Повышение комплексности использования железорудного сырья с помощью винтовой сепарации

Прокопьев С. А.¹, Пелевин А. Е.^{2*}, Прокопьев Е. С.¹, Иванова К. К.³

¹ Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

² Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

³ Производственная компания «Спирит», г. Иркутск, Россия

*e-mail: a-pelevin@yandex.ru

Реферат

Целью работы является оценка возможности применения винтовой сепарации для повышения комплексности использования железорудного сырья за счет получения дополнительного концентрата из хвостов обогащения в слабом магнитном поле магнетитсодержащих руд.

Методика проведения исследований. Эксперименты выполнены в лабораторных и полупромышленных условиях с использованием винтовых шламовых сепараторов. Исходными продуктами являлись хвосты обогащения в слабом магнитном поле гематит-магнетитовых кварцитов, магнетитовых и титаномагнетитовых руд.

Результаты исследований. В полупромышленных условиях показана возможность получения гематитового концентрата с массовыми долями железа 63–66 % и диоксида кремния 4,6–8,0 % из отходов обогащения гематит-магнетитовых руд. Выход концентрата по отношению к хвостам обогащения составил 10–14 %. Лабораторные исследования по применению винтовой сепарации и концентрации на столе не позволили получить готовых железных или других концентратов из хвостов обогащения магнетитовых и титаномагнетитовых руд. При гравитационном обогащении хвостов переработки комплексных магнетитовых руд отмечено повышение содержания сульфидов меди и цинка в тяжелом продукте.

Выводы. Использование винтовой сепарации при обогащении гематит-магнетитовых кварцитов позволяет повысить комплексность использования железорудного сырья за счет получения гематитового концентрата. Применение винтовой сепарации следует признать нецелесообразным для снижения потерь железа с хвостами при обогащении скарных магнетитовых и титаномагнетитовых руд. Винтовую сепарацию можно использовать в качестве метода предварительного обогащения хвостов переработки комплексных скарных магнетитовых руд с целью получения промпродуктов, содержащих минералы цветных металлов.

Ключевые слова: комплексность использования сырья; железные руды; хвосты обогащения; винтовая сепарация; винтовой шламовый сепаратор; гематитовый концентрат; массовая доля железа.

Введение. Для обогащения каждого типа руд по полезному компоненту применяются различные основные методы обогащения – магнитный, гравитационный, флотационный и другие. Иногда используются комбинированные схемы, включающие несколько методов обогащения [1].

Основным методом при обогащении магнетитовых и титаномагнетитовых руд является магнитный метод, так как магнитная восприимчивость магнетита на несколько порядков превышает магнитную восприимчивость породных минералов. Используется сухая и мокрая магнитная сепарация (СМС и ММС) в слабом магнитном поле. Однако применяются и другие методы обогащения, например флотационный метод для доводки рядовых концентратов с целью получения высоко-

качественных концентратов для процесса металлизации (для бездоменного получения железа).

Повышение эффективности обогащения железных руд в основном осуществляется тремя известными способами.

1. Повышение комплексности использования сырья за счет увеличения извлечения в концентрат основного полезного компонента либо за счет получения дополнительного концентрата или товарного продукта. Помимо экономического эффекта в этом направлении важен экологический аспект – снижается количество техногенных отходов обогащения.

2. Повышение качества железного концентрата.

3. Снижение затрат на обогащение руды, в основном связанное с уменьшением затрат на измельчение.

Для решения этих задач испытываются и используются специальные методы магнитного обогащения [2, 3], флотационное обогащение [3–5], различные способы измельчения [6–8], схемы измельчения с тонким грохочением [3], схемы со стадийным выделением железного концентрата [9].

Применение гравитационного метода для обогащения железных руд. Одним из методов, используемых при обогащении железных руд, является гравитационный метод. При этом гравитационный метод обогащения не исключает магнитный метод. Магнитный метод – основной метод обогащения железных руд, а гравитационный используется для решения специальных задач.

Применение гравитационного метода обусловлено разницей между плотностями рудных и нерудных минералов, содержащихся в железных рудах. Плотность основных минералов железа – магнетита и гематита – составляет 4800–5200 кг/м³, а плотность основных нерудных минералов составляет в среднем – для кварца 2600 кг/м³, для амфиболов и пироксенов – 3200–3300 кг/м³.

Перспективными аппаратами для гравитационного обогащения магнетитовых руд являются винтовые сепараторы. Винтовая сепарация в ряде случаев применяется в схемах обогащения железных руд [10–11]. Теория винтовой сепарации достаточно изучена [12–14]. Сепараторы винтовые (СВМ – минеральные и СВШ – шламовые) предназначены для разделения измельченных руд по плотности при крупности питания –2+0,071 и –0,5+0 мм соответственно.

Повышение комплексности использования железорудного сырья. В настоящее время повышение комплексности использования сырья особенно актуально при обогащении гематит-магнетитовых кварцитов, рудными минералами которых являются сильномагнитный магнетит (Fe₃O₄) и слабомагнитный гематит (Fe₂O₃). На трех железорудных предприятиях России (Оленегорский, Михайловский и Кимкано-Сутарский ГОКи) слабомагнитный тонкий гематит переходит в хвосты мокрой магнитной сепарации (ММС) в слабом поле, что значительно снижает выход концентрата и извлечение железа в концентрат при обогащении.

Гематитовый концентрат с использованием гравитационных методов обогащения (отсадки) получают из немагнитного продукта ММС только на Оленегорском ГОКе [1] из гематит-магнетитовой руды Оленегорского месторождения. При этом в концентрат извлекается только гематит крупностью более 0,1 мм. Более мелкий гематит не извлекается и уходит в хвосты фабрики со сливами гидроциклонов и легкими продуктами отсадочных машин.

При обогащении гематит-магнетитовых кварцитов с весьма тонкой рудной вкрапленностью (0,03–0,071 мм) на Михайловском и Кимкано-Сутарском ГОКе гематит не извлекается в концентрат и переходит в хвосты.

Использование традиционных схем обогащения гематит-магнетитовых кварцитов с применением мокрой магнитной сепарации в слабом поле позволяет выделить в концентрат в основном только сильномагнитный магнетит.

Магнитное обогащение в сильном поле немагнитного продукта ММС не позволяет получить кондиционный гематитовый концентрат, так как гематит и некоторые порообразующие минералы имеют удельную магнитную восприимчивость одного порядка. Например, удельная магнитная восприимчивость амфиболов (куммингтонит, грюнерит) составляет $(3-5) \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$, а удельная магнитная восприимчивость гематита составляет $(2-20) \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$. Поэтому черновой гематитовый концентрат, полученный при магнитном обогащении в сильном поле, содержит гематит, амфиболы и сростки кварца с магнетитом и гематитом.

В дальнейшем черновой гематитовый концентрат можно обогащать с помощью флотационного метода [3] или с помощью гравитационных методов (шламовые концентрационные столы или шламовые винтовые сепараторы).

Принципиальная схема получения гематитового концентрата по магнитно-гравитационной схеме с применением высокоградиентных магнитных сепараторов (ВГМС) и гравитационных аппаратов приведена на рис. 1.

Рис. 1. Общая схема получения гематитового концентрата:

м – магнитный продукт; н – немагнитный продукт; т – тяжелый продукт; л – легкий продукт

Fig. 1. General scheme of obtaining hematite concentrate:
 м – magnetic product; н – nonmagnetic product; т – heavy product; л – light product

Результаты экспериментов и анализ полученных результатов. В табл. 1 приведены результаты полупромышленных и лабораторных испытаний по применению винтовой сепарации для получения гематитовых концентратов из немагнитных продуктов мокрой магнитной сепарации в слабом поле при обогащении гематит-магнетитовых руд.

Получение гематитового концентрата из железистых кварцитов Сутарского месторождения в лабораторных условиях выполнено по схеме, приведенной на рис. 1. Гематит руды Сутарского месторождения имеет чешуеобразную форму с преобладанием крупности 0,030–0,045 мм. Поэтому гравитационное обогащение выполнено на винтовом сепараторе СВШ-400 и лабораторном концентрационном столе МОЛМ при «шламовом» режиме работы (длина хода деки 3 мм, частота колебаний деки 420 мин⁻¹). Исходные пробы немагнитных продуктов операций ММС перед обогащением не измельчались. Дополнительно использовалось предварительное грохочение на сите 0,16 мм для удаления крупных частиц.

Результаты сравнительных испытаний показали, что использование гравитационного обогащения позволяет получить гематитовый концентрат с массовой долей железа не менее 60 % из железистых кварцитов Сутарского месторождения (табл. 1). Шламовый винтовой сепаратор по сравнению с концентрационным столом обеспечивает больший выход концентрата (14,8 % против 12,0 %) и извлечение Fe в концентрат (31,47 % против 26,34 %), но при меньшей массовой доле железа в концентрате (60,1 % против 62,3 %).

Таблица 1. Результаты применения гравитационного обогащения для получения гематитового концентрата из железистых кварцитов

Table 1. Results of applying gravitational dressing to obtain hematite concentrate from iron formations

Продукт	Технологические показатели обогащения (к схеме гравитационного обогащения)		
	Выход, %	Массовая доля Fe, %	Извлечение Fe, %
<i>Руда Сутарского месторождения, магнитно-гравитационная схема, лабораторные испытания, винтовой сепаратор СВШ-400 (основная и перечистная операции)*</i>			
Концентрат (тяжелый)	14,8 (12,0)	60,1 (62,3)	31,47 (26,34)
Хвосты (легкий)	85,2 (88,0)	22,7 (23,7)	68,53 (73,66)
Исходный (магнитный ВГМС, крупность –0,16+0 мм)	100,0	28,2 (28,3)	100,00
<i>Михайловский ГОК, полупромышленные испытания, винтовые сепараторы СВШ2-750 и СВШ-750, схема № 1 с направлением промпродуктов в хвосты (первый и второй режимы) **</i>			
Концентрат (тяжелый)	13,8 (12,0)	63,0 (65,4)	27,51 (24,84)
Промпродукты перечистных операций	20,0 (21,8)	39,4 (40,0)	24,93 (27,60)
Хвосты (легкий)	66,2	22,7	47,56
Исходный (подготовленный по крупности продукт –0,07+0,02 мм)	100,0	31,6	100,00
<i>Михайловский ГОК, полупромышленные испытания, винтовые сепараторы СВШ2-750 и СВШ-750, схема № 2 с направлением промпродуктов в основную операцию винтовой сепарации</i>			
Концентрат (тяжелый)	11,7	63,0	23,35
Хвосты (легкий)	88,3	27,4	76,65
Исходный (подготовленный по крупности продукт –0,07+0,02 мм)	100,0	31,6	100,00
<i>Михайловский ГОК, полупромышленные испытания, винтовые шлюзы СВШ2-750 и СВШ-750, схема № 3 с направлением промпродуктов во вторую операцию обесшламливания</i>			
Концентрат (тяжелый)	10,8	66,4	24,48
Хвосты (легкий)	89,2	24,8	75,52
Исходный (подготовленный по крупности продукт –0,07+0,02 мм)	100,0	29,3	100,00

* В скобках приведены результаты обогащения на лабораторном концентрационном столе; ** в скобках приведены результаты обогащения при втором режиме разделения на шламовом винтовом сепараторе второй перечистой операции.

На производственной площадке обогатительной фабрики Михайловского ГОКа выполнены полупромышленные испытания по получению гематитового концентрата из хвостов фабрики с применением винтовой сепарации. В качестве гравитационных аппаратов использовались винтовые сепараторы для обогащения шламов СВШ2-750 и СВШ-750, так как крупность зерен гематита менее 0,07 мм. Схема получения гематитового концентрата приведена на рис. 2.

Текущие хвосты обогатительной фабрики Михайловского ГОКа перед гравитационным обогащением подготавливались по крупности. Использовалась схема с последовательными операциями тонкого гидравлического грохочения (две операции, размеры отверстий сит грохотов 0,2 и 0,071 мм) и обесшламливания подрешетных продуктов (после каждой операции грохочения). Надрешетные продукты грохотов и сливы дешламаторов (шламы) направлялись в хвосты.

Рис. 2. Схема получения гематитового концентрата из хвостов Михайловского ГОКа

Fig. 2. Scheme of obtaining hematite concentrate from tailings at Mikhailovsky GOK

Подготовка по крупности обеспечила подачу на гравитационное обогащение продукта крупностью 0,02–0,071 мм. Использование схемы подготовки гематит-содержащего продукта (хвостов фабрики) по крупности обусловлено тем, что свободный гематит в основном содержится в продукте менее 0,071 мм, а шламы (менее 0,02 мм) являются труднообогатимым продуктом.

Схема гравитационного обогащения с применением винтовых сепараторов включала основную (СВШ2-750, 2 шт.), контрольную (СВШ-750) и две перечистные операции (в каждой операции по одному СВШ2-750). Испытаны три схемы (рис. 2). Схема № 1 не включала циркуляцию промпродуктов (п/п) перечистных

операций. По схеме № 1 промпродукты объединялись с хвостами. В двух других схемах использовалась циркуляция промпродуктов – промпродукты направлялись в операцию основной винтовой сепарации (схема № 2) и во вторую операцию обесшламливания (схема № 3).

Результаты полупромышленных испытаний показали, что из хвостов Михайловского ГОКа при их подготовке по крупности ($-0,071+0,02$ мм) возможно с помощью винтовых шлюзов получать гематитовый концентрат с массовой долей железа 63–66 % (табл. 1).

Рис. 3. Зависимость массовой доли Fe в тяжелом продукте основной винтовой сепарации от массовой доли твердого в питании операции

Fig. 3. Dependence between the mass share of Fe in heavy product of basic screw separation and the mass share of solid in feed of the operation

Наиболее перспективной (более простой и менее затратной) является схема № 1 с направлением промпродуктов перечистных операций в хвосты (рис. 2). Эта схема позволила получить гематитовые концентраты с массовой долей железа 63,0–65,4 % при большем выходе и извлечении железа в концентрат по сравнению со схемами № 2 и 3 (табл. 1). Массовая доля железа в гематитовом концентрате изменялась путем поворота концентратного отсекавателя винтового сепаратора второй перечистной операции (первый и второй режимы).

Схемы № 2 и 3 с циркуляцией промпродуктов (рис. 2) испытывались с целью повышения выхода гематитового концентрата и извлечения в него железа. Использование циркуляции промпродуктов не привело к повышению выхода гематитового концентрата и извлечения в него железа (табл. 1). Это можно объяснить тем, что гематитсодержащие продукты с весьма тонкой рудной вкрапленностью гематита являются труднообогащаемым сырьем (низкая крупность, присутствие тонких сростков кварца с магнетитом, окисленных минералов железа, амфиболов). Поэтому любые промпродукты обогащения (гравитационного, флотационного, магнитного) таких гематитсодержащих продуктов являются еще более труднообогащаемыми и на современном уровне развития технологии и техники их лучше направлять в хвосты.

Выполненные испытания позволили определить влияние массовой доли твердого в питании на массовую долю железа в тяжелом продукте операции основной винтовой сепарации (рис. 3) и получить зависимость массовой доли диоксида кремния от массовой доли железа в конечном гематитовом концентрате (рис. 4).

Зависимость массовой доли железа в тяжелом продукте операции основной винтовой сепарации от массовой доли твердого в питании носит экстремальный характер – максимум функции (48,4 % Fe) соответствует массовой доле твердого в питании 42,6 %. Для обеспечения величины массовой доли железа в тяжелом продукте основной винтовой сепарации не ниже 48 % необходимо поддерживать массовую долю твердого в питании в диапазоне 36,5–48,7 % (рис. 3). Оптимальное значение массовой доли твердого в питании винтовых шлюзов находится в широком диапазоне (42,6±6,1 %). Это говорит о возможности поддержания этого оптимального значения в промышленных условиях.

Рис. 4. Зависимость массовой доли SiO_2 от массовой доли Fe в гематитовом концентрате

Fig. 4. Dependence between the mass share of SiO_2 and the mass share of Fe in hematite concentrate

При увеличении массовой доли железа в гематитовом концентрате массовая доля диоксида кремния в концентрате снижается (рис. 4). Однако гематитовый и магнетитовый концентраты с одинаковой массовой долей железа в (65–66 %) отличаются по массовой доле в них диоксида кремния. Массовая доля диоксида кремния в гематитовом концентрате (4,6–5,7 % SiO_2 , рис. 4), полученном гравитационным методом, ниже массовой доли диоксида кремния в магнетитовом концентрате обогатительной фабрики (7,3–8,4 % SiO_2), получаемом магнитным методом. Это повышает металлургическую ценность гравитационного гематитового концентрата (за счет более низкой массовой доли диоксида кремния) и, соответственно, может повысить металлургическую ценность суммарного рядового гематит-магнетитового концентрата обогатительной фабрики Михайловского ГОКа.

Таким образом, применение гравитационного обогащения позволяет повысить комплексность использования железорудного сырья при переработке гематит-магнетитовых кварцитов за счет получения дополнительного гематитового концентрата. Главным недостатком гравитационных схем извлечения гематита с весьма тонкой рудной вкрапленностью из хвостов ММС является необходимость применения схемы подготовки исходного продукта по крупности с целью удаления крупных (более 0,071 мм) и шламистых (менее 0,02 мм) частиц. Поэтому гравитационные схемы извлечения гематита крупностью менее 0,071 мм при обогащении гематит-магнетитовых кварцитов пока не используются.

К промышленным типам железных руд, кроме магнетитовых и гематит-магнетитовых кварцитов, относятся также скарновые магнетитовые руды и титаномаг-

нетитовые руды. При промышленном обогащении этих руд регулярно поднимается вопрос о снижении массовой доли железа в хвостах и о снижении извлечения железа в хвосты (снижении потерь железа с хвостами). Для скарновых магнетитовых руд потери железа с хвостами достигают 20 % при массовой доле железа в хвостах 10–11 %. При обогащении титаномагнетитовой руды Гусевгорского месторождения потери железа с хвостами достигают 33 % при массовой доле железа в хвостах 6–7 %.

Для оценки возможности повышения комплексности использования железорудного сырья при обогащении скарновых магнетитовых руд и титаномагнетитовых руд выполнены лабораторные испытания по применению гравитационного обогащения для доизвлечения железа из хвостов обогатительных фабрик. Использована одна операция гравитационного обогащения. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты лабораторных испытаний по применению гравитационного обогащения для доизвлечения железа из хвостов обогащения скарновых магнетитовых руд и титаномагнетитовой руды

Table 2. Results of laboratory tests on the use of gravitational dressing to reextract iron ore from the skarn magnetite ore and titanium magnetic ore mill tailings

Продукт	Технологические показатели обогащения к операции		
	Выход, %	Массовая доля Fe (S), %	Извлечение Fe, %
<i>Хвосты Мундыбашской обогатительной фабрики, винтовой сепаратор СВШ-500, 2006 г.</i>			
Тяжелый	13,06	13,27 (6,15)	18,48
Легкий	86,94	8,80 (1,22)	81,52
Исходный (98 % класса –0,5+0 мм)	100,00	9,38 (1,86)	100,00
<i>Хвосты Абагурской обогатительной фабрики, винтовой сепаратор СВШ-500, 2006 г.</i>			
Тяжелый	14,30	14,95 (8,28)	21,42
Легкий	85,70	9,15 (1,31)	78,58
Исходный (92 % класса –0,5+0 мм)	100,00	9,98 (2,31)	100,00
<i>«Мелкие» хвосты (немагнитные продукты ММС-II – ММС-IV) Качканарского ГОКа, концентрационный стол (длина хода деки 7 мм, частота колебаний деки 420 мин⁻¹), 2006 г.</i>			
Тяжелый	12,70	7,02	14,62
Легкий	87,30	5,97	85,38
Исходный (88 % класса –0,5+0 мм)	100,00	6,10	100,00

Результаты лабораторных испытаний показали нецелесообразность применения гравитационных методов для доизвлечения железа из хвостов обогащения скарновых магнетитовых руд (Мундыбашская и Абагурская фабрики) и титаномагнетитовых руд (Качканарский ГОК). Выход тяжелых продуктов менее 15 %, а повышение массовой доли железа в них незначительно (табл. 2). При этом массовая доля железа в тяжелых продуктах более чем в два раза ниже массовой доли железа в исходных рудах.

Положительный или отрицательный результат применения гравитационного или другого метода обогащения для повышения комплексности использования любого сырья будет определять минеральный состав этого сырья.

В железистых кварцитах, наряду с основным рудным минералом – магнетитом, есть второй железорудный минерал – гематит. Поэтому гравитационное получение гематитового концентрата повышает экономические показатели предприятия и комплексность использования сырья.

В скарновых магнетитовых рудах и титаномагнетитовых рудах в промышленном масштабе присутствует только один железорудный минерал магнетит (титаномагнетит). Извлечение магнетита в концентрат на обогатительных фабриках составляет более 95 %. Для снижения потерь магнетита с хвостами обогащения рациональнее увеличить индукцию магнитного поля сепараторов первых стадий обогащения, чем использовать дополнительные технико-технологические решения по доизвлечению магнетита из хвостов.

Однако железные руды могут быть комплексными. В скарновых магнетитовых рудах часто присутствуют минералы цветных металлов, а в титаномагнетитовых рудах присутствует титансодержащий минерал ильменит. Поэтому повышение комплексности использования этих руд прежде всего связано с дополнительным извлечением минералов цветных металлов.

По данным минералогического анализа в пробах исследованных хвостов Мундыбашской и Абатурской фабрик массовая доля сфалерита и халькопирита составляет 0,20–0,27 и 0,10–0,13 %. Массовая доля серы в тяжелом продукте винтовой сепарации более чем в три раза превышает массовую долю серы в исходных хвостах (табл. 2). Это позволяет предполагать, что в тяжелом продукте винтовой сепарации сконцентрировались сульфиды цинка и меди.

Поэтому винтовую сепарацию можно рассматривать в качестве метода предварительного обогащения хвостов переработки комплексных скарновых магнетитовых руд, содержащих минералы цветных металлов. Тяжелый продукт винтовой сепарации в дальнейшем можно перерабатывать другими методами обогащения с получением концентратов цветных металлов.

Выводы. Использование винтовой сепарации при обогащении гематит-магнетитовых кварцитов позволяет повысить комплексность использования железорудного сырья за счет получения гематитового концентрата.

Применение винтовой сепарации следует признать нецелесообразным для снижения потерь железа с хвостами при обогащении скарновых магнетитовых и титаномагнетитовых руд.

Винтовую сепарацию можно использовать в качестве метода предварительного обогащения хвостов переработки комплексных скарновых магнетитовых руд, с целью получения промпродуктов, содержащих минералы цветных металлов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник по обогащению руд. Обогательные фабрики / под. ред. О. С. Богданова. М.: Недра, 1984. 358 с.
2. Кармазин В. И., Кармазин В. В. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых. В 2 т. Т. 1. Магнитные и электрические методы обогащения полезных ископаемых. М.: Горная книга, 2012. 672 с.
3. Пелевин А. Е. Магнитные и электрические методы обогащения. Магнитные методы обогащения. Екатеринбург: УГГУ, 2018. 296 с.
4. Arantes R. S., Lima R. M. F. Influence of sodium silicate modulus on iron ore flotation with sodium oleate // International Journal of Mineral Processing. 2013. Vol. 125. P. 157–160.
5. Wanzhong Yin, Jizhen Wang, Longhua Xu. N. Reagents in the reverse flotation of carbonate-containing iron ores // Proceedings of the 11th International Congress for Applied Mineralogy. 2015. Part of the series Springer Geochemistry / Mineralogy. P. 459–470.
6. Collinao E., Davila P., Irrazabal R., de Carvalho R., Tavares M. Continuous improvement in SAG mill liner design using new technologies // XXVII International Mineral Processing Congress (IMPC). Santiago, Chile, 2014. Chap. 8. P. 104–118.
7. Rosa A. C., de Oliveira P. S., Donda J. D. Comparing ball and vertical mills performance: An industrial case study // XXVII IMPC. Santiago, Chile, 2014. Chap. 8. P. 44–52.
8. Jankovic A., Valery W., Sönmez B., Oliveira R. Effect of circulating load and classification efficiency on HPGR and ball mill capacity // XXVII IMPC. Santiago, Chile, 2014. Chap. 9. P. 2–14.
9. Прокопьев С. А., Пелевин А. Е., Напольских С. А., Гельбинг Р. А. Стадиальное выделение магнетитового концентрата с использованием винтовой сепарации // Обогащение руд. 2018. № 4. С. 28–33. DOI: 10.17580/or.2018.04.06.

10. Prabal Kumar Agrwal, Sanket Bacchuwar, Rao G. V., Sharma S. K. Optimisation of process parameters of spiral concentrator for beneficiation of iron ore stacked slimes from Kirandul, Chattisgarh, India // XXVIII IMPC Proceedings. Quebec, Canada, 2016. Paper ID: 627.

11. Sadeghi M., Bazin C., Hodouin D., Devin P.-O., Lavoie F., Renaud M. Control of spiral concentrators for the concentration of iron ore // XXVIII IMPC Proceedings. Quebec, Canada, 2016. Paper ID: 792.

12. Prokopen S. A., Pelevin A. E., Morozov Iu. P. Some features of mass transfer at spiral // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 7. С. 67–74.

13. Auret L., Haasbroek A., Holtzhausen P. and Lindner B. Online concentrator band position detection for a spiral concentrator using a Raspberry Pi // XXVII IMPC. Santiago, Chile, 2014. Chap. 17. P. 83–92.

14. Darryel Boucher, Joshua Sovechles, Zhoutong Deng, Raymond Langlois, Thomas W. Leadbeater Observation of wash water effect on particle motion in a spiral concentrator by positron emission particle tracking // XXVIII IMPC Proceedings. Quebec, Canada, 2016. Paper ID: 436.

Поступила в редакцию 22 мая 2019 года

Сведения об авторах:

Прокопьев Сергей Амперович – начальник отдела комплексного использования минерального сырья Института земной коры СО РАН. E-mail: sapr100@mail.ru

Пелевин Алексей Евгеньевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры обогащения полезных ископаемых Уральского государственного горного университета. E-mail: a-pelevin@yandex.ru

Прокопьев Евгений Сергеевич – инженер-обогачитель отдела комплексного использования минерального сырья Института земной коры СО РАН. E-mail: prokopyeves@mail.ru

Иванова Ксения Константиновна – инженер-обогачитель Производственной компании «Спирит». E-mail: kseney_90@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-6-70-80

Increasing the integrity of iron-ore raw material use with the help of screw separation

Sergei A. Prokopiev¹, Aleksei E. Pelevin², Evgenii S. Prokopiev³, Kseniia K. Ivanova³

¹ Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia.

² Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

³ Production company "Spirit", Irkutsk, Russia.

Abstract

Research aims to assess the possibility of using screw separation to increase the integrity of iron-ore raw material utilization by means of obtaining additional concentrate from mill tailings in weak magnetic field of magnetite ore.

Research methodology. Experiments have been carried out in laboratory and semi-industrial conditions with the use of screw slime separators. Source products were the mill tailings in weak magnetic field of hematite-magnetite quartzites, magnetite and titanium magnetite ore.

Research results. In semi-industrial conditions, the possibility has been shown of obtaining the hematite concentrate with 63–66% mass shares of iron ore and 4.6–8.0% silicon dioxide from hematite-magnetite tailings. The output of concentrate to mill tailings is 10–14%. Laboratory research on the application of screw separation and table concentration haven't allowed obtaining iron or other concentrates from magnetite and titanium magnetite ore tailings. Gravitational dressing of complex magnetite ore tailings has revealed increased content of copper and zinc sulfides in heavy product.

Summary. The use of screw separation in hematite-magnetite quartzites dressing makes it possible to increase the integrity of iron-ore raw material application by means of obtaining hematite concentrate. The use of screw separation should be accepted inadvisable to reduce the loss of iron ore with tailings in skarn magnetite and titanium magnetite ore dressing. Screw separation can be used as a method of complex skarn magnetite ore preliminary dressing to obtain semi-products containing nonferrous metal minerals.

Key words: integrity of raw material utilization; iron ore; mill tailings; screw separation; screw slime separation; hematite concentrate; mass share of iron.

REFERENCES

1. Bogdanov O. S. (ed.) *Reference book on ore dressing. Dressing mills. 2nd edition.* Moscow: Nedra Publishing; 1984. (In Russ.)
2. Karmazin V. I., Karmazin V. V. Magnetic and electrical methods of mineral dressing. Vol. 1. In: *Magnetic, electrical, and special methods of mineral dressing. In 2 volumes.* Moscow: Gornaya kniga Publishing; 2012. (In Russ.)

3. Pelevin A. E. *Magnetic and electrical dressing methods*. Ekaterinburg: UrSMU Publishing; 2018. (In Russ.)
4. Arantes R. S., Lima R. M. F. Influence of sodium silicate modulus on iron ore flotation with sodium oleate. *International Journal of Mineral Processing*. 2013; 125: 157–160.
5. Wanzhong Yin, Jizhen Wang, Longhua Xu. N. Reagents in the reverse flotation of carbonate-containing iron ores. *Proceedings of the 11th International Congress for Applied Mineralogy*. 2015; Part of the series Springer Geochemistry/Mineralogy: 459–470.
6. Continuous improvement in SAG mill liner design using new technologies / E. Collinao, P. Davila, R. Irarrazabal, R. de Carvalho, M. Tavares. In: *XXVII International Mineral Processing Congress (IMPC)*. Santiago, Chile, 2014. Chap. 8. P. 104–118.
7. Rosa A. C., de Oliveira P. S., Donda J. D. Comparing ball and vertical mills performance: An industrial case study. In: *XXVII IMPC. Santiago, Chile, 2014*. Chap. 8. P. 44–52.
8. Jankovic A., Valery W., Sönmez B., Oliveira R. Effect of circulating load and classification efficiency on HPGR and ball mill capacity. In: *XXVII IMPC. Santiago, Chile, 2014*. Chap. 9. P. 2–14.
9. Prokopiev S. A., Pelevin A. E., Napolskikh S. A., Gelbing R. A. Staged screw separation of magnetite concentrate. *Obogashchenie Rud = Mineral Processing*. 2018; 4: 28–33. DOI: 10.17580/or.2018.04.06. (In Russ.)
10. Prabal Kumar Agrwal, Sanket Bacchuwar, Rao G. V., Sharma S. K. Optimisation of process parameters of spiral concentrator for beneficiation of iron ore stacked slimes from Kirandul, Chattisgarh, India. In: *XXVIII IMPC Proceedings. Quebec, Canada, 2016*. Paper ID: 627.
11. Sadeghi M., Bazin C., Hodouin D., Devin P.-O., Lavoie F., Renaud M. Control of spiral concentrators for the concentration of iron ore. In: *XXVIII IMPC Proceedings. Quebec, Canada, 2016*. Paper ID: 792.
12. Prokopen S. A., Pelevin A. E., Morozov Iu. P. Some features of mass transfer at spiral. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2018; 7: 67–74. (In Russ.)
13. Auret L., Haasbroek A., Holtzhausen P. and Lindner B. Online concentrat band position detection for a spiral concentrator using a Raspberry Pi. In: *XXVII IMPC. Santiago, Chile, 2014*. Chap. 17. P. 83–92.
14. Observation of wash water effect on particle motion in a spiral concentrator by positron emission particle tracking / Darryel Boucher, Joshua Sovechles, Zhoutong Deng, Raymond Langlois, Thomas W. Leadbeater. In: *XXVIII IMPC Proceedings. Quebec, Canada, 2016*. Paper ID: 436.

Received 22 May 2019

Information about authors:

Sergei A. Prokopiev – Chief of the Department of Integrated Use of Mineral Raw Materials, Institute of the Earth's Crust SB RAS. E-mail: sapr100@mail.ru

Aleksei E. Pelevin – DSc (Engineering), Associate professor, professor of the Department of Mineral Processing, Ural State Mining University. E-mail: a-pelevin@yandex.ru

Evgenii S. Prokopiev – mineral processing engineer, Department of Integrated Use of Mineral Raw Materials, Institute of the Earth's Crust SB RAS. E-mail: prokopyeves@mail.ru

Kseniia K. Ivanova – mineral processing engineer, Production company "Spirit". E-mail: kseney_90@mail.ru

Для цитирования: Прокопьев С. А., Пелевин А. Е., Прокопьев Е. С., Иванова К. К. Повышение комплексности использования железорудного сырья с помощью винтовой сепарации // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 6. С. 70–80. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-6-70-80

For citation: Prokopiev S. A., Pelevin A. E., Prokopiev E. S., Ivanova K. K. Increasing the integrity of iron-ore raw material use with the help of screw separation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 6: 70–80 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-6-70-80