

Ваальса. У свою чергу, адсорбція молекул аміну, полярна група якого має постійний диполь, залежить від можливості прояву сил дипольної та дисперсійної взаємодії, утворення водневого зв'язку.

У лабораторних умовах була проведена серія випробувань, в результаті яких отримали позитивні результати: в гематитовому концентраті вдалося знизити масову частку фосфору в 2,87 рази з 0,343 до 0,12 %. Масова частка заліза загального в гематитовому концентраті склала 62,88 %, що на 2,4 % більш ніж у чорновому гематитовому концентраті.

Усереднені дані лабораторних досліджень з прямої катіонної флотації апатиту наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Результати прямої катіонної флотації апатиту

Найменування продукту	Вихід, %	Вміст Fe <sub>заг.</sub> , %	Вилучення Fe <sub>заг.</sub> , %	Вміст P, %	Вилучення P, %
Пінний продукт 1	10,13	52,47	8,79	1,2	35,45
Пінний продукт 2	17,72	55,27	16,19	0,76	39,29
Камерний	72,15	62,88	75,02	0,12	25,26
Вихідний гематитовий концентрат	100	60,48	100	0,343	100

**Висновки та напрямки наукових досліджень.** В результаті мінералогічного вивчення магнетитового та гематитового концентрату встановлено, що основний носій фосфору в концентратах - апатит, який знаходиться в тонких фракціях менше 20 мкм. Для його вилучення з магнетитових концентратів достатньо застосування в технології збагачення багатих магнетит-гематитових руд операції знешламлення, за допомогою якої можна видалити до 61 % фосфору. Встановлено, що для ефективного знефосфореження гематитових концентратів необхідно застосування прямої катіонної флотації апатиту, за допомогою якої з концентрату можливо видалити більше 74 % фосфору.

Отже, в результаті аналізу проведення досліджень та синтезу отриманих наукових результатів, була розроблена технологія видалення фосфору з магнетитових та гематитових концентратів, яка дозволяє знизити вміст фосфору в сумарному концентраті з 0,14 до 0,04 %. При подальшому вдосконаленні режиму флотаційного доведення гематитових концентратів планується зниження масової частки фосфору до 0,02 %.

#### Список літератури

1. **Плотников О.В.** Геологічні чинники економічної цінності промислових запасів залізородних родовищ в докембрійських залізно-кременистих формаціях українського щита: автореф. дис... д-ра геол. наук / **О.В. Плотников**; НАН України. Ін-т геохімії навколиш. середовища. - К., 2002. - 28 с.
2. Пат. № 2184158, Российская Федерация, МПК С22В1/11, С22В1/04, С22В3/06. Способ очистки железорудного концентрата от примесей фосфора / **Беликов В.В.; Огородов В.Б.; Ядрышников А.О.; Михайловина Н.А.; Чоп С.В.**; заявитель и патентообладатель Акционерное общество закрытого типа "Механобр инжиниринг". - 2001113696/02; заявл. 23.05.01; опубл. 27.06.02. - 5 с.  
Рукопис подано до редакції 21.03.12

УДК 622.7 622.341.1

А.В. БУЛАХ, канд. техн. наук, доц., О.А. КОРНИЕНКО, магистрант  
Криворожский национальный университет

## ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ОБОГАЩЕНИЯ ОКИСЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ КРИВБАССА

Объектом исследований являются окисленные железистые кварциты, попутно добываемые с магнетитовыми кварцитами на Валявкинском и Скелеватском месторождениях. Приведено обоснование принципиальной схемы переработки железорудного сырья с предварительной операцией обесшламливания дисперсных частиц. Установлены направления работ по повышению эффективности всего комплекса обогатительного передела.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Рациональное использование минерально-сырьевого потенциала недр Кривбасса определяется тем обстоятельством, что попутно добываемые с магнетитовыми окисленные железистые кварциты в настоящее время создают сложную экологическую обстановку для окружающей среды.

Необходимость скорейшего решения этой проблемы определяется тем, что окисленные железистые кварциты, содержащие гематит, мартит, гетит, гидрогетит и частично магнетит, являются одним из основных источников дальнейшего расширения сырьевой базы черной металлургии Украины. На

сегодняшний день больше половины потребности черной металлургии страны в железорудном сырье покрывается за счет концентратов, получаемых из бедных магнетитовых (18-40 % железа магнетита) кварцитов, технология переработки которых проста и хорошо освоена.

Дальнейшее расширение сырьевой базы железорудного сырья в значительной мере будет осуществляться за счет вовлечения в эксплуатацию (добычи и обогащение) окисленных железистых кварцитов как текущей добычи так и техногенных месторождений.

Количественное соотношение главных рудных минералов в рудах составляет: гематит, мартит 20-65 %, магнетит 1-12 %, гётит 3-20 %. Вкрапленность рудных зерен составляет от 0,001 до 0,1 мм. Промышленного использования на сегодняшний день этих руд как сырьевой базы для переработки отсутствует.

В результате такой эксплуатации месторождений не рационально используются богатства недр Кривбасса, непроизводительно засоряются большие площади плодородных земель, занятых под отвалы (до 20 тыс. га), пропадают средства, затраченные на добычу руды и укладку ее на склады техногенного месторождения, загрязняется окружающая среда из-за распыления руды. Кроме того, чтобы забрать руду со склада для ее последующего обогащения потребуются новые затраты на ее погрузку, транспортирование до фабрики и усреднение. Поэтому наиболее экономичной является схема, предусматривающая обогащение добываемых попутно окисленных кварцитов параллельно с магнетитовыми.

Кроме того с углублением действующих карьеров и шахт происходит удорожание добычи магнетитовых кварцитов и богатых руд. В связи с этим назрела необходимость широкого вовлечения в переработку попутно добываемых окисленных кварцитов.

**Анализ исследований и публикаций.** Первые исследования по разработке технологии обогащения окисленных железистых кварцитов и опытные работы в Украине относятся к началу 30-х годов XX века.

В зарубежной практике подготовка к обогащению бедных окисленных и смешанных железные руд (тонко-, средне- и крупнозернистых), а также богатых «землистых» руд применяют преимущественно самоизмельчение (мокрое и сухое), причем мельницы работают в замкнутом цикле с вибрационными грохотами. В результате обогащения исходных бедных окисленных и смешанных руд получают гематитовые концентраты с массовой долей железа 65-66 % и 5-6 % кремнезема. В ряде случаев достигается достаточно высокое извлечение железа в концентраты (76-86 %) [1].

В Украине разработан проект, но строительство из-за финансовых трудностей страны Криворожского горно-обогатительного комбината окисленных руд производительностью 30,0 млн т/год, приостановлено. В качестве основного технологического оборудования, предусмотренного при обогащении окисленных железистых кварцитов Кривбасса, принят сепаратор 6ЭРМ 35/315. Промышленная проверка сепаратора проведена на ЦГОКе, где несколько лет эксплуатировался данный сепаратор [2,3].

По результатам испытаний извлечение гематита в концентрат составляет в пределах 75 %, а гидроксидов железа - 44 %, эффективность обогащения класса минус 0,01 мм на сепараторе 6ЭРМ 35-315 не превышает 5 % [4].

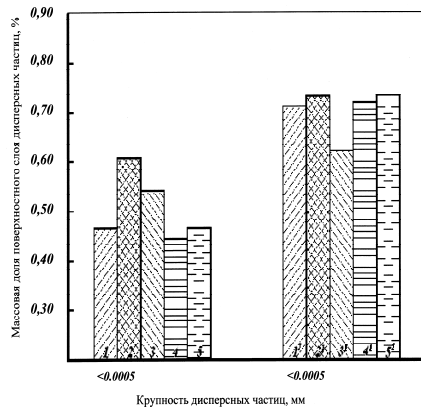
Проектной схемой переработки окисленных железных руд на КГОКОР предусмотрено получение магнитного концентрата с массовой долей железа 61 % при извлечении 70 % [5]. Такое качество железорудного концентрата не удовлетворяет требованиям современного металлургического производства. Все это предопределяет целесообразности разработки новой, более эффективной технологии и техники переработки окисленных железных руд на сепараторах отечественной конструкции.

Испытан был также процесс мокрой магнитной сепарации в сильном поле для тонковкрапленных таконитов штатов Миннесота и Мичиган (США), очень близких по составу окисленным кварцитах Кривбасса. Эти руды требуют для раскрытия рудных минералов очень тонкого измельчения, а как правило, содержат землистый гематит и гетит. При их измельчении обычно образуется большое количество шламов, ухудшающих показатели обогащения. Гематит в рудах часто содержит на поверхности следы магнетита, но гетит (более слабомагнитный материал, чем гематит), как правило, свободен от ферромагнитных минералов. Поэтому селективность процесса магнитной сепарации нарушается, что снижает качество концентрата и извлечение железа в концентрат. Это положение подтверждается проектной технологической схемой КГОКОР.

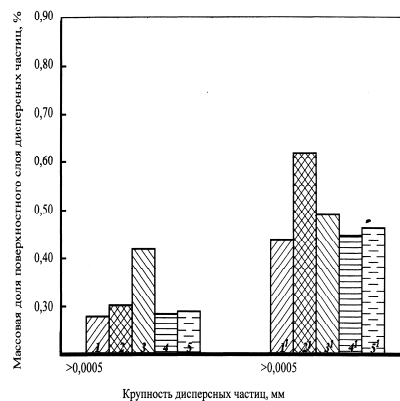
**Постановка задачи.** На основании изложенного, авторами выполнены исследования по магнитному обогащению окисленных железистых кварцитов Кривбасса с предварительным обесшламливанием измельченного материала и получением концентрата, отвечающего требованиям европейского качества.

**Изложение материала и результаты исследований.** Исследования по магнитному обогащению в сильном поле окисленных железистых кварцитов Кривбасса показали перспективность этой технологии.

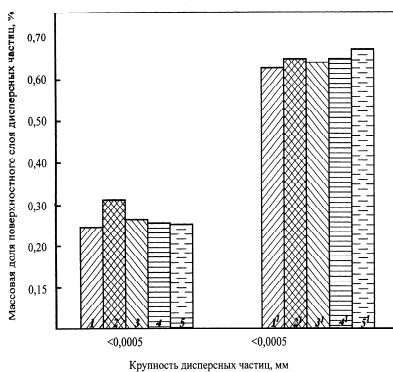
Но в тоже время при детальном изучении магнитных свойств измельченных рудных минеральных зерен установлено их изменчивость за счет закрепления на поверхностях зерен мартита, гематита дисперсных частиц породообразующих минералов. Крупность поверхностного слоя, закрепившихся на рудных и нерудных зернах составляет до 1 мкм, рис. 1-4.



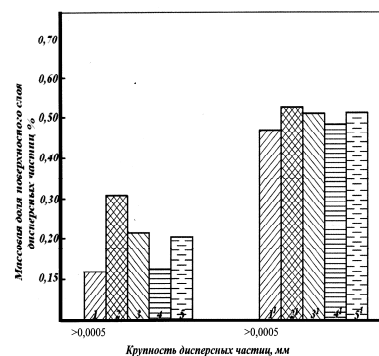
**Рис. 1.** Гистограммы закрепления дисперсных частиц на нерудных зернах исходной руды (1,2,3,4,5) и продуктах магнитного обогащения (1<sup>1</sup>,2<sup>1</sup>,3<sup>1</sup>,4<sup>1</sup>,5<sup>1</sup>) при крупности измельчения руды 70% класса -0,074 мм 1,1<sup>1</sup> – 4 ж.г.; 2,2<sup>1</sup> – 5 ж.г.; 3,3<sup>1</sup> – 6 ж.г. Скелеватского месторождения; 4,4<sup>1</sup> – 4 ж.г.; 5,5<sup>1</sup> – 6 ж.г. Валявкисского месторождения



**Рис. 2.** Гистограммы закрепления дисперсных частиц на нерудных зернах исходной руды (1,2,3,4,5) и продуктах магнитного обогащения (1<sup>1</sup>,2<sup>1</sup>,3<sup>1</sup>,4<sup>1</sup>,5<sup>1</sup>) при крупности измельчения руды 70% класса -0,074 мм различных минеральных разновидностей Кривбасса 1,1<sup>1</sup> – 4 ж.г.; 2,2<sup>1</sup> – 5 ж.г.; 3,3<sup>1</sup> – 6 ж.г. Скелеватского месторождения; 4,4<sup>1</sup> – 4 ж.г.; 5,5<sup>1</sup> – 6 ж.г. Валявкисского месторождения



**Рис. 3.** Гистограммы закрепления дисперсных частиц на рудных зернах исходной руды (1,2,3,4,5) и продуктах магнитного обогащения (1<sup>1</sup>,2<sup>1</sup>,3<sup>1</sup>,4<sup>1</sup>,5<sup>1</sup>) при крупности измельчения руды 70% класса -0,074 мм 1,1<sup>1</sup> – 4 ж.г.; 2,2<sup>1</sup> – 5 ж.г.; 3,3<sup>1</sup> – 6 ж.г. Скелеватского месторождения; 4,4<sup>1</sup> – 4 ж.г.; 5,5<sup>1</sup> – 6 ж.г. Валявкисского месторождения



**Рис. 4.** Гистограммы закрепления дисперсных частиц на рудных зернах исходной руды (1,2,3,4,5) и продуктах магнитного обогащения (1<sup>1</sup>,2<sup>1</sup>,3<sup>1</sup>,4<sup>1</sup>,5<sup>1</sup>) при крупности измельчения руды 70% класса -0,074 мм 1,1<sup>1</sup> – 4 ж.г.; 2,2<sup>1</sup> – 5 ж.г.; 3,3<sup>1</sup> – 6 ж.г. Скелеватского месторождения; 4,4<sup>1</sup> – 4 ж.г.; 5,5<sup>1</sup> – 6 ж.г. Валявкисского месторождения

Обесшламливание измельченной руды перед обогащением, как показали технологические исследования, значительно (до 5-8 %) повышает качество магнитного продукта и снижает потери общего железа в немагнитном продукте. Следствием процесса обесшламливания измельченной руды явилось повышение магнитной восприимчивости для рудных зерен и снижение ее для нерудных зерен.

Как показали исследования, при одной крупности измельчения, степени раскрытия рудных и нерудных зерен показатели магнитного разделения значительно выше. Наибольший эффект операции дешламации измельченной руды наблюдается при тонком измельчении.

Применение рекомендуемого способа позволяет уменьшить засоренность продуктов обогащения и повысить эффективность всего комплекса обогатительного передела с 44,8 до 47,9 %, табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные показатели магнитной сепарации окисленных железистых кварцитов Кривбасса

Вариант обогащения	Массовая доля железа в исх. руде, %	Показатели обогащения, %					Эффективность обогащения, %	
		концентрат			хвосты			
		выход	массовая доля железа	извлечение	выход	массовая доля железа		
Базовый вариант	36,0	41,3	61,0	70,0	58,7	18,4	30,0	44,8
С обесшламливанием	36,0	39,2	64,1	70,0	60,7	17,8	30,0	47,9

По результатам исследований обогащения окисленных железистых кварцитов Кривбасса рекомендована технологическая схема магнитной сепарации с предварительным обесшламливанием, рис. 5.

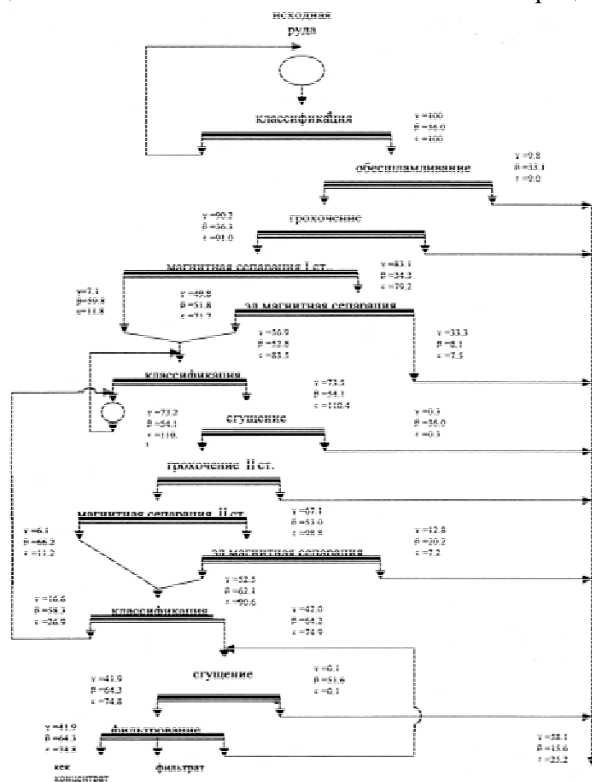


Рис. 5. Рекомендуемая схема переработки окисленных железистых кварцитов Кривбасса

Данная технологическая схема обеспечит получение железорудного концентрата с массовой долей железа свыше 64 %.

Рекомендуемая схема обеспечит решение вопроса сбыта железорудного концентрата и окатышей на внутреннем и внешнем рынках.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Выполненные исследования позволили установить процесс снижения контрастности рудных и нерудных минеральных зерен в процессе измельчения окисленных железистых кварцитов за счет покрытия поверхностного слоя дисперсными частицами соответственно нерудных и рудных минералов. Полученные результаты позволили разработать новые технические решения переработки железорудного сырья с получением концентрата с массовой долей железа свыше 64 % при высокой эффективности обогатительного передела.

*Список литературы*

1. Остапенко П.Е. Обогащение железных руд / М.: Недра, 1977. – 274 с.
2. Пирогов Б.И. Геолого-минералогические факторы, определяющие обогатимость железистых кварцитов. М.: Недра, 1969. – 210 с.
3. Кармазин В.И., Мостепан Л.Ф., Левченко К.А. О повышении эффективности высокоградиентного обогащения илистых фракций окисленных железистых кварцитов ЦГОКа при использовании сетчатой матрицы с вертикальным намагничиванием // Современное состояние и перспективы развития техники и технологии магнитного обогащения руд и материалов – Кривой Рог, 1994. – С. 29-30.
4. Гвоздик В.С. Экспериментальное наблюдение при механическом воздействии на гематит и кварц // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ, 2002. – С. 86-89.
5. Малый В.М., Ганзенко Т.Б., Титлянов Е.А. Разработка технологии обогащения окисленных железных руд // Обогащение слабомагнитных руд черных металлов. – М.: Недра, 1984. – С. 12-16.

Рукопись поступила в редакцию 26.02.12