

Р.Т. Артюшов, помощник директора
ЧМП НПФ «Продэкология», В.В. Нитяговский,
заместитель директора ЧМП НПФ «Продэкология»
по научной работе, Е.В. Евтехов, доцент
Криворожского технического университета,
А.А. Лозин, директор ЧМП НПФ «Продэкология»,
В.Д. Евтехов, профессор Криворожского
технического университета

КОМПЛЕКС ДЛЯ СУХОГО МАГНИТНОГО ОБОГАЩЕНИЯ ГЕМАТИТОВЫХ КВАРЦИТОВ

Представлені результати вивчення мінерального складу багатих і бідних гематитових руд родовищ Криворізького басейну. Розглянуті відомі технології збагачення гематитових кварцитів і відходів збагачення гематитових руд. Наведена характеристика розроблених Науково-виробничою фірмою „Продэкологія” апаратів для сухого магнітного збагачення низькоякісної гематитової сировини.

COMPLEX FOR HEMATITE QUARTZITES DRY MAGNETIC BENEFICIATION.

The results of studying mineral composition of high-grade and low-grade hematite ores of Kryvyi Rih basin deposits are presented. The known technologies of beneficiating hematite quartzites and wastes of hematite ores beneficiation are considered. Description of apparatuses for dry magnetic beneficiation of low-grade hematite raw materials developed by research and Production Company “Prodecologia” is given.

Железные руды месторождений Криворожского бассейна и других регионов планеты относятся к типу метаморфогенных. По общему содержанию железа выделяются два их класса:

- бедные железные руды, нуждающиеся в обогащении;
- богатые железные руды.

За границу между ними принято общее содержание железа 46 мас. %.

Богатые железные руды по условиям образования и минеральному составу делятся на три вида: 1) гидрогетит-гетитовые (бурожелезняковые), 2) магнетитовые с силикатами и карбонатами и 3) гематитовые руды.

Встречающиеся в верхних частях коры выветривания железистых пород **богатые бурожелезняковые руды** в настоящее время не разрабатываются в связи с практически полной выработкой их залежей. **Богатые магнетитовые руды**, которые разрабатывались, главным образом, бывшими Ингулецким и Первомайским рудниками, в настоящее время не добываются в связи с истощением их запасов и большой глубиной залегания (1000-1500 и более м) их тел.

Среди **богатых гематитовых руд**, разрабатываемых шахтами Саксаганского железорудного района Кривбасса (Криворожский железорудный комбинат, рудник «Сухая балка», шахтоуправление «АрселорМиттал Кривой Рог») по минеральному составу выделяются три основные разновидности: 1) руды мартитовые и железнослюдко-мартитовые («синьки»), 2) руды дисперс-

ногематит-мартитовые и дисперсногематит-железнослюдко-мартитовые («краско-синьки») и 3) руды каолинит-дисперсногематитовые и мартит-каолинит-дисперсногематитовые («краски»). Все они являются продуктом преобразования в ходе рудогенеза, соответственно, магнетитовых и железнослюдко-магнетитовых кварцитов; силикат-карбонат-магнетитовых кварцитов; магнетит-силикат-карбонатных кварцитов и высокожелезистых карбонат-кварц-силикатных сланцев.

В реальных условиях в пределах разрабатываемых рудных залежей в разных количествах присутствуют все три минеральные разновидности руд. Вследствие этого добываемые товарные богатые железные руды имеют промежуточный минеральный состав (табл. 1.), определяемый соотношением названных выше их минеральных разновидностей в пределах разрабатываемых рудных тел.

Таблица 1 – Средний минеральный состав богатых гематитовых руд некоторых месторождений Криворожского бассейна (объемн.%)

Минералы	Месторождения				
	1	2	3	4	5
мартит	72,1	71,8	71,3	71,0	70,7
железная слюдка	4,9	4,2	3,5	4,6	4,6
дисперсный гематит («гидрогематит»)	3,5	4,2	5,6	5,4	5,9
гидроксиды железа (гетит, дисперсный гетит («гидрогетит»))	1,1	1,2	1,4	1,3	1,5
магнетит	2,7	2,5	2,4	1,8	1,4
кварц	12,1	11,7	11,3	11,0	11,1
силикаты (каолинит, а также реликтовые: хлорит, куммингтонит, биотит, гранат и др.)	1,7	2,3	2,6	2,8	2,7
карбонаты (кальцит, арагонит, а также реликтовые: сидерит, сидероплезит, пистомезит, ферродоломит и др.)	1,0	1,1	0,9	0,7	0,8
пирит, марказит и другие сульфиды	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
апатит	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
другие минералы	0,7	0,8	1,0	1,2	1,1
Всего	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Месторождения: 1 – шахты им. В.И.Ленина; 2 – шахты «Заря-Октябрьская»; 3 – шахты «Родина»; 4 – карьера «Южный» комбината «АрселорМиттал Кривой Рог»; 5 – карьера «Северный» ГОКа «Укрмеханобр» ОАО ММК им. Ильича.

Бедные железные руды по условиям образования и минеральному составу делятся на два вида: магнетитовые кварциты и гематитовые кварциты.

Магнетитовые кварциты являются метаморфическими породами, слагают пластовые тела железистых горизонтов саксаганской свиты. Выделяются более 30 их минеральных разновидностей: магнетитовые, железнослюдко-магнетитовые, карбонат-магнетитовые, карбонат-хлорит-магнетитовые, куммингтонит-магнетитовые, рибекит-магнетитовые и другие. Разрабатываются, преимущественно, открытым способом, обогащаются методом мокрой магнитной сепарации обогатительными фабриками пяти горнообогатительных

комбинатов Кривбасса. Производится магнетитовый концентрат с общим содержанием железа 65-65,5 мас. %.

Гематитовые (т.н. «окисленные») кварциты – продукт выветривания магнетитовых кварцитов. Входящий в их состав магнетит был замещен мартитом; железистые карбонаты и силикаты – дисперсным гематитом («гидрогематитом»), гетитом, дисперсным гетитом; кварц, железная слюдка и частично магнетит сохранились как реликтовые минералы. Гематитовые кварциты имеют, практически, биминеральный состав (табл. 2). Ими сложены верхние (глубина от 10-50 до 2000 и более м) части железистых горизонтов саксаганской свиты. Этот вид руд не разрабатывается, но рассматривается как сырье для Криворожского горнообогатительного комбината «окисленных» руд (КГОКОРа) и проектируемых обогатительных модулей действующих горнообогатительных комбинатов и шахт бассейна.

Таблица 2 – Средний минеральный состав гематитовых кварцитов некоторых месторождений Криворожского бассейна (объемн.%)

Минералы	Месторождения					
	1	2	3	4	5	6
мартит	33,4	32,5	33,1	32,7	32,0	29,9
железная слюдка	3,3	3,0	3,1	3,2	3,1	5,2
дисперсный гематит («гидрогематит»)	4,2	4,1	4,6	4,7	3,9	3,6
гидроксиды железа	1,7	1,6	2,5	2,3	1,4	1,5
магнетит	2,9	2,7	1,5	1,4	2,4	2,5
кварц	45,9	46,9	46,6	46,7	48,9	49,8
силикаты (каолинит, а также реликтовые: хлорит, куммингтонит, биотит, гранат и др.)	5,7	6,3	6,2	6,5	5,5	4,9
карбонаты (кальцит, арагонит, а также реликтовые: сидерит, сидероплезит, пистомезит, ферродоломит и др.)	1,5	1,6	1,3	1,2	1,6	1,5
пирит, марказит и другие сульфиды	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
апатит	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
другие минералы	1,2	1,1	0,9	1,1	1,0	0,9
Всего	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Месторождения: 1 – Глееватское; 2 – шахты «Родина»; 3 – карьера «Южный» комбината «АрселорМиттал Кривой Рог». 4 – карьера «Северный» ГОКа «Укрмеханобр» ОАО ММК им. Ильича; 5 – Скелеватское; 6 – Ингулецкое;

Железные руды Криворожского бассейна разрабатываются на протяжении 125 лет – с 1882 г. С конца XIX до середины XX столетия велась отработка богатых руд. В конце 50-х годов XX столетия началась добыча бедных магнетитовых руд с общим содержанием железа от 25-30 до 40-46 мас. %. Руды этого типа подвергаются обогащению с использованием магнитных аппаратов.

Вопрос об обогащении богатых гематитовых руд в промышленных масштабах не ставился до 60-70 годов XX столетия. Необходимость этого возникла по нескольким причинам. Основными являются постепенное снижение качества гематитовых руд с увеличением глубины их отработки (в настоящее

время до 1500 м) и рост содержания нерудных примесей в руде в связи с уменьшением размера рудных залежей, усложнением формы их контактов с вмещающими породами, применением массовых и все менее избирательных методов добычи руд и пр.

Процесс внедрения в производство обогащения гематитовых руд происходил в несколько этапов. Первым можно считать использование ручной рудо-разборки с целью выделения из добываемой в шахте рудной массы кусковой фракции наиболее богатых маритовых и железослюдко-маритовых (т.н. мартиновских) руд. Это позволяло отобрать из общего рудного потока материал с общим содержанием железа около 65 мас.%, имеющий повышенную ценность.

Вторым этапом явилось внедрение технологии обогащения железных руд путем гранулометрического разделения рудной и нерудной составляющих извлеченной из недр рудной массы. Метод основан на использовании разной крепости богатых гематитовых руд (2-8 баллов по школе М.М.Протождяконова) и нерудных примесей в рудной массе (7-15 балла – разного состава сланцев и 15-22 баллов – железистых кварцитов). Обогащение руд происходит на дробильно-сортировочных фабриках (ДСФ) шахт и состоит в дроблении и последующем грохочении рудной массы. Имеющие меньшую прочность рудные обломки легко дробятся и накапливаются в подрешетном продукте, крупность которого для разных шахт изменяется от 10-0 до 20-0 мм. Общее содержание железа при этом повышается в получаемом продукте на 5-8 мас.% в сравнении с исходным сырьем. В надрешетном продукте (отходе обогащения) концентрируются более прочные обломки вмещающих пород – железистых кварцитов (70-75 мас.%) и сланцев (около 15%). Кроме того, вследствие недостаточной избирательности дробления в отходах ДСФ присутствует рудный материал (до 10-15 мас.%). В настоящее время работу ДСФ всех шахт Криворожского бассейна можно рассматривать как недостаточно эффективную.

Третий этап развития технологии обогащения гематитовых руд связан с внедрением методов более глубокой их переработки с целью более полного извлечения железа в полезный продукт, повышения его качества и выхода. На первых стадиях этого этапа в качестве приоритетного исходного материала использовались, в первую очередь, отходы ДСФ, имеющие крупность частиц от 10-20 до 100 мм и общее содержание железа 40-45 мас.% (значительно выше, чем в рядовых гематитовых кварцитах – 32-39 мас.%).

Первый модуль по вторичной переработке крупнозернистого отсева ДСФ был смонтирован в 2002 г. ЗАО "Гамаюн" на шахте "Октябрьская" Криворожского железорудного комбината. Исходный материал на этой установке повторно подвергается дроблению до эмпирически подобранной крупности (обычно до 10-15 мм), а затем – сухому магнитному обогащению в сильном поле. Технология позволяет поднять содержание железа в конечном продукте до 52-56 мас.% при вторичном сбросе 50-70% исходной массы. Результаты работы модуля были признаны позитивными в техническом, технологиче-

ском и экономическом отношении. В настоящее время установка тиражируется на других шахтах Кривбасса.

Однако общая оценка работы ДСФ и существующих установок по обогащению их отходов свидетельствует о технической и технологической устарелости используемых технологий и оборудования. Основными недостатками являются их материалоемкость и энергоемкость, недостаточная избирательность разделения рудного и нерудного материала, незначительный прирост содержания полезного компонента в продуктах обогащения по сравнению с исходным сырьем, большие потери полезного компонента в отходах обогащения и др.

Начиная с 2002 года, научно-производственной фирмой «Продэкология» совместно со специалистами горнодобывающих предприятий Кривбасса были проведены лабораторные исследования, полупромышленные и промышленные испытания по обогащению окисленных железистых кварцитов Криворожского железорудного бассейна сухим магнитным способом. Использовались разработанные и запатентованные предприятием сепараторы барабанного (рис. 1) и роликового (рис. 2) типов с магнитными системами на постоянных высокоэнергетических магнитах Nd-Fe-B.

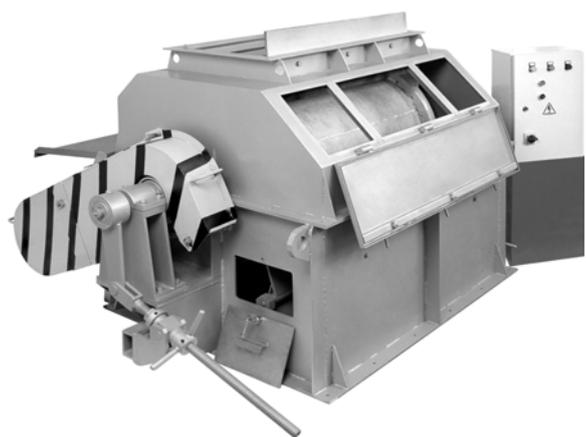


Рис. 1 – Сепаратор барабанного типа

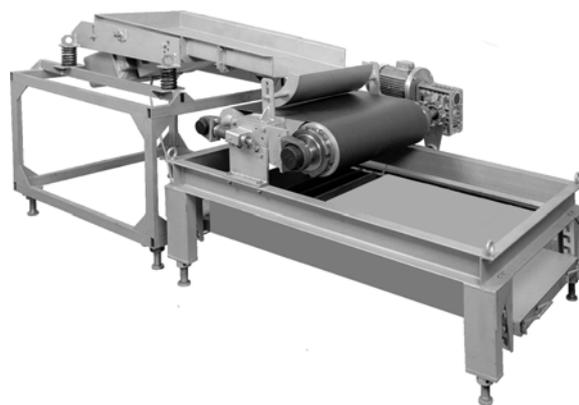


Рис. 2 – Сепаратор роликового типа

Для вовлечения в переработку бедного железорудного сырья (гематитовые руды с пониженным содержанием железа, отходы обогащенных гематитовых руд) НПФ «Продэкология» предложила новую разработку – комплекс для их сухого магнитного обогащения (рис. 3, табл. 3), в котором используются два приема сепарации.

В состав комплекса входят: магнитный барабан, магнитный ролик, вибропитатели. В первом приеме сепарации выделяются магнитный продукт (агломера или концентрат для агломерации), хвосты и промпродукт. Второй прием сепарации – перечистка промпродукта первого приема – осуществляется с помощью магнитного ролика или барабана с повышенной удельной магнитной силой в рабочей зоне (тип определяется по результатам технологических испытаний). Это техническое решение запатентовано в Украине и в Российской Федерации.

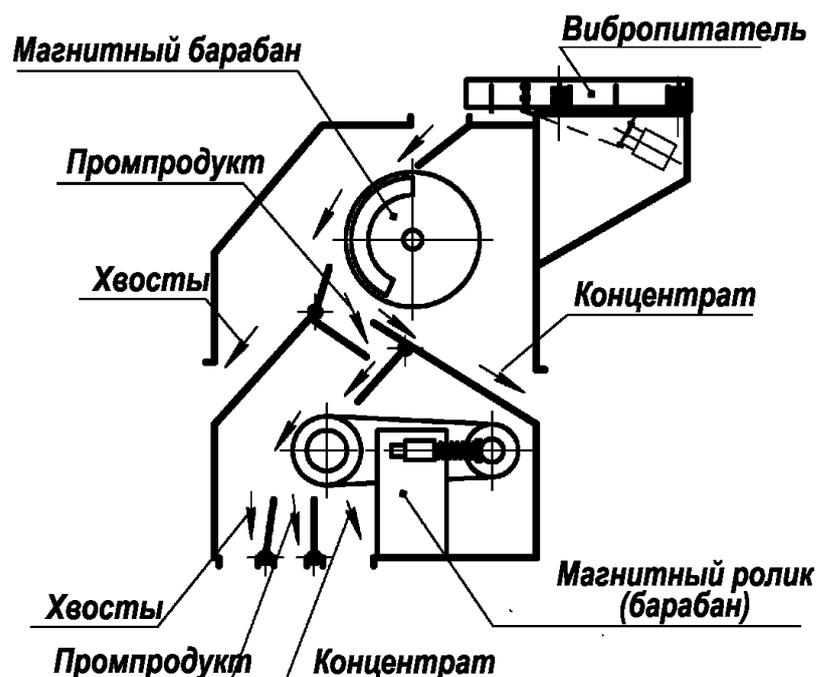


Рис. 3 – Схема комплекса для сухого магнитного обогащения гематитовых кварцитов и отходов обогащения гематитовых руд.

Таблица 3 – Технические характеристика комплекса для сухого магнитного обогащения гематитовых кварцитов и отходов обогащения гематитовых руд

Показатели	Значения
Производительность, т/ч	30-80
Крупность обогащаемого материала, мм	до 10
Магнитная индукция* на рабочей поверхности, Тл:	
СМБ1	0,4-0,7
СМРС	0,45-1,1
Удельная магнитная сила, $10^{13} \text{ A}^2/\text{м}^3$:	
СМБ1	0,6-1,8
СМРС	0,7-6,0
Работа магнитных сил, $10^{11} \text{ A}^2/\text{м}^2$:	
СМБ1	0,3-1,0
СМРС	0,35-3,0

* Показатели определены на основе данных о составе обогащаемого материала и результатов его магнитной сепарации в лаборатории НПФ «Продэкология»

По результатам проведенных испытаний, для обогащения гематит-мартитовых кварцитов шестого железистого горизонта карьера «Южный» шахтоуправления комбината «АрселорМиттал Кривой Рог» был рекомендован комплекс с магнитным барабаном и роликом, а при обогащении гематит-мартитовых кварцитов четвертого железистого горизонта карьера «Северный» ГОКа «Укрмеханобр» ОАО ММК им. Ильича лучшие результаты показал комплекс с двумя магнитными барабанами.

В карьере „Северный” добывается богатая гематитовая руда четвертого и пятого железистых горизонтов. Вмещающими породами являются гематитовые кварциты разного состава (мартитовые, железослюдко-мартитовые, дисперсногематит-мартитовые, реже – мартит-дисперсногематитовые). Средний их минеральный состав приведен в табл. 2. Общее содержание железа в их составе около 38 мас.%. Текстура гематитовых кварцитов слоистая, мощность прослоев изменяется от 0,5 до 10 мм, преобладающие значения – 4-6 мм. Кроме гематита в состав этих пород в незначительном количестве (в среднем не более 2 объемн.%) входит реликтовый магнетит.

В забоях карьера была отобрана представительная проба гематитовых кварцитов, ее материал был издроблен до крупности частиц -10+0 мм. Исходя из минералогических характеристик гематитового кварцита (минеральный состав, структурные и текстурные характеристики) был проведен выбор магнитных сепараторов с необходимыми технологическими характеристиками, составлена схема обогащения. Результаты полупромышленных испытаний приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Результаты полупромышленных испытаний гематитовых кварцитов методом сухого магнитного обогащения

Приемы магнитного обогащения	Исходный материал				Магнитный продукт			Промпродукт			Немагнитный продукт		
	П	d	γ	α	γ	β	ε	γ	β	ε	γ	ϑ	ε
Мартитовые кварциты четвертого железистого горизонта карьера «Северный»													
I-прием	40	+0-10	100	39,34	28,60	51,62	37,57	39,10	41,21	40,90	32,30	26,20	21,53
II-прием (перечистка промпродукта I-приема)	30		39,10	41,21	6,50	49,50	8,19	21,90	42,00	23,40	10,60	34,50	9,31
Итого	40		100	39,34	35,10	51,23	45,75	21,90	42,00	23,40	42,90	28,25	30,84
Мартитовые кварциты шестого железистого горизонта карьера «Южный»													
I-прием	50	+0-5	100	40,91	20,20	57,60	28,45	60,90	44,23	65,85	18,90	12,40	5,73
II-прием (перечистка промпродукта I-приема)			60,90	44,23	12,3	58,9	17,71	17,80	54,90	23,89	30,80	32,20	24,25
Итого			100	40,91	32,50	58,09	46,16	17,80	54,90	23,89	49,70	24,67	29,98

П – производительность установки, т/час; d – крупность частиц, мм; α – общее содержание железа в исходном материале, мас.%; β – общее содержание железа в полезных продуктах и промпродуктах обогащения, мас.%; ϑ – общее содержание железа в отходах обогащения, мас.%; γ – выходы продуктов обогащения, %; ε – извлечение железа в продукты обогащения, %.

В карьере «Южный», являющемся продолжением карьера «Северный» также добывается богатая гематитовая руда. Вмещающими породами также

являются гематитовые кварциты пятого и шестого железистых горизонтов. В связи со вскрышными работами, целью которых является расширение фронта добычи богатых руд пятого железистого горизонта, гематитовые кварциты шестого железистого горизонта как вскрышная порода вывозятся в отвалы. По минеральному составу (табл. 2) и структурно-текстурным характеристикам они близки к гематитовым кварцитам четвертого железистого горизонта карьера «Северный». Общее содержание железа в составе гематитовых кварцитов шестого железистого горизонта колеблется от 30 до 45 мас.%, в среднем составляет 37-38 мас.%.

Для проведения испытаний представительная проба этих пород была издроблена до крупности частиц -5+0 мм. Результаты полупромышленных испытаний гематитовых кварцитов методом сухого магнитного обогащения приведены в табл. 4.

Полученные результаты свидетельствуют, что производимый НПФ «Продэкология» комплекс для сухого магнитного обогащения гематитовых кварцитов обеспечивает получение высококачественного агломерационного сырья из вскрышных гематитовых кварцитов и отходов обогащения гематитовых руд (крупнозернистой фракции ДСФ шахт). Использование комплекса будет способствовать повышению производства железорудного сырья, более полной утилизации извлекаемой из недр минеральной массы, решению социальных и экологических проблем региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белевцев Я.Н., Тохтуев Г.В., Стрыгин А.И. и др. Геология Криворожских железорудных месторождений // Киев: Изд. АН УССР, 1962.– Т. 1 – 484 с., т. 2 – 567 с.
2. Белевцев Я.Н., Кравченко В.М., Кулик Д.А. и др. Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Генезис железных руд // Киев: Наукова думка, 1991.– 215 с.
3. Бызов В.Ф., Капленко Ю.П., Колосов В.А., Ломовцев Л.А. Перспективные направления повышения качества шахтных руд Кривбасса // Металлургическая и горнорудная промышленность.– 2001.– №1.– С. 85-87.
4. Евтехов В.Д., Паранько И.С., Евтехов Е.В. Альтернативная минерально-сырьевая база Криворожского железорудного бассейна // Кривой Рог: Изд. Криворожского технического университета, 1999.– 70 с.
5. Лазаренко Е.К., Гершойг Ю.Г., Бучинская Н.И. и др. Минералогия Криворожского бассейна // Киев: Наукова думка, 1977.– 544 с.
6. Прилипенко Е.Д., Прилипенко В.Д., Дробот В.А. и др. Пути повышения качества аглоруды подземной добычи Кривбасса / V конгресс обогатителей стран СНГ. Материалы конгресса // Москва: Альтекс, 2005.– Т. IV.– С. 58-60.