохоти схильні до забивання та заростання робочих зазорів важкими зернами.

Дослідженням процесу тонкого грохочення також займалися зокрема Маліновський В.А. та Кушпаренко Ю.С. Ними був запропонований метод збагачення тонких класів олов'яних руд (каситериту). Недоговоровим Д.І., Лопатином А.Г. та Дешицом В.С. була запропонована конструкція модернізованого грохоту для грохочення дрібних класів в водному середовищі. С.В. Мамоновим [2] було розглянуто тонке гідравлічне грохочення як фактор підвищення ефективності операцій рудопідготовки та збагачення мідно-цинкових руд.

В.К. Багазеев, Н.Г. Валиев, И.С. Бойков провели досліді динаміки процесу гідравлічного грохочення на плоских грохотах при розробці розсипних родовищ. Також великий вклад в вивчення процесів тонкого грохочення зробив російський вчений А.Е. Пелевин [3].

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

Вони являють собою грохоти мокрого розсіву, з так званою «багатократною подачею матеріалу». Кожний грохот має від трьох до п'яти незалежних просіювальних поверхонь, які виконані зі спеціально розроблених поліуретанових або металічних сіток.

Вже є позитивний досвід від застосування операції тонкого грохочення на ряді підприємств: ВАТ «Карельський окатиш», ВАТ «Соколово-Сарбайське ГВО», ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ВАТ «Олкон» та інших. Досвід показує, що інвестиційні та експлуатаційні витрати при тонкому грохоченні значно нижчі, ніж при досягненні тих же технологічних параметрів подальшого подрібнення або пінної флотації.

Грохоти Derrik також впроваджені і протягом декількох років ефективно працюють у циклі бадделентового виробництва ООО «Ковдорський ГЗК», де встановлено 32 грохоти. Зауважень по експлуатації грохотів практично немає. Випадків засмічування сітки не було.

Постановка завдання. Метою даних досліджень є вдосконалення технологічної схеми для збагачення руд Першотравневого та Ганнівського кар'єрів в умовах РЗФ-1 ПАТ «ПВНГЗК», застосування якої дозволить зменшити собівартість збагачення і збільшити вміст Фезаг. в залізрудному концентраті.

Викладення матеріалу та результати. У процесі досліджень були розроблені двух- та трьохстадійні схеми. На першій стадії класифікації використовували ефект «скальпуючого режиму», що передбачає більш тонкий помел, магнітне збагачення пісків гідроциклону, подвійну класифікацію першої стадії подрібнення, збільшення числа прийомів збагачення, зниження крупності дроблення вихідної руди до +16 -0 мм, зниження крупності молотих куль і т.д.

По розробленим технологічним схемам були отримані концентрати з вмістом заліза більше 66% у порівнянні з базовою.

У цей же час практика показала, що «скальпуючий» режим має ряд недоліків: складність підтримки щільних зливів класифікатора, коливання в циркуляції пісків гідроциклону. Це призводить до нестійкої роботи насосів, а при розбавленні пульпи – до розшарування крупнозернистого матеріалу у зумпфі.

Вихідна проба скомпонована з руд Першотравневого (70%) та Ганнівського (30%) родовищ. Масова частка Fe_{заг} в руді - 35,5%, Fe_{магн} - 26,5%, при вмісті SiO₂ - 41,3%, Al₂O₃ - 0,87 і п.п.п. -2,67% (табл. 1). Масова частка інших компонентів не перевищує 6%.

Кількісний мінеральний склад, згідно перерахунку хімічного, фазового хімічного аналізів і петрографічних досліджень, наведений в табл.2.

За результатами рудорозробки руда представлена, в основному, залізистими різновидами, на частку яких припадає до 85% (табл. 3). Кількість малорудних та безрудних різновидів в пробі до 6%.

Основним рудним мінералом є магнетит, другорядним – гематит, у тому числі мартит і гідроксиди заліза.

Нерудні мінерали представлені кварцом і, у меншій кількості, силікатами й карбонатами.

Магнетит розповсюджений у вигляді індиморфних і неправильної форми зростків, які складають основну частину рудних шарів. Зростки представлені розміром від 0,02 до 0,2 мм. Переважаючий тип агрегацій зростково-гілчастий, рідше зростково-стрічковий. Розмір зерна в цих агрегаціях - менше 0,1 мм.

Характер зростання магнетиту з нерудними мінералами відносно простий. Нерудні зерна, особливо силікати, нерідко містять тонку вкрапленість магнетиту.

Вміст гематиту в пробі вихідної руди становить 5,6%. Представлений він, в основному, мартитом, що розвивається по магнетиту.

Первинний гематит у вигляді таблитчастих зерен розміром 8-16 мкм та їх агрегатів (до 30 - 50 мкм) відзначається в невеликій кількості. Він сконцентрований в окремих шарах, де нерідко зростається з такими ж дрібнозернистим кварцом.

Гідроксиди заліза в кількості 2,5% найчастіше спостерігаються на контакті рудних і нерудних шарів, де розвиваються за рахунок окиснення залізистих карбонатів і силікатів, наслідуючи їх форму. Частина гідроксидів заліза заміщує магнетит, тобто знаходиться з ним в зростанні.

Кварц - основний нерудний мінерал (38,6%) утворює самостійні або з силікатами нерудні шари з розміром зерен 0,015-0,080 мм. Частина зерен, особливо на контакті з рудними шарами, містить включення магнетиту розміром менше 15-20 мкм. Силікати (12,4%) представлені лужним амфіболом, рідше біотитом та куммингтонітом. Їх морфологічні і гранулометричні характеристики є звичайними для руд ПАТ «ПівніГЗК». Карбонати (4,1%) - представлені магнезійно залізистими різностанями.

Розкриття рудних і нерудних мінералів оцінювались як у поточних продуктах збагачення (піски гідроциклону, піски конуса, магнітні продукти та ін.), так і в кінцевих концентратах, отриманих при різній кількості подрібнення.

Згідно проведених досліджень інтенсивне розкриття рудних зерен виникає вже в крупності мінус 0,07 мм. Так в проміжних продуктах збагачення у класі 0,071 - 0,044 мм кількість вільних зерен становить 50-65 %. У цих продуктах відмічено до 8-15 % зростків, а також близько 10% бідних зростків. Основна частина бідних зростків у продуктах збагачення припадає на класи крупніше 0,07 мм. У тонких класах (мінус 0,044 мм) практично в усіх проміжних продуктах збагачення вміст розкритих рудних зерен збільшується до 85-95 %, кількість зростків знижується у 3-4 рази.

Отже, для отримання концентрату з масовою часткою заліза більше 67% потрібне розкриття рудних зерен в крупності менше 0,044 мм.

Під час виконання роботи були виконані випробування руди в два етапи. На першому етапі використовували безперервно діючу установку продуктивністю 100 кг/год. Основна мета даних досліджень - визначення можливості отримання концентрату з вмістом заліза більше 67% по двостадійній схемі з використанням операції тонкого грохочення.

Розроблено й випробувано вісім технологічних схем. У шести з них використовували магнітне збагачення, дешламацію і тонке грохочення. У двох включені операції гравітаційного збагачення.

За всіма варіантами отримано концентрат з вмістом заліза більше 68 %.

Таблиця 1

Хімічний склад вихідної руди ПАТ «ПівніГЗК»											
Масова частка компонентів, %											
Fe _{заг}	Fe _{заг} ⁺²	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe _{магн}	Fe _{карб+}	Fe _{сил+гем}	Al ₂ O ₃	SiO ₂	ппп	CO ₂	Сума
35,5	11,2	14,4	34,8	26,5	2,4	7,2	0,87	41,3	2,67	1,77	94,04

Таблиця 2

Мінеральний склад вихідної руди ПАТ «ПівніГЗК»															
Масова частка мінералів (М) і пов'язаного з ним заліза (Fe), %															
магнетит		гематит, в т.ч. мартит		гідроксид заліза		карбонати		силікати		кварц		інші		сума	
М	Fe	М	Fe	М	Fe	М	Fe	М	Fe	М	Fe	М	Fe	М	Fe
36,6	26,5	5,6	3,9	2,5	1,5	4,1	1,6	12,4	2,0	38,6	-	0,2	-	100	35,5

Таблиця 3

Результати рудорозробки проби руди ПАТ «ПівніГЗК»					
Мінеральні різновиди		Вміст, %			
		Кількість	Fe	Fe магн.	FeO
Сірополошаті	Силікат-магнетитові	75,4	37,6-39,2	26,6-29,1	14,9-16,3
	Магнетитові	6,2	32,7-35,4	22,1-25,6	16,7-19,4
Червонополошаті силікат-магнетитові з гематитом		3,8	36,8-37,9	29,6-31,8	12,8-13,9
Гематит-магнетитові		7,6	39,8-41,6	26,6-27,8	11,9-12,7
Брекчії		2,9	24,3-28,7	17,2-22,6	11,4-15,8
Малорудні кварцити		2,6	19,2-22,3	11,2-13,2	10,8-11,9
Безрудні кварцити		1,0	10,2-14,1	6,6-8,5	4,4-8,2
Сланці		0,5	27,4-30,2	17,6-19,4	16,3-18,3

На другому етапі була задіяна «однотонна» установка.

Випробували п'ять варіантів схем.

У трьох варіантах після першої стадії магнітного збагачення передбачена операція тонкого грохочення по класу 0,063 мм або 0,1 мм.

Відзначено, що підрешітний продукт на $\approx 10\%$ багатший, ніж надрешітний, що цілком зрозуміло - у ньому зосереджена основна доля зростків (до 45%).

Надрешітний продукт в подальшому підлягав подрібненню і подальшому збагаченню.

За усіма трьома варіантами схем отримано концентрат з вмістом заліза вище 67%.

Але з компоновальних міркувань прийнято рішення відійти від використання грохочення після першої стадії магнітного збагачення.

У четвертому і п'ятому варіантах весь магнітний продукт подрібнювався у другій стадії подрібнення. Операція тонкого грохочення встановлена тільки на магнітному продукті другої стадії.

У четвертому варіанті надрешітний продукт доподрібнюється та збагачується по окремій технологічній гілці. Але для компоновання даної гілки потрібна додаткова площа.

Обраний до впровадження п'ятий варіант схеми відрізняється від діючої схеми ПАТ «ПівніГЗК» наступними основними елементами: операція класифікації в гідроциклоні передбачена після II і III стадій подрібнення (на діючій фабриці - перед подрібненням).

Це обґрунтовано тим, що на діючій фабриці в злив разом з тонкими рудними й нерудними зернами долучаються великі зростки, що потребують подрібнення.

У даному випадку діє ефект розділення частин по гідравлічній крупності. Так, на фабриці ПАТ «ПівніГЗК» у злив гідроциклона залучається до 12% зростків. При подальшому магнітному збагаченні дані зростки зосереджуються, в основному, в магнітному продукті. Основна їх частка доходить до кінцевого концентрату разубожуючи його.

Тому у виробленому ГЗКом концентраті міститься до 9% зростків, а також 7% нерудних мінералів;

рекомендовано магнітний продукт II стадії магнітного збагачення піддавати грохоченню по класу 0,063 мм. Це пов'язано з тим, що продукт містить до 65% розкритих рудних зерен, більша частка яких зосереджена у класі мінус 0,05 мм.

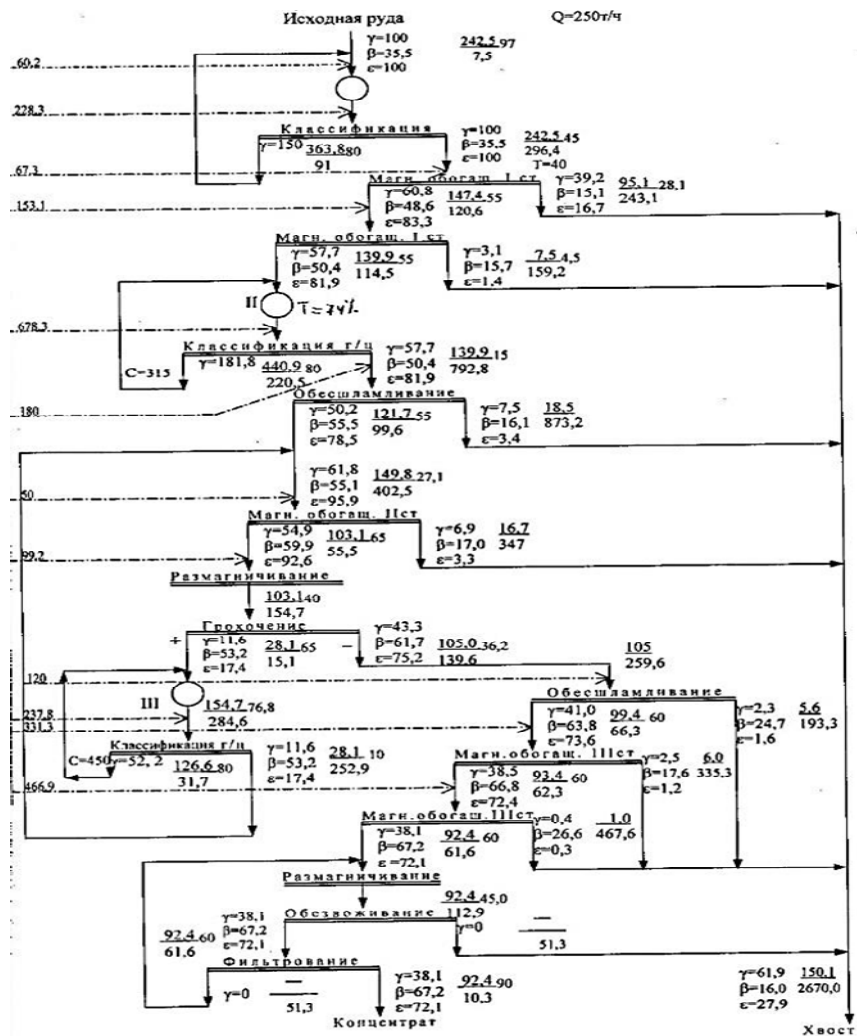


Рис. 1. Рекомендований варіант технологічної схеми

При класифікації в гідроциклоні (діюча схема) основна частина розкритих зерен залишається в пісках яка в подальшому доподрібнюється і відповідно ошламовується.

Це приводить до втрат рудних зерен при наступній дешламациі та магнітному збагаченні; на третю стадію подрібнення надходить надрешітний продукт грохота, що складається в основному зі зростків.

На діючій схемі на третю стадію подрібнення надходять піски гідроциклона, що містять розкриті рудні зерна;

перед грохоченням і фільтрацією передбачена операція розмагнічування, що дозволяє дефлокулювати продукти.

Це, по-перше, збільшує ефективність грохочення, по-друге, звільняє захоплені нерудні зерна із флокул, а також покращує процес фільтрування;

для подрібнення руди рекомендовані кулі діаметром 100, 40 і 30 мм, відповідно за стадіями подрібнення замість 120, 60, 60 мм. Зниження крупності молоткових тіл сприяє покращенню процесу подрібнення, тобто збільшенню виходу готового класу.

Усі перераховані заходи дозволяють отримувати концентрат із вмістом заліза вище 67%.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Для проектних робіт рекомендовано п'ятий варіант схеми (див. рис. 1), яка включає наступні операції: подрібнення дробленої до 25-0 мм вихідної руди, магнітне збагачення (I стадія) зливу класифікатора, подрібнення магнітного продукту, знешламлення зливу гідроциклона 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).

Надрешітний продукт подрібнюється, класифікується. Злив класифікатора повертається на магнітне збагачення у другу стадію.

За даною технологією концентрат містить 67,2% заліза, вилучення заліза - 72,1%.

Список літератури

1. Остапенко П.Е., Бердышева Т.Г. Повышение качества богатых магнетитовых концентратов за рубежом. Черметинформация. - М., 1983.
2. Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований цветной металлургии. Усовершенствование технологии тонкого грохочения и подготовки руд к обогащению. - Черметинформация., 1967г.
3. Коллектив авторов. - Известия вузов, Горный журнал, 2011. - №2.
4. **Ненарокомов Ю.Ф.** Анализ отечественного и зарубежного опыта работы обогатительных фабрик. Л. Механобр, 1987.
5. **П.К. Саворский, П.А. Гонтаренко, Л.А. Захарова** и др., Получение концентратов с содержанием кремнезема менее 1% из магнетитовых кварцитов., Горный журнал, 1984. - №11. – С 35-38.
6. Эксперименты по проведению тонкого грохочения кварцевого песка высокого качества на высокоскоростных грохотах фирмы «Derrick», Aufbereitungs Technik., Mineral Processing № 9, 2002.
7. **И.П. Богданова, Е.Н. Рукасова, В.С. Маргулис.** К вопросу повышения воспроизводимости технологических показателей при проектировании. Обогащение руд черных металлов, 1975.
8. Получение концентратов с содержанием кремнезема менее 1% из магнетитовых кварцитов. / **П.К. Саворский, П.А. Гонтаренко, Л.А. Захарова, Б.М. Малый** и др. В кн.: Особенности обогащения тонковкрапленных руд черных металлов. М., 1985. – С. 6-10.
9. **Журавлев С.И., Смачная Э.М.** Эффективность применения тонкого грохочения в схемах обогащения магнетитовых руд «Обогащение руд черных металлов». М., Недра.
10. Опыт применения вибрационных грохотов корпорации «DERRIK» при обогащении железных руд / **Вепнер м.л., Трапе Н., Лелис В.Ю.** – Горный журнал, 2002, №3. С.- 60-64.

Рукопис подано до редакції 25.03.14

УДК 622.775

К.В. НИКОЛАЄНКО, канд. техн. наук, доц., К.В. ЛЯХОВИЧ, магістр
Криворізький національний університет

ТЕХНОЛОГІЯ ЗБАГАЧЕННЯ ГЕМАТИТОВИХ КВАРЦИТІВ ПІДЗЕМНОГО ВИДОБУТКУ

Розглянуто питання збагачення гематитових кварцитів шахти ім. В. І. Леніна для отримання високоякісного концентрату шляхом гравітаційного збагачення.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Потреби чорної металургії в залізорудній сировині в Україні покриваються в теперішній час за рахунок багатих окислених залізних руд, які не потребують збагачення, і концентратів магнітного збагачення не окислених залізних кварцитів. У балансі запасів залізних руд одне з основних місць займають бідні окислені залізни руди. Тільки по Криворізькому басейну запаси окислених руд вимірюються мільярдами тонн.

Використання окислених кварцитів в якості сировини залізорудної промисловості пов'язане з вирішенням таких задач:

обґрунтування доцільної технології збагачення;

оцінка збагачуваності окислених залізних руд і можливістю їх збагачення по єдиній технологічній схемі;

виявлення основних факторів, що визначають технологічні властивості руд, і принципів прогнозування показників збагачення.

Технологія раціонального використання окислених залізних руд в теперішній час знаходиться в стадії розробки (1).

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідження показали, що окислені залізисті кварцити Кривбасу є високоякісною мінеральною сировиною. Як правило вони представляють собою механічну суміш рудних та нерудних компонентів. Окислені залізни руди, що містять гематит,