

Т.А. ОЛЕЙНИК, д-р техн. наук,
Л.В. СКЛЯР, Н.В. КУШНИРУК, кандидаты техн. наук,
В.Н. ХАРИТОНОВ, канд. геол. наук,
И.В. ХМЕЛЬ, М.О. ОЛЕЙНИК
(Украина, Кривой Рог, Государственное ВУЗ "Криворожский национальный университет")

ОСОБЕННОСТИ СУХОЙ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ ВИСЯЧЕЙ ПАЧКИ АННОВСКОГО КАРЬЕРА

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Основным видом минерального сырья Северного горно-обогатительного комбината (СЕВГОКа) являются бедные магнетитовые руды (магнетитовые кварциты), нуждающиеся в обогащении. Средняя массовая доля железа в составе руд около 35%, средняя массовая доля железа, входящего в состав магнетита, – около 26%.

Особенностью комбината, отличающей его от других горно-обогатительных комбинатов Криворожского бассейна и других регионов планеты, является крайняя неоднородность руд по минералогическим, химическим, структурным, текстурным показателям и, как следствие, по параметрам их обогатимости.

Стабилизация качества дробленной руды, поступающей после ее сухого магнитного предобогащения на измельчение, способствует улучшению обогатимости этой руды, снижению колеблемости вещественного состава полученных концентратов и окускованного железорудного металлургического сырья. Использование в качестве строительного щебня и песка хвостов сухого магнитного обогащения повышает полноту использования природного сырья и способствует улучшению экологической обстановки на промплощадке перерабатывающих предприятий.

Применение сухой сепарации способствует повышению комплексности использования добываемого сырья, так как хвосты могут применяться в качестве строительных материалов – щебня и песка. Внедрение СМС решает и экологические проблемы – практически все бросовые земли (балки, овраги и пр.) в районах промплощадок ГОКов уже заняты хвостохранилищами. Поэтому при увеличении масштабов использования магнетитовых руд и отсутствии технологий, позволяющих использовать отходы обогащения, приходится занимать пахотные земли для складирования вскрышных пород и некондиционных руд, добытых, дробленных и измельченных отходов мокрого обогащения.

Возможности сухой магнитной сепарации, как эффективной операции предварительного обогащения, еще далеко не исчерпаны. Поэтому усовершенствование технологии обогащения труднообогатимых магнетитовых руд за счет использования сухой магнитной сепарации является актуальной практической задачей.

Магнітна і електрична сепарація

Анализ исследований и публикаций

Анновское месторождение бедных железистых кварцитов относится к Северному железорудному району Криворожского бассейна. Месторождение приурочено к Восточно-Анновской железорудной полосе, к ее южной части (общая протяженность всей полосы семнадцать километров). Разведочным бурением породы железо-кремнистой формации в пределах полосы подсечены на глубину 1,5 км.

Рудным телом на Анновском месторождении является первый железистый горизонт. По текстурно-структурным особенностям, минеральному и химическому составу свойствам рудное дело разделено на две пачки – лежащую и висячую [1].

Лежащая пачка с востока ограничена переходной подпачкой, представленной магнетит-куммингтонитовыми кварцитами с прослоями сланцев. С запада пачка контактирует с магнетит-куммингтонитовыми кварцитами висячей пачки.

Лежащая пачка сложена магнетитовыми и гематит-магнетитовыми кварцитами, реже куммингтонит-магнетитовыми и магнетит-куммингтонитовыми кварцитами.

Висячая пачка представлена магнетит-куммингтонитовыми кварцитами и хлорит-куммингтонитовыми кварцито-сланцами. По текстурно-структурным особенностям и содержанию железа магнетитового пачка разделена на четыре подпачки. Наиболее богатую по содержанию железа магнетитового является вторая подпачка, наиболее бедной – четвертая.

Одним из возможных путей дальнейшего повышения экономической эффективности переработки магнетитовых руд является сухая магнитная сепарация (СМС) мелко измельченных руд. Применение ее в технологической схеме позволяет уже в первой стадии обогащения сбросить часть пустой породы. Это стабилизирует питание мокрой магнитной сепарации по содержанию магнетитового железа и повышает производительность передела по концентрату. Кроме того, уменьшаются затраты на гидротранспортирование хвостов, технической воды. Кроме этого сухие хвосты являются дополнительной товарной продукцией.

Наиболее успешно эта операция применяется при переработке магнетитовых руд скарного типа. Сухая магнитная сепарация мелкодробленых относительно крупновкрапленных скарных магнетитовых и титаномангнетитовых руд уже более 50 лет применяется на обогатительных фабриках Урала и Сибири, на предприятиях Казахстана и Азербайджана. Значительно меньшее распространение нашла СМС для предобогащения тонко- и весьма тонковкрапленных магнетитовых кварцитов Кривбасса, также КМА и Кольского полуострова.

Значительный вклад в решение проблемы сухой магнитной сепарации магнетитовых кварцитов внесли такие исследователи и конструкторы как А.П. Квасков, В.Г. Деркач, Ю.И. Азбель, Л.А. Ломовцев, Р.С. Улубабов, А.М. Туркенич, В.И. и В.В. Кармазины, Ю.С. Мостыка, а также зарубежные исследователи Jan Svoboda, E. Lower, Fujita, Da-He X., E. Laurilla и многие другие [2-5].

Магнітна і електрична сепарація

Эффективность разделения минералов магнитной сепарацией главным образом определяется соотношением значений их удельной магнитной восприимчивости χ (контрастностью свойств), которые при прочих равных условиях определяют силу магнитного поля. Если для магнетита и кварца $\chi_m / \chi_k \gg 1$, то для магнетита и его сростков с кварцем это отношение с повышением содержания магнетита в последнем стремится к единице, т.е. для получения концентратов с содержанием железа 70%, необходима максимальная эффективность разделения. Как показали экспериментальные испытания, такие концентраты могут быть получены при высоком коэффициенте раскрытия минералов [2-5].

На результаты разделения в значительной степени влияет крупность сепарируемого материала. Влияние крупности материала на характер силового режима разделения принципиально можно определить для трех основных классов:

1) для крупнозернистых материалов (плюс 0,5 мм) сила тяжести значительно превышает силы адгезионного слипания; такой материал находится в магнитном поле сепаратора в виде отдельных зерен;

2) для мелкозернистого материала (минус 0,5 плюс 0,05 мм) адгезионные силы примерно равны или превышают силы тяжести; в переменном магнитном поле этот материал также находится в основном в виде отдельных зерен;

3) тонкоизмельченный материал (минус 0,05 мм) полностью представлен агрегатами из отдельных частиц – магнитными флокулами, которые не разрушаются даже при высокой частоте магнитного поля (более 600 Гц).

Детальные исследования влияния СМС на процессы измельчения, классификации и стадийного мокрого обогащения и дальнейшего ее внедрения были проведены на технологической секции № 16 обогатительной фабрики дробильно-обогатительного комплекса Михайловского ГОКа [6]. Исходную рудную шихту крупностью 16-0 мм (средневзвешенный размер куска 8,8 мм) подавали на сепараторы ПБКС-90/150, установленные перед мельницами МШРГУ-4500×6000 I первой стадии измельчения (один сепаратор на мельницу). Магнитный продукт СМС поступал непосредственно в мельницу, немагнитные хвосты транспортировались на склад для получения щебня различных фракций.

Производительность сепаратора составляла 180 т/ч, индукция в рабочей зоне (на участке удаления отвальных хвостов) 0,21 Тл, максимальная частота вращения барабана 70 мин⁻¹.

В качестве критерия для оценки технологической эффективности СМС перед мокрым обогащением была выбрана производительность секции по исходной руде текущего добычи с СМС и без нее (проектная схема) при получении товарного концентрата с содержанием железа 65,5-65,6%.

В среднем за период испытаний на руде с массовой долей общего и магнитного железа 39,2 и 19,9% соответственно в операции СМС получены немагнитный продукт (выход 6,5%, или 24,5 т/ч, содержание общего и магнитного железа 24 и 4% соответственно), а также магнитный продукт (содержание общего и магнитного железа 40,3 и 20,9% соответственно), который поступает в мельницу.

Магнітна і електрична сепарація

Исследования вещественного состава руд всячей пачки Анновского месторождения выполнялось на протяжении всех лет эксплуатации (разведки и разработки) месторождения.

В конце 90-х годов геологической службой СЕВГОКа обобщены все данные по технологическим свойствам железистых кварцитов всячей пачки в пределах проектного контура карьера. Результаты обобщения показали, что кварциты всячей пачки неоднородны по технологическим свойствам и в целом содержание железа в концентрате значительно ниже, чем заложенное в кондициях на эти кварциты (65%). Только севернее 28 профиля содержание железа в концентрате более-менее стабильное и превышает 60%. Из этой части месторождения проводится селективная выемка кварцитов всячей пачки для целей производства железорудного концентрата. В этом случае основное назначение кварцитов всячей пачки северного участка – выполнение роли мелющих тел в мельницах самоизмельчения. Общее количество их в шихте не превышает 7-10 %, так как увеличение их количества приводит к ухудшению технологических показателей фабрики.

В 2008 г. на непрерывно действующей полупромышленной установке опытного производства ОАО НИПИ "Механобрчермет" проведены полупромышленные испытания технологии обогащения руды всячей пачки Анновского карьера ПАО "СЕВГОК". Результаты полупромышленных испытаний показали возможность получения концентратов с массовой долей железа 66,4 % и более по магнитной и магнитно-флотационной схемам.

Постановка задачи

Целью настоящей работы являлось разработка предложений и рекомендаций по технологии сухого предобогащения железистых кварцитов I, II, III и IV подпачек всячей пачки Анновского месторождения.

Изложение материала и результаты

На исследование в ГВУЗ "КНУ" на кафедру "Обогащения полезных ископаемых" поступили четыре технологических пробы, отобранных из первой-третьей и четвертой подпачек всячей пачки Анновского месторождения. – ВС-1, ВС-2, ВС-3, ВС-4.

Анализ распределение железа общего и железа магнетитового в классифицированном материале технологических проб показал следующее.

Для пробы ВС-1 характерно увеличение содержания железа общего от класса крупности +5,0 мм к -1,0+0,5 мм, в нижнем классе отмечается резкое уменьшение значения этого показателя. Содержание железа магнитного в этом направлении носит более сложный характер – сначала увеличение, потом резкое снижение и снова резкое увеличение в предпоследнем классе крупности и снова снижение в самом нижнем классе.

В пробе ВС-2 железо общее распределено по классам крупности практически равномерно, отмечается незначительный прирост в нижних классах. Распределения железа магнетитового носит близкий к пробе ВС-1 характер.

Магнітна і електрична сепарація

Для проб ВС-3 и ВС-4 свойственен однотипный тренд распределения железа общего – от крупных классов к мелким наблюдается постепенное увеличение значения этого показателя и только в самом нижнем классе – резкое уменьшение.

Характер распределения железа магнетитового в пробах ВС-3 и ВС-4 отличается. Проба ВС-3 характеризуется аналогичным пробам ВС-1 и ВС-2 распределением. Сначала отмечается снижения уровня содержания этого компонента, а затем, в предпоследнем классе крупности – увеличение и уменьшение количества магнитного железа в самом мелком классе. В пробе ВС-4 распределение значений показателя носит самый сложный среди всех изученных проб характер. В направлении от крупного класса наблюдается рост значений, затем снижение, снова рост и опять снижение.

По среднему значению содержания железа общего лидирующее место занимает проба, отобранная из второй подпачки, далее расположились пробы ВС-1, ВС-3 и ВС-4. По среднему значению содержания железа магнетитового в направлении самая богатая – самая бедная, пробы составили ряд ВС-2, ВС-3, ВС-1 и ВС-4.

По содержанию серы худший показатель имеет проба, взятая из четвертой подпачки, далее в направлении снижения содержания этого компонента, идут пробы ВС-3, ВС-1, и ВС-2.

По содержанию углекислоты (в порядке уменьшения) изученные пробы составляют ряд ВС-4, ВС-1, ВС-3 и ВС-2.

Результаты химического анализа позволяют предварительно отнести изученные пробы к определенным минералогическим разновидностям. В основу их выделения положены критерии, предложены Б.И. Пироговым. Среди них выделяют – основные ($Fe_{\text{общ}}$, $Fe_{\text{маг}}/Fe_{\text{общ}}$, $Fe_2O_3/FeO+Fe_2O_3$) и вспомогательные ($Fe_{\text{маг}}$ и $Fe_{\text{общ}}-Fe_{\text{маг}}$). Недостатком критериев является то, что они не отражают количество силикатов, карбонатов и других нерудных минералов в составе бедных железных руд. Однако, они широко используются сотрудниками геологической службы некоторых горно-обогатительных комбинатов г. Кривого Рога, в том числе и в северном районе. Расчетные критерии Б.И. Пирогова [7-9] для изученных проб четырех подпачек висячей пачки Анновского месторождения приведены в таблице 1.

Таблиця 1

Критерии Б.И. Пирогова, рассчитанные по результатам химического анализа проб ВС-1 – ВС-4

Индекс проб	Критерии				
	основные			вспомогательные	
	$Fe_{\text{общ}}$	$Fe_{\text{маг}}/Fe_{\text{общ}}$	$Fe_2O_3/FeO+Fe_2O_3$	$Fe_{\text{маг}}$	$Fe_{\text{общ}}-Fe_{\text{маг}}$
ВС-1	27,7	0,4	0,6	11,3	16,5
ВС-2	30,3	0,6	0,5	17,3	13,0
ВС-3	26,0	0,5	0,6	11,7	14,2
ВС-4	18,8	0,2	0,6	3,4	15,4

Магнітна і електрична сепарація

Минералогическое изучение проб показало, что рядовые пробы, слагающие технологические, представлены следующими минеральными разновидностями пород – проба ВС-1: кварцит куммингтонит-рибекит-магнетитовый, кварцит рибекит-куммингтонит-магнетитовый, кварцит эгирин-рибекит-магнетитовый, кварцит эгирин-рибекит-магнетитовый; проба ВС-2 – кварцит эгирин-рибекит-магнетитовый, кварцит рибекит-эгирин-магнетитовый, кварцит рибекит-магнетитовый, кварцит эгирин-магнетитовый; проба ВС-3 – кварцит рибекит-куммингтонит-магнетитовый, кварцит куммингтонит-магнетитовый, кварцит куммингтонит-рибекит-магнетитовый, кварцит рибекит-куммингтонит-магнетитовый, кварцит эгирин-куммингтонит-магнетитовый; проба ВС-4 – кварцитосланец магнетит-биотит-куммингтонитовый, кварцитосланец хлорит-биотит-куммингтонитовый, кварцит магнетит-биотит-куммингтонитовый и кварцит хлорит-биотит-куммингтонитовый

Среди ведущих минералов в составе изучаемых пород всяческой пачки Анновского месторождения, выделяются кварц, магнетит, а также минералы класса "Силикаты" – куммингтонит, рибекит, эгирин, хлорит и биотит. Пять последних, для пород месторождений Криворожского бассейна, традиционно объединяют и вносят в название минеральной разновидности под общим названием "силикат-..." или "...-силикатный".

По результатам микроскопических исследований породы, слагающие технологические пробы, представлены преимущественно магнетит-силикатными и силикат-магнетитовыми кварцитами, а также магнетит-силикатными кварцитосланцами.

Кварциты представлены переслаивающимися преимущественно рудными (магнетитовыми), смешанными и нерудными (силикат-кварцевыми или карбонат-силикат-кварцевыми) прослоями различной мощности и в различных соотношениях.

Среди нерудных прослоев выделяются на преимущественно кварцевые (мощность 1-5 мм), преимущественно силикатные, кварц-силикатные и карбонат-силикат-кварцевые (мощность 0,5-2 мм).

Смешанные слои сложены, в основном, зернами рибекита, куммингтонита, кварца, карбоната, эгирина, магнетита и пирита в различных соотношениях. Мощность прослоев 2-5 мм.

Рудные прослои имеют преимущественную мощность 1-3 мм, сложены, зернами магнетита с незначительным количеством нерудных минералов. Реже отмечаются преимущественно-пиритовые прослои.

Магнетит-силикатные кварцитосланцы отличаются от магнетит-силикатных кварцитов преобладанием силикатных минералов над кварцем. Магнетит в этих породах является второстепенным минералом

С учетом данных о количестве минералов, выявленных в шлифах и в дробленом материале проб, были определены средние значения содержания минералов минерального состава руды (табл. 2).

Следует отметить, что слоистый характер текстурного рисунка руд возможно использовать при предобогащении материала крупностью 20-0 мм.

Магнітна і електрична сепарація

Изучение процесса сухой магнитной сепарации осуществлялось на представительных пробах I, II, III подпачки висячей пачки Анновского карьера, а так же IV подпачки висячей пачки.

Таблиця 2

Средний минеральный состав технологических проб, об. %

Минералы	BC-1			BC-2			BC-3			BC-4		
	C_дм	C_шл	C_пр	C_дм	C_шл	C_пр	C_дм	C_шл	C_пр	C_дм	C_шл	C_пр
Магнетит	18,5	21,08	19,8	26,7	27,13	26,9	17,2	20,43	18,82	5,0	5,51	5,26
Кварц	53,1	51,96	52,5	54,9	55,33	55,1	52,7	50,07	51,39	45,3	40,93	43,12
Силикат	26,4	24,65	25,5	17,5	16,48	17,0	26,2	25,81	26,01	46,7	49,68	48,19
Карбонат	1,1	1,38	1,2	0,2	0,25	0,2	2,1	1,91	2,01	0,8	1,04	0,92
Сульфиды	0,3	0,34	0,3	0,5	0,64	0,6	0,9	0,9	0,90	1,7	1,91	1,81
Прочие	0,6	0,59	0,6	0,2	0,17	0,2	0,8	0,88	0,84	0,6	0,91	0,76

C_дм – среднее для дробленного материала проб

C_шл – среднее для полированных и прозрачных шлифов

C_пр – среднее по пробе

При выполнении технологических испытаний руд с использованием сухих методов были поставлены следующие цели:

1. Определение целесообразности сухой магнитной сепарации магнетитовых кварцитов I, II, III подпачки висячей пачки Анновского карьера, а так же IV подпачки висячей пачки.

2. Получение магнитного промпродукта с приростом массовой доли железа общего ($Fe_{общ}$) около 2,5% и отвальных хвостов, с массовой долей железа магнитного ($Fe_{магн}$) менее 4,5%.

3. Отработка технологических режимов сухой магнитной сепарации магнетитовых кварцитов I, II, III подпачки висячей пачки Анновского карьера, а так же IV подпачки висячей пачки.

В программу исследования были включены эксперименты, направленные на изучение влияния скорости вращения барабана, силы сопротивления, угла раскрытия веера и длины рабочей зоны сепарации на конечные показатели обогатимости материала.

Усредненные результаты исследований представлены на рисунке.

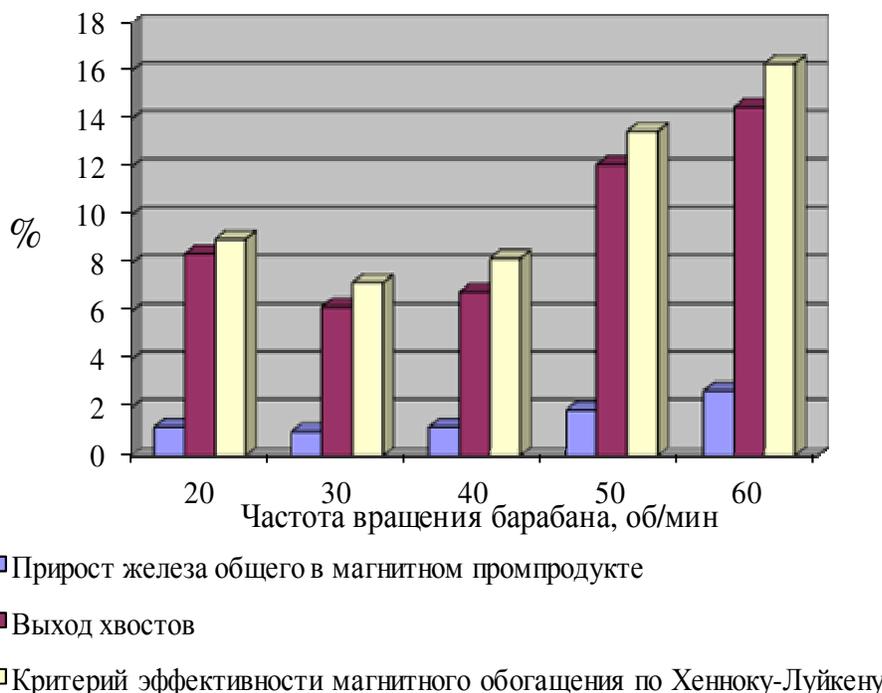
Анализ полученных данных показал, что с увеличением скорости вращения барабана качественно-количественные показатели магнитной сепарации улучшаются, в частности увеличивается прирост массовой доли железа общего в магнитном промпродукте и увеличивается выход хвостовой фракции. При этом массовая доля железа магнитного в хвостах находится в пределах 1,1-5,19%.

Дальнейшие эксперименты были проведены по схеме с основной и двумя контрольными сепарациями руды дробленной до 20-0 мм. В результате технологических испытаний в лабораторных условиях методом сухой магнитной сепарации проб руды магнетитовых кварцитов I, II, III подпачки висячей пачки Ан-

Магнітна і електрична сепарація

новского карьера, а так же IV подпачки всячей пачки, доказана возможность получения магнитного промпродукта, с приростом массовой доли железа общего по сравнению с исходной рудой – 1,86...3,09%.

Выход хвостовой фракции колебался в зависимости от разновидности магнетитовых кварцитов всячей пачки Анновского месторождения и составил от 17,05 до 52,53%. Массовая доля железа магнитного в хвостах СМС составила 1,01...5,19%. Прирост массовой доли железа магнитного в магнитном промпродукте по сравнению с исходной рудой – 1,93...3,18%.



Влияние скорости вращения барабана на качественно-количественные показатели магнетитовой руды

В результате исследований обогатимости проб руд всячей пачки Анновского месторождения по новой схеме СЕВГОКа, которая включает предварительную сухую магнитную сепарацию, дополнительное тонкое грохочение на сливе классификатора первой стадии измельчения получены магнетитовый концентрат, хвосты и еще один товарный продукт – щебень.

Технологические показатели разделения проб по новой схеме в лабораторных условиях представлены в табл. 3-5. Согласно полученным результатам, массовая доля железа общего в концентратах, извлеченных из проб руд всячей пачки Анновского месторождения, составила 68,6, 68,76, 68,93 и 66,05% для 1, 2, 3 и 4 подпачки соответственно. Извлечение железа общего в концентрат соответственно составило 42,2, 57,25, 51,09 и 16,7%. При этом выход концентрата – 17,06, 25,2, 19,23 и 4,76%. Выход щебня составил соответственно 30,22, 20,8, 17,02 и 52,57%.

Магнітна і електрична сепарація

Таблиця 3

Показатели обогащения железосодержащих кварцитов
висячей пачки
Анновского месторождения по новой схеме

№ п/п	Минералогическая разновидность	Массовая доля железа общего, %		
		исх. руда	концентрат	хвосты
1	Кварциты 1 подпачки	27,73	68,6	17,36
2	Кварциты 2 подпачки	30,27	68,76	16,13
3	Кварциты 3 подпачки	25,94	68,93	15,44
4	Кварцитосланцы 4 подпачки	18,83	66,05	15,93

Таблиця 4

Показатели содержания железа магнитного в хвостах обогащения
железосодержащих кварцитов висячей пачки
Анновского месторождения по новой схеме

№ п/п	Минералогическая разновидность	Массовая доля железа магнитного в хвостах обогащения проб, %
1	Кварциты 1 подпачки	2,01
2	Кварциты 2 подпачки	2,05
3	Кварциты 3 подпачки	2,08
4	Кварцитосланцы 4 подпачки	0,6

Таблиця 5

Показатели обогащения железосодержащих кварцитов висячей пачки
Анновского месторождения по новой схеме

№ п/п	Минералогическая разновидность / продукты обогащения	Показатели обогащения, %		
		выход	массовая доля железа общего	извле- чение
1	Кварциты 1 подпачки			
	Концентрат	17,06	68,6	42,2
	Хвосты	52,72	17,36	33,0
	Щебень	30,22	22,76	24,8
	Исх. Руда	100	27,73	100
2	Кварциты 2 подпачки			
	Концентрат	25,2	68,76	57,25
	Хвосты	54,0	16,13	28,77
	Щебень	20,8	20,34	13,98
	Исх. Руда	100	30,27	100
3	Кварциты 3 подпачки			
	Концентрат	19,23	68,93	51,09
	Хвосты	63,75	15,44	37,94
	Щебень	17,02	16,72	10,97
	Исх. Руда	100	25,94	100
4	Кварцитосланцы 4 подпачки			
	Концентрат	4,76	66,05	16,7
	Хвосты	42,67	15,93	36,1
	Щебень	52,57	16,91	47,2
	Исх. Руда	100	18,83	100

Выводы и направления дальнейших исследований

Таким образом, в результате усовершенствования технологической схемы из проб висячих подпачек 1, 2, 3 получены концентраты с массовой долей же-
Збагачення корисних копалин, 2014. – Вип. 57(98)

Магнітна і електрична сепарація

леза, близкие к плановым показателям. С учетом коэффициента перехода от лабораторных к промышленным показателям, массовая доля железа в концентратах должна составить 65,99, 66,15, 66,31% для руд 1, 2, 3 подпачек всячей пачки Анновского месторождения, при условии их отдельного обогащения.

Сырье четвертой подпачки после СМС можно рекомендовать для получения щебня или каменного литья.

Наиболее труднообогатимыми по магнитной схеме обогащения, являются пробы минералогических разновидностей 1 и 4 подпачки всячей пачки руды Анновского месторождения.

Достичь высоких технологических показателей возможно лишь при усовершенствовании существующей схемы обогащения магнетитовых кварцитов СЕВГОКа, а именно при использовании сухой магнитной сепарации и тонкого грохочения после 1 стадии классификации в классификаторах.

Список литературы

1. Евтехов В.Д. Минералого-технологическое картирование месторождений магнетитовых кварцитов как основа рациональной их разработки: Пути повышения качества продукции горнорудных предприятий. – Кривой Рог: Криворожский горнорудный институт, 1977. – С. 47-48.

2. Кармазин В.И., Крутий В.В., Николаенко В.П. Установка с центробежными магнитными сепараторами для сухого обогащения мелких магнетитовых руд // Горный журнал. – 1962. – №3. – С. 7-11.

3. Ломовцев Л.А., Нестерова Н.А., Дробченко Л.А. Магнитное обогащение сильномагнитных руд. – М.: Недра, 1979. – 235 с.

4. Кретов С.И. Основные закономерности сухой центробежной магнитной сепарации железистых кварцитов // Горный журнал. – 2006. – №7. – С. 77-79.

5. Кармазин В.В., Кармазин В.И. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых. – М.: Издательство МГГУ, 2005. – Т.1.

6. Применение сухой магнитной сепарации в схемах магнитного обогащения железистых кварцитов Михайловского горно-обогатительного комбината / В.С. Маргулис, С.А. Потапов, И.В. Старыгин и др. // Горный журнал. – 1987. – №9.

7. Пирогов Б.И. Геолого-минералогические факторы, определяющие обогатимость железистых кварцитов, – М.: Недра, 1969. – 239 с.

8. Пирогов Б.И., Пирогова В.В. Минералогическое исследование железных и марганцевых руд. – М.: Недра, 1973. – 214 с.

9. Технологическая минералогия железных руд / Б.И. Пирогов, Г.С. Поротов, И.В. Холошин и др. – Л.: Наука, 1988. – 302 с.

© Олейник Т.А., Скляр Л.В., Кушнирук Н.В., Харитонов В.Н.,
Хмель И.В., Олейник М.О., 2014

*Надійшла до редколегії 14.09.2014 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*