

УДК 622.767.063.2'185

Е.К. Бабец, канд. техн. наук, с.н.с., член-корреспондент АГНУ,

А.В. Петрухин, старший научный сотрудник,

К.В. Николаенко, канд. техн. наук, с.н.с.,

Научно-исследовательский горнорудный институт ГВУЗ «КНУ»

А.В. Давыдов, канд. техн. наук, А.С. Батареев, В.А. Гурин

ПАО «ЕВРАЗ СУХА БАЛКА»

ПОЛУЧЕНИЕ ТОВАРНОЙ АГЛОРУДЫ ИЗ НАДРЕШЕТНОГО ПРОДУКТА ДРОБИЛЬНО-СОРТИРОВОЧНОЙ ФАБРИКИ ШАХТЫ ИМ. ФРУНЗЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕЛЕКТИВНОГО РАЗРУШЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ РУДЫ

Розроблена технологічна схема виробництва товарної аглоруда з надрешітного продукту дробильно-сортувальної фабрики шахті ім. Фрунзе шляхом селективного руйнування мінеральних компонентів руди з використанням відцентрової дробарки та сухої магнітної сепарації

Ключові слова: аглоруда, відсів дробильно-сортувальної фабрики, вміст заліза, селективне дроблення, суха магнітна сепарація

Разработана технологическая схема производства товарной аглоруды из надрешетного продукта дробильно-сортировочной фабрики шахты им. Фрунзе путем селективного разрушения минеральных компонентов руды с применением центробежной дробилки и сухой магнитной сепарации

Ключевые слова: аглоруда, отсеv дробильно-сортировочной фабрики, содержание железа, селективное дробление, сухая магнитная сепарация

Developed the technological scheme of production the marketable sinter ore from oversize product of crushing and screening plant Frunze mine by selective destruction of mineral constituents of the ore using centrifugal crusher and dry magnetic separation.

Keywords: sinter ore, gravel crushing and screening plant, iron content, selective crushing, dry magnetic separation

Постановка проблемы и ее связь с научными и практическими заданиями. Основными видами минерального сырья Криворожского бассейна являются богатые и бедные железные руды. Богатые руды относятся к наиболее полно и всесторонне изученным геологическим объектам железисто-кремнистой формации [1, 2, 3]. Известны три их основных вида: гетитовые (бурожелезняковые), магнетитовые и гематитовые. Первые практически полностью отработаны. Добыча богатых магнетитовых руд в связи с истощением запасов и большой глубиной залегания их остаточных залежей также прекращена. Продолжается разработка месторождений богатых гематитовых руд, она ведется семью шахтами и двумя карьерами.

Выделяются четыре их минеральные разновидности: 1) мартитовые, железнослюдко-мартитовые («синьки») – среднее содержание железа около 62 мас.%; 2) дисперсногематит-мартитовые, дисперсногематит-железнослюдко-мартитовые («краско-синьки») – около 59 мас.%; 3) мартит-дисперсногематитовые («синько-краски») – около 54 мас.%; 4) дисперсногематитовые, каолинит-дисперсногематитовые («краски») – около 50 мас.% [1, 2, 3]. В пределах разрабатываемых рудных залежей в разных количествах присутствуют все четыре разновидности руд. Среднее содержание железа в составе руд подготовленных к отработке залежей разных месторождений составляет от 55 до 58 мас.%.

Поскольку селективная отработка руд названных минеральных разновидностей не производится, извлекаемая из недр рудная масса имеет промежуточный минеральный и химический состав.

В связи со сложностью контактов рудных тел, несовершенством технологии добычи руды – в рудную массу в процессе ее добычи поступают нерудные компоненты: гематитовые кварциты (среднее содержание железа около 37 мас.%), безрудные (силикатные, каолинит-дисперсногематитовые, мономинеральные) кварциты (около 25 мас.%); разного состава сланцы (около 20 мас.%), а также в незначительном количестве горные породы, которыми сложены толщи, подстилающие железисто-кремнистую формацию – тальк-содержащие, кварц-мусковитовые сланцы, мусковитовые кварциты, амфиболиты, граниты и др. (около 15 мас.%). Содержание в добываемой рудной массе нерудных компонентов изменяется от 20 до 30 мас.%, в том числе гематитовых кварцитов 15-25%, других горных пород около 5%.

Присутствием в составе добываемой рудной массы нерудных компонентов объясняется более низкое содержание в ее составе железа (52-53 мас.%) по сравнению с его средним содержанием в руде подготовленных к отработке залежей (55-58 мас.%).

Для повышения содержания железа в товарной руде до 55-58 и более мас.% на всех шахтах Кривбасса были построены дробильно-сортировочные фабрики (ДСФ). Методом трехстадийного дробления и грохочения производится разделение менее прочных частиц богатых руд и более прочных, более устойчивых к механическим воздействиям частиц большинства маложелезистых горных пород. Полезным конечным продуктом обогащения является товарная агломерационная руда с общим содержанием железа 55-60 мас.% (крупностью 10-0 мм); отходом обогащения – крупнозернистый отсев ДСФ (крупностью 10-100 мм) с общим содержанием железа от 38 до 45 мас.%, в среднем около 42 мас.%.

Вследствие недостаточной избирательности дробления и грохочения, в составе крупнозернистого отсева кроме низкожелезистых горных пород присутствуют также частицы богатых руд. Их количество в отсеве ДСФ

разных шахт колеблется, в зависимости от минералогических характеристик исходной руды, от 5 до 15% от общей массы отсева, иногда превышает 20%.

В складах шахт Криворожского бассейна накоплено, по разным оценкам, от 10 до 20 млн. т этого вида сырья (в складах отдельных шахт – от 1 до 4 млн. т). Ежегодно этот показатель возрастает на 1-2 млн. т.

Значительные объемы крупнозернистого отсева ДСФ, постоянное пополнение его складов, высокое содержание железа в его составе являются причиной того, что на протяжении последних 15-20 лет он изучается как один из приоритетных видов нетрадиционного железорудного сырья Кривбасса. Были проведены минералогические исследования и лабораторные, полупромышленные испытания обогатимости отсева с целью производства агломерационной руды, аглоконцентрата и концентрата [публикации КНУ, РИВС, Механобр, ПРОМЭКОЛ, ПРОМТЕХНОЛ]. Работы проводились в следующих направлениях.

1. Разработка технологии производства аглоруды с общим содержанием железа около 55 мас.% путем дробления отсева ДСФ в щековых дробилках до крупности частиц менее 10 мм и «сухой» магнитной сепарации полученного продукта в поле повышенной интенсивности. Исследования проводились в институте «Механобрчермет» (Кривой Рог), на кафедре обогащения полезных ископаемых Криворожского национального университета (КНУ), в научно-производственной фирме «Продэкология» (Ровно) (Н.К. Воробьев, Т.А.Олейник, А.А.Лозин, Ю.Л.Грицай, И.П.Богданова, В.В.Нитяговский, В.А.Гурин и др.). В лабораторных условиях были получены результаты, близкие к оптимальным. На основе полученных технологических решений были построены несколько небольшой мощности (до 1 млн. т исходного сырья в год) промышленных установок предприятий «Гамаюн», «Укрмеханобр», «Сигма» и др. Опыт их работы на протяжении более 10 лет показал, что содержание железа в составе полезного конечного продукта, получаемого в промышленных условиях с использованием этой технологии, не превышает 52-53 мас.%; выход продукта (30-40%); содержание железа в отходах обогащения очень высокое – 35-40 и более мас.% [4, 5].

2. Обоснование возможности производства крупнокусковой (размер частиц 20-100 мм) агломерационной руды методом механической рудоразборки материала крупнозернистого отсева ДСФ в непрерывном потоке на основе геофизической (гамма-гамма метод) идентификации рудных и нерудных частиц. Использовался материал отсева ДСФ без предварительной подготовки. Задачей было отделение присутствующих в составе отсева частиц богатой гематитовой руды от нерудных частиц. В результате необходимо было получить полезный конечный продукт с содержанием железа не ниже 55-58 мас.%. Лабораторные и

полупромышленные испытания проводились в Лаборатории геофизических методов контроля качества минерального сырья КНУ (А.А.Азарян). Полученные результаты показали, что технология в использованном аппаратном обеспечении не позволила достигнуть необходимого уровня разделения рудных и нерудных частиц. Исследования в этом направлении в дальнейшем не проводились.

3. Минералогическое обоснование, разработка технологии и аппаратного обеспечения производства крупнокусковой (20-80 мм) агломерационной руды методом механической рудоразборки материала крупнозернистого отсева ДСФ в непрерывном потоке на основе использования разных (термических, магнитных, плотностных, оптических и др.) физических методов идентификации рудных и нерудных частиц. Использовался материал отсева ДСФ без предварительной подготовки. Основная задача состояла в достижении максимальной эффективности разделения в непрерывном рудном потоке частиц богатой гематитовой руды и нерудных частиц. Общее содержание железа в составе полезного конечного продукта должно быть не ниже 55-58 мас.%. Лабораторные и полупромышленные испытания проводились в лабораториях Научно-производственной фирмы «Промтехнологии» (Кривой Рог) и кафедры геологии и прикладной минералогии КНУ (В.М.Волошин, В.Д.Евтехов, В.В.Филенко, К.В.Николаенко). В лабораторных условиях был изучен отсев ДСФ всех шахт Кривбасса, а также низкосортное (содержание железа 42-50 мас.%) железорудное сырье карьера «Южный» шахтоуправления комбината «АрселорМиттал Кривой Рог» (АМКР). По результатам всех экспериментов был получен полезный конечный продукт с содержанием железа 55-57 мас.% с выходом 20-25%. Полупромышленные испытания, проведенные с помощью обогатительной установки, собранной НПФ «Промтехнологии», для отсева ДСФ шахт «Юбилейная», им. М.В.Фрунзе и шахтоуправления комбината АМКР подтвердили эти результаты.

4. Минералогические исследования и разработка технологии производства аглоруды с общим содержанием железа около 60 мас.% методом «сухой» классификации в воздушном потоке. В качестве исходного материала использовалось низкокондиционное и некондиционное гематитовое сырье месторождений штата Орисса (Индия) (исходное содержание железа около 52 мас.%) и месторождения Каражал (Центральный Казахстан) (41 мас.%). Исходное сырье подвергалось дроблению до минералогически обоснованной крупности частиц, обеспечивающей необходимую степень раскрытия рудных и нерудных частиц. Дробленный материал направлялся на гравитационную классификацию в воздушном потоке. Технологические испытания проводились с использованием лабораторной установки воздушной классификации и полупромышленной

установки «АЭРОМЕХ» САД-4 (Луганск). Исследования проводились на кафедре геологии и прикладной минералогии КНУ (В.Д.Евтехов, К.В.Николаенко, Е.В.Евтехов, В.В.Филенко, О.С.Демченко). Из сырья индийских месторождений был получен полезный конечный продукт с содержанием железа около 61 мас.%, из сырья месторождения Каражал – около 56 мас.%. Для сравнения были выполнены эксперименты с использованием водной гравитационной сепарации с помощью концентрационного стола. Качество концентрата было значительно выше – содержание железа в его составе, соответственно, 67,5 и 66,5 мас.%. Таким образом, результаты экспериментов не только еще раз подтвердили более высокую эффективность «водных» технологий, но и показали, что с использованием «сухой» гравитационной сепарации возможно производство кондиционной агломерационной руды и аглоконцентрата. Полученные данные были использованы для составления эскизного рабочего проекта обогатительной установки для одного из месторождений низкокondиционной гематитовой руды штата Орисса.

5. Разработка технологии производства железорудного концентрата с общим содержанием железа около 65 мас.% из исходного гематитового сырья разного качества путем дробления и измельчения его до крупности частиц менее 0,071 или 0,050 мм и последующего обогащения флотационным методом. Исследования проводились в РИВС (Санкт-Петербург). В лабораторных условиях были получены результаты, соответствующие ожидаемым. Полупромышленные испытания, которые проводились на обогатительной установке Криворожского горно-обогатительного комбината окисленных руд (ЖГОКОРа), проводились с использованием в качестве исходного сырья рядовых гематитовых кварцитов Ингулецкого месторождения (содержание железа около 37 мас.%). Полученные результаты подтвердили данные лабораторных исследований.

6. Минералогическое исследование железорудного сырья, обоснование оптимальных методов его обогащения, разработка технологии и составление проекта установки по производству железорудного концентрата с содержанием железа 65-67 мас.% из отсева ДСФ после его доизмельчения до крупности частиц менее 0,1 мм. Основными задачами рудоподготовки было достижение максимально возможного раскрытия рудных и нерудных частиц в продуктах измельчения и недопущение при этом переизмельчения (ошламования) рудных минералов. В качестве основной обогатительной операции было предложено «мокрое» гравитационное обогащение измельченного материала с использованием концентрационных столов, конусных, винтовых сепараторов. Для доизвлечения рудных минералов из отходов основной операции обогащения применялись гравитационные, магнитные, флотационные методы. Использовался материал отсева ДСФ всех

шахт Кривбасса, а также низкосортные (общее содержание железа 46-52 мас.%) богатые гематитовые руды карьеров «Северный» шахтоуправления комбината АМКР и «Южный» металлургического завода им. Ильича (Мариуполь). Изучались также рядовые гематитовые кварциты со средним содержанием железа около 37 мас.% месторождений Криворожского бассейна, Запорожского железорудного комбината, Михайловского и Лебединского ГОКов, многих месторождений Казахстана, Ирана, Перу. В качестве исходного материала использовались также другие виды железорудного сырья: гематит-содержащие лежалые хвосты обогатительных фабрик Кривого Рога и Желтых Вод, лежалые шламы нескольких металлургических заводов Украины, Казахстана, Сербии, Российской Федерации («АМКР», «АрселорМиттал Темир Тау», «Азовсталь», им. Ильича, «Запорожсталь», Магнитогорский металлургический комбинат, Алчевский, Енакиевский, Донецкий металлургические заводы). Лабораторные и полупромышленные испытания, проектные работы проводились в лабораториях кафедры геологии и прикладной минералогии КНУ и Научно-исследовательского горнорудного института (НИГРИ) (В.Д.Евтехов, Е.В.Евтехов, К.В.Николаенко, В.В.Филенко, Т.В.Науменко, А.Я.Смирнов, Е.К. Бабец, А.В. Петрухин). По результатам экспериментов со всеми видами сырья был получен железорудный концентрат с общим содержанием железа не ниже 65 мас.%. Полупромышленные испытания подтвердили данные лабораторных исследований. В соответствии с предложенной технологией были построены три промышленные обогатительные установки по обогащению исходного сырья, которое не требовало дробления и измельчения, было признанным готовым к обогащению без рудоподготовки: лежалые хвосты Центральной обогатительной фабрики (ЦОФ) шахты «Северная» рудника им. В.А.Валявко (предприятие «Подряд»); лежалые металлургические шламы комбината «АМКР» (предприятие «Гонта Технология»); лежалые хвосты обогатительной фабрики шахты «Новая» (Желтые Воды) (предприятие «Транс-Трейд»). Все эти предприятия работают, производят железорудный концентрат, соответствующий проектным показателям (содержание железа около 65 мас.%).

Таким образом, из всех предложенных технологий переработки кускового некондиционного гематитового сырья, в полном объеме была реализована только основанная на дроблении крупнозернистого отсева ДСФ в щековых дробилках до крупности частиц менее 10 мм с последующим «сухим» магнитным обогащением в поле повышенной интенсивности. В качестве исходного сырья на обогатительных установках использовался отсев ДСФ шахт «Заря-Октябрьская», «Родина», а также карьеров «Южный» и «Северный».

Работа обогатительных установок показала, что содержание железа в производимой агломерационной руде не превышает 52-53 мас.%. Основная причина – недостаточно эффективное раскрытие агрегатов рудных и нерудных минералов, вследствие чего в полезный конечный продукт поступает большое количество рудно-нерудных сростков.

Постановка задачи. На сегодняшний день конъюнктура мирового рынка железорудного сырья характеризуется профицитом предложения и, соответственно, повышенными требованиями к качеству продукта. Сохранение данной тенденции прогнозируется и на среднесрочную перспективу.

В связи этим, главной задачей, при производстве вторичной аглоруды из крупнокусковых отходов ДСФ, является достижение гарантированных качественных показателей в конечном продукте на уровне не ниже минимальных по действующим контрактам основных украинских производителей. Соответственно, содержание $Fe_{\text{общ}}$ должно быть в пределах 55-58%. Достижение данных качественных показателей возможно только при предварительном, селективном разрушении компонентов руды перед обогащением. Одним из путей селективного разрушения, является разрушение за счет кинетической энергии удара куска руды, осуществляемое в центробежной дробилке. При этом менее крепкие минералы разрушаются и переходят в мелкие классы, а более крепкие разрушаются незначительно или сохраняют свои первоначальные размеры.

Авторами была изучена возможность производства из крупнозернистого отсева ДСФ шахты им. М.В.Фрунзе агломерационной руды с общим содержанием железа на уровне товарного (55-58 мас.%), с применением для разрушения исходной руды центробежной дробилки.

Исходным материалом была руда крупностью 40-0 мм. Гематитовая руда представлена двумя основными минералами – гематитом (рудный минерал) и кварцем (нерудный), которые присутствуют в материале как в раскрытой форме, так и в виде агрегатов (богатого и бедного кварцита). Они существенно отличаются как по прочностным характеристикам, так и по магнитным свойствам. Крепость гематита по шкале Протодьяконова составляет 3-8, а кварцита – 13-18. Гематит обладает магнитными свойствами, величина его удельной магнитной восприимчивости $88-220 \text{ м}^3/\text{кг}$; кварц – немагнитный минерал.

Процесс разрушения надрешетного продукта дробильно-сортировочной фабрики шахты им. Фрунзе изучался в лабораторной модели центробежной дробилки НПО «Центр» (Р. Беларусь, г. Минск). Обогащения дробленого продукта проводилось «сухой» магнитной сепарацией на барабанном сепараторе фирмы «Продэкология» в магнитном поле с индукцией 0,7 Тл.

Целью исследований являлось определение оптимальных параметров рудоподготовки и обогащения для получения из надрешетного продукта дробильно-сортировочной фабрики шахты им. Фрунзе (в дальнейшем по тексту – руда) аглоруды с содержанием железа общего на уровне товарного (55-58%).

Целью исследования процесса дробления в центробежной дробилке было определение режимных параметров селективного разрушения минералов в руде, что связано с их различной крепостью по Протодьяконову.

Селективное разрушение производится за счет кинетической энергии удара куска руды, осуществляемое в центробежной дробилке. При этом менее крепкие минералы разрушаются и переходят в мелкие классы, а более крепкие разрушаются незначительно или сохраняют свои первоначальные размеры.

Ставилась задача подобрать такие режимы работы центробежной дробилки, при которых максимальное количество богатой руды и обогащенных кварцитов будет разрушено и перейдет в мелкие классы крупности, а бедные кварциты, соответственно, будут в минимальной степени разрушены. Максимальное количество бедных кварцитов, при этом, должно сохранить размеры близкие к начальным.

Изложение материала и полученные результаты. Крупность исходного материала, как отмечалось выше, была 40-0 мм.

При выполнении экспериментов использовалась лабораторная модель центробежной дробилки, крупность питания которой составляла 20 мм. В связи с этим из него была высеяна фракция 20-0 мм, которая использовалась при дальнейших исследованиях.

Исходный материал экспериментальной пробы был рассеян на пять гранулометрической фракций. Результаты определения $Fe_{общ.}$ в составе их материала приведен в табл. 1.

Из данных табл. 1 видно, что основная масса исходного материала сосредоточена в гранулометрической фракции 20-10 мм (76%). Выход фракции 10-0 мм составил 24%, причем основное количество материала характеризуется размером частиц 1-0 мм (13,4%).

Среднее содержание $Fe_{общ.}$ в составе исходного материала составило 45,3%. В продуктах его отсева отмечается заметный рост содержания $Fe_{общ.}$ с уменьшением размера частиц: от 41,95 мас.% (частицы размером 20-10 мм) до 60,22 мас.% (1-0 мм). Содержание $Fe_{общ.}$ в составе материала с размером частиц 5-0 мм составило 57,32%, что близко к необходимому качеству аглоруды и указывает на целесообразность предварительного его выделения перед подачей в дробилку.

Таблица 1

Гранулометрический состав исходного материала, продуктов его дробления с помощью центробежной дробилки и содержание $Fe_{общ.}$ в составе материала гранулометрических фракций

Классы крупности, мм	Показатели	Характеристика условий дробления исходного материала (линейная скорость ротора м/с)				
		исходная руда	опыт 1 (9)	опыт 2 (12,65)	опыт 3 (14,45)	опыт 4 (16,26)
20-10	выход, %	76,0	70,1	64,8	58,1	51,7
	содержание $Fe_{общ.}$, мас. %	41,95	42,21	42,3	42,0	40,5
10-5	выход, %	5,4	10,6	12,0	14,3	16,6
	содержание $Fe_{общ.}$, мас. %	50,81	46,27	46,27	43,45	46,61
5-3	выход, %	3,2	6,6	7,5	8,9	11,2
	содержание $Fe_{общ.}$, мас. %	48,58	50,18	48,39	46,17	46,07
3-1	выход, %	2,0	3,3	3,8	4,6	5,0
	содержание $Fe_{общ.}$, мас. %	52,79	55,8	51,79	52,19	51,79
1-0	выход, %	13,4	8,1	7,4	8,5	8,5
	содержание $Fe_{общ.}$, мас. %	60,22	61,62	61,21	61,22	60,82
Пыль из системы аспирации дробилки	выход, %	-	1,3	4,5	5,6	7,0
	содержание $Fe_{общ.}$, мас. %	-	50,62	49,58	51,99	52,59
Всего	выход, %	100	100	100	100	100
	содержание $Fe_{общ.}$, мас. %	45,3	45,3	45,3	45,3	45,3

Были проведены испытания по дроблению руды вышеуказанной крупности, при различной скорости вращения ротора (с увеличением линейной скорости ротора с 9 до 16,26 м/с). Продукты каждого опыта были расклассифицированы на узкие классы и определено содержание $Fe_{общ.}$ в них. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

В процессе дробления наиболее интенсивно разрушается класс 20-10 мм, материал которого переходит в классы 10-5, 5-3 и 3-1 мм. При этом происходит частичное разрушение более мелких классов (скорее всего за счет истирания их об поверхность ротора) и переход их в пылевидное состояние.

Анализ полученных результатов показывает, что с увеличением скорости вращения ротора с 9 до 16,26 м/с:

- существенно снижается выход класса 20-10 мм (с 76 до 51,7%) при незначительном снижении в нем содержания $Fe_{общ}$ (на 1,45-1,65%);
- существенно увеличивается выход класса 10-5 мм (с 5,4 до 16,6%) при значительном снижении в нем содержания $Fe_{общ}$ (на 4,2-7,36%);
- существенно увеличивается выход класса 5-3 мм (с 3,2 до 11,2%) при незначительном снижении в нем содержания $Fe_{общ}$ (на 0,19-2,49%);
- существенно увеличивается выход класса 3-1 мм (с 2 до 5%) при незначительном снижении в нем содержания $Fe_{общ}$ (на 0,6-1%);
- незначительно изменяется выхода класса 1-0 мм по опытам (2,2-3,3%) при повышении в нем содержания $Fe_{общ}$ (на 0,6-1,81%).
- появляются пылевидные отходы, выход которых по опытам увеличивается с 1,3 до 7%, при одновременном увеличении в них содержания $Fe_{общ}$ с 49,5 до 52,59%.

В процессе дробления минералы перераспределились, относительно их распределения в исходной руде, следующим образом:

- в классе 20-10 мм - уменьшилось удельное содержание богатой руды на 26% (49,6% богатой руды было разрушено) и обогащенных кварцитов на 29% (51,7% обогащенных кварцитов было разрушено), при этом увеличилось удельное содержание кварцитов на 12,7%(23,4% кварцитов было разрушено);

- в классе 10-5 мм - уменьшилось удельное содержание богатой руды на 39% (абсолютное количество богатой руды увеличилось на 88%), уменьшилось удельное содержание обогащенных кварцитов на 45% (абсолютное количество обогащенных кварцитов увеличилось в 3,83 раза), незначительно выросло содержание кварцитов – на 8% (абсолютное количество кварцитов увеличилось в 2,36 раза).

- в классе 0-1 мм (включая пыль аспирации) - увеличилось удельное содержание богатой руды на 18% (абсолютное количество богатой руды увеличилось на 38%), увеличилось удельное содержание обогащенных кварцитов на 12,4% (абсолютное количество обогащенных кварцитов уменьшилось на 36%), уменьшилось удельное содержание кварцитов на 38% (абсолютное количество кварцитов уменьшилось на 28%).

Анализ полученных результатов показывает, что:

- преобладающее количество рудных минералов в исходной пробе содержалось в классе крупности 20+10 и 1+0 мм. После селективного дробления большая часть разрушенных рудных минералов переходит в класс крупности 1+0 мм, остальная часть равномерно распределяется по классам крупности 10+5 и 5+1 мм. Мелкие куски богатых руд переизмельчаются и попадают в пыль аспирации;

- преобладающее количество обогащенных кварцитов в исходной пробе содержалось в классе крупности 20+10 мм. После селективного

дробления разрушенные обогащенные кварцитов переходят в класс крупности 10+5 и 5+1мм;

- при измельчении руды до крупности менее 1 мм происходит раскрытие минералов и их перераспределение, в связи с чем значительно возрастает количество нерудных минералов и снижается содержание обогащенных кварцитов и кварцитов;

- динамика разрушения богатых руд и обогащенных кварцитов в классе крупности -20+10 мм одинакова. Со снижением крупности, увеличивается разрушение рудных минералов и снижается разрушение обогащенных кварцитов. Величина разрушения бедных кварцитов вдвое ниже, чем богатых руд.

По результатам проведенных лабораторных испытаний селективности дробления руды, можно сделать следующие выводы:

1. При селективном дроблении руды в центробежной дробилке на малых оборотах, в первую очередь разрушаются богатые руды и обогащенные кварциты, а динамика разрушения кварцитов вдвое ниже.

2. При разрушении, богатые руды склонны к переизмельчению (крупность менее 1 мм), а обогащенные кварциты переходят в класс крупности 10+1 мм.

3. Содержание $Fe_{\text{общ}}$ в классе 1-0 мм составило 60,22-61,62%. Это указывает на целесообразность его выведения из процесса в ходе дробления, путем аспирации рабочей зоны дробилки, без последующего обогащения.

4. После предварительного обогащения путем селективного дробления в центробежной дробилке, материал в классе крупности 10+1 мм по качественным характеристикам не является готовой продукцией и подлежит дальнейшему обогащению,

5. При проведении предварительных испытаний на лабораторной центробежной дробилке НПО «Центр», не были достигнуты оптимальные обороты, позволяющие разрушить большую часть богатых руд и обогащенных кварцитов (при проведении 4 опыта было разрушено около 50% богатых руд и обогащенных кварцитов в классе 20+10 мм, при этом всего было разрушено около 32% данного класса).

6. В результате выполненного анализа было определено, что режим работы центробежной дробилки должен быть настроен таким образом, чтобы в продуктах дробления 70-75% материала было представлено крупностью менее 10 мм.

Для определения необходимой линейной скорости ротора дробилки была проведена математическая обработка результатов исследований и получена математическая зависимость выхода класса более 10 мм от линейной скорости вращения ротора (v), в виде полинома второй степени

$$\gamma_{\text{класса } +10 \text{ мм}} = -0,127 v^2 + 0,618 v + 76,87.$$

Расчеты, выполненные по данной формуле, показали, что для получения требуемого выхода класса более 10 мм, в пределах 25-30%, линейная скорость ротора v должна составлять 21,5-26,9 м/с.

Полученный дробленый продукт крупностью 10-0 мм, после отсеивания из него фракции 1-0 мм был расклассифицирован на классы крупности 10-5, 5-3 и 3-1 мм которые были подвергнуты «сухой» магнитной сепарации.

Результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты сухой магнитной сепарации в сильном магнитном поле классов крупности пробы руды крупностью 10-1 мм, полученной путем дробления исходного материала в центробежной дробилке (опыт 4) и распределение

$Fe_{\text{общ}}$ по продуктам обогащения

Классы крупности, мм	Продукты	Выход от операции, %	Содержание $Fe_{\text{общ}}$, %
10-5	Исходный	100,0	46,61
	Магнитный продукт	22,1	54,6
	Промпродукт	12,6	53,7
	Немагнитный продукт	65,3	40,4
5-3	Исходный	100,0	46,07
	Магнитный продукт	23,8	55,4
	Промпродукт	14,3	55,2
	Немагнитный продукт	61,9	46,4
3-1	Исходный	100,0	51,79
	Магнитный продукт	31,2	60,2
	Промпродукт	13,8	59,4
	Немагнитный продукт	55,0	46,1

Анализ полученных результатов показывает, что:

- из класса 10-5 мм, с содержанием $Fe_{\text{общ}}$ 46,61% возможно получить обогащенный продукт с содержанием $Fe_{\text{общ}}$ 54,6% (повышение качества на 7,99%);

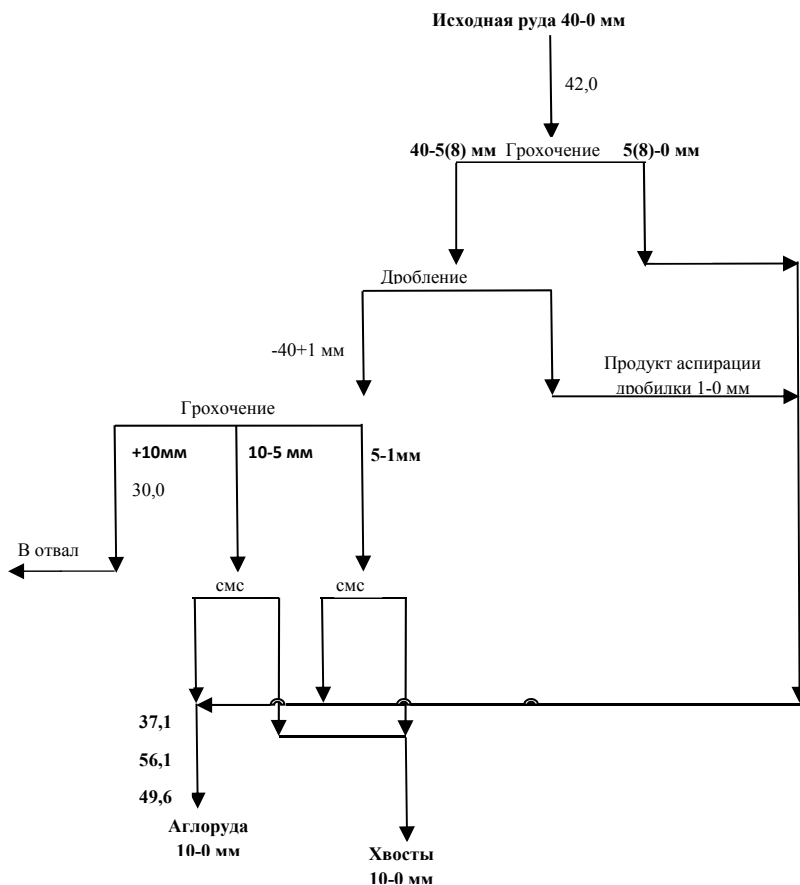
- из класса 5-3 мм, с содержанием $Fe_{\text{общ}}$ 46,07% возможно получить обогащенный продукт с содержанием $Fe_{\text{общ}}$ 55,35% (повышение качества на 9,28%);

- из класса 3-1 мм, с содержанием $Fe_{\text{общ}}$ 51,79% возможно получить обогащенный продукт с содержанием $Fe_{\text{общ}}$ 59,95% (повышение качества на 8,16%).

Рассевом исходной руды по классу 5 мм установлено, что из нее можно выделить 5% по выходу продукта с содержанием $Fe_{\text{общ}}$ 58-59%, что указывает на целесообразность предварительного выделения его перед

селективным дроблением. Учитывая влажность исходного материала возможно повышение крупности предварительно выделяемого продукта до 8 мм с соответствующим уменьшением содержания железа в нем до 55-56% и увеличением выхода до 8%.

По результатам проведенных исследований была разработана технологическая схема обогащения (рис.) с ожидаемыми показателями разделения.



Технологическая схема «сухого» магнитного обогащения гематитовой руды с ожидаемыми показателями разделения (при выходе фракции +10 мм – 30%)

По данной схеме предполагается из исходной руды с содержанием $Fe_{\text{общ}}$ 42,0%, получить аглоруду с содержанием железа общего 56,1% при выходе 37,1%. При этом крупность готового продукта (аглоруды) составит 10-0 мм, а отходов - +10 мм и 10-0 мм.

Выводы и направления последующих испытаний

1. Проведенные испытания дробления надрешетного продукта дробильно-сортировочной фабрики шахты им. Фрунзе, в лабораторной модели центробежной дробилки НПО «Центр», с изменением линейной скорости вращения ротора от 9 до 16,26 м/с, показали селективность разрушения богатых рудных минералов и бедных кварцитов. Величина разрушения бедных кварцитов вдвое ниже, чем богатых минералов.

2. Анализ полученных результатов показал, что при проведении лабораторных испытаниях оптимальная линейная скорость вращения ротора не была достигнута. Был выполнен математический анализ показателей и определена зависимость выхода классов более 10 мм от линейной скорости вращения ротора. Расчеты показали, что для достижения требуемого выхода класса более 10 мм (25-30%), величина линейной скорости вращения ротора должна составлять 21,5-26,9 м/с.

3. Установлено, что после предварительного обогащения путем селективного дробления в центробежной дробилке, материал в классе крупности 1-0 мм по качественным характеристикам является готовой продукцией, а материал в классе крупности 10+1 мм необходимо подвергать дальнейшему обогащению,

4. Проведены исследования по обогащению узких классов крупности руды, дробленной в центробежной дробилке, «сухой» магнитной сепарацией. Установлено, что в зависимости от крупности питания магнитной сепарации возможно получение магнитных продуктов с содержанием $Fe_{\text{общ}}$ 54,6-60,2%, при выходе от операции 22,1-45,0%.

5. Разработана технологическая схема обогащения надрешетного продукта дробильно-сортировочной фабрики шахты им. Фрунзе крупностью 40-0 мм, по которой предполагается получить из него аглоруду с содержанием железа общего выше 56% при выходе более 35%

6. Для уточнения режимных параметров центробежной дробилки и технологических показателей разделения запланировано проведение промышленных испытаний.

Список использованных источников

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. Каниболоцкий П.М. Петрогенезис пород и руд Криворожского железорудного бассейна // Черновцы: Изд. АН УССР, 1946.– 312 с.

4. Ботанцев И.В., Нескромный Е.Н., Гурин В.А. Разработка технологии получения аглоруды из бедных окисленных железных руд (кварцитов) карьера «Северный» ГОК «Укрмеханобр» // Материалы VII конгресса обогатителей стран СНГ. Москва. – 2009.

5. Ширяев. А.А., Самоткал Э.В., Заболотный С.А. и др. Сухое магнитное обогащение гематит-мартитовых руд Криворожского бассейна. – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2009 – 248 с.

Рукопис поступила 08.10.2013 г.

УДК 622.235.535.2:53.087.92

А.В. Сазонов, старший научный сотрудник,

А.А. Сова, канд. техн. наук, начальник научно-технического отдела,

*Е.К.Бабец, канд. техн. наук, с.н.с., член-корреспондент АГНУ, директор,
Научно-исследовательский горнорудный институт ГВУЗ «КНУ»*

ПРИМЕНЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ И НАКЛОНОМЕРНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ СООРУЖЕНИЙ, ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ГОРНОГО МАССИВА В УСЛОВИЯХ КРИВБАССА

В статье рассмотрены возможности применения сейсмических и наклономерных датчиков для определения деформаций сооружений, земной поверхности и горного массива в условиях Кривбасса.

Ключевые слова: сейсмические и наклономерные датчики, определение деформаций.

У статті розглянуті можливості застосування сейсмічних і похило вимірних датчиків для визначення деформацій споруд, земної поверхні і гірничого масиву в умовах Кривбасу.

Ключові слова: сейсмічні і похило вимірні датчики, визначення деформацій.

The article discusses the possibility of using seismic and tilt metric sensors to determine the deformation structures, the earth's surface and rock mass conditions Kryvbass.

Keywords: seismic sensors and tilt metric, determine of deformation.

Актуальность проблемы. В последнее десятилетие в электронике быстрыми темпами развивается направление по применению электронных акселерометров в бытовых (смартфоны, ноутбуки, GPS навигаторы, видеорежистраторы, электронные книги и т.д.) и профессиональных приборах