

УДК 549 : 553.31 : 622.7 (477.63)

Евтехов В.Д., Евтехова А.В., Демченко О.С., Смирнов А.Я.

## МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПОВТОРНОГО ОБОГАЩЕНИЯ КРУПНОЗЕРНИСТОГО ОТСЕВА ДРОБИЛЬНО-СОРТИРОВОЧНЫХ ФАБРИК КРИВОРОЖСКОГО БАСЕЙНА

*Охарактеризований процес утворення крупнозернистого відсіву дробарно-сортувальних фабрик шахт Криворізького басейну, який супроводжує виробництво товарної багаті залізної руди з видобутої з надр рудної маси. З мінералогічної точки зору критично оцінені існуючі технології повторного використання відсіву з метою виробництва високоякісних корисних кінцевих продуктів (агломераційної руди, аглоконцентрату, концентрату). Зроблений висновок, що за даними лабораторних, напівпромислових досліджень та за результатами роботи промислових установок, найбільш мінералогічно, геологічно, хімічно, технологічно, технічно, економічно, екологічно збалансованою є гравітаційна технологія повторного збагачення крупнозернистого відсіву ДСФ, інших видів низькокондиційної гематитової сировини Криворізького басейну та аналогічних родовищ інших регіонів.*

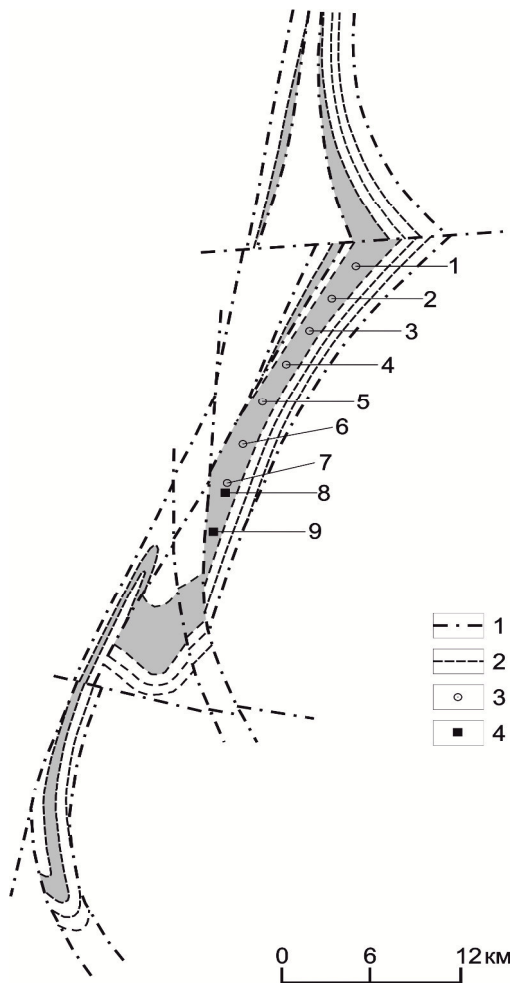
Основными видами добываемого в настоящее время минерального сырья Криворожского бассейна являются богатые гематитовые и бедные магнетитовые руды. Богатые руды относятся к наиболее полно и всесторонне изученным геологическим объектам железисто-кремнистой формации [2-4]. Известны три их основных вида: гематитовые (бурожелезняковые), магнетитовые и гематитовые. Залежи первых практически полностью отработаны. Добыча богатых магнетитовых руд в связи с истощением запасов и большой глубиной залегания их остаточных залежей также прекращена. Разработка месторождений богатых гематитовых руд продолжается семью шахтами и двумя карьерами (рис. 1).

Выделяются четыре минеральные разновидности богатых гематитовых руд: 1) мартитовые, железнослюдко-мартитовые («синьки») – среднее содержание железа около 63 мас.%; 2) дисперсногематит-мартитовые, дисперсно-

гематит-железнослюдко-мартитовые («краско-синьки») – около 60 мас.%; 3) мартит-дисперсногематитовые («синько-краски») – около 55 мас.%; 4) дисперсногематитовые, каолинит-дисперсногематитовые («краски») – около 50 мас.% [1-3]. В пределах разрабатываемых рудных залежей в разных количествах присутствуют все четыре разновидности руд. Поскольку селективная отработка руд названных минеральных разновидностей не производится, извлекаемая из недр рудная масса имеет промежуточный минеральный и химический состав. Среднее содержание железа в составе руд подготовленных к отработке залежей разных месторождений составляет 55-58 мас.%.

В связи со сложностью контактов рудных тел, несовершенством технологии добычи руды – в рудную массу в процессе ее извлечения из недр поступают нерудные компоненты: гематитовые кварциты (среднее содержание железа около 37 мас.%), безрудные (силикатные,

каолинит-дисперсногематитовые) кварциты (около 23 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. (5-15 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%.



**Рис. 1.** Положение горнодобывающих предприятий по разработке залежей богатых гематитовых руд Криворожского бассейна.

Присутствием в составе добываемой рудной массы нерудных компонентов объясняется

более низкое содержание в ее составе железа (52-54 мас.%) по сравнению с его средним содержанием в руде подготовленных к отработке залежей (как отмечалось выше – 55-58 мас.%).

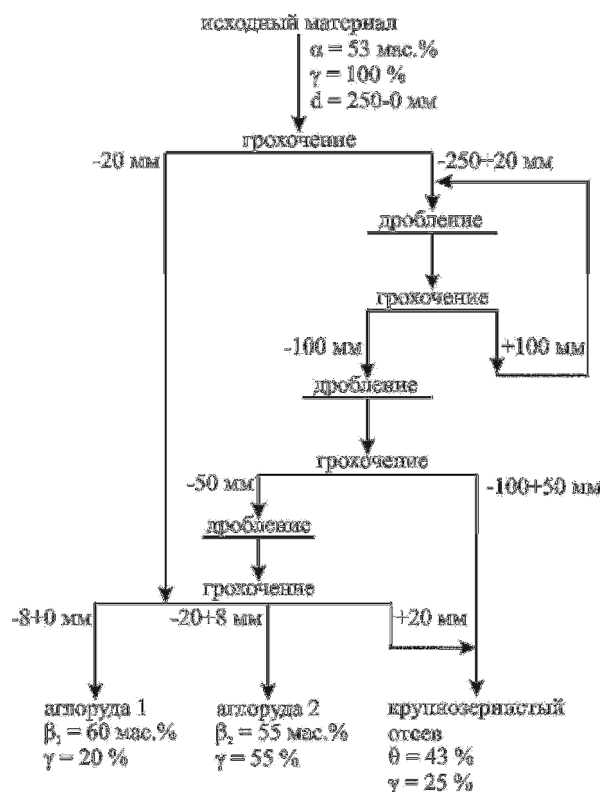
Для повышения содержания железа в товарной руде до 55-60 мас.% на всех шахтах Кривбасса были построены дробильно-сортировочные фабрики (ДСФ), на которых методом трехстадийного дробления и грохочения [1] производится разделение менее прочных частиц богатых руд и более прочных, более устойчивых к механическим воздействиям частиц большинства маложелезистых горных пород (рис. 2).

Крупность частиц поступающей из шахты на ДСФ рудной массы менее 250 мм, что обеспечивается первичным дроблением и грохочением добытого рудного материала в подземных условиях. Содержание железа в исходном материале ДСФ для разных шахт колеблется от 52 до 54 мас.%. Исходный материал подвергается грохочению с отделением частиц крупностью менее 20 мм, не требующих додробливания. Материал с крупностью частиц от 20 до 250 мм направляется на первую стадию дробления, задачей которой является доведение частиц рудной массы до размера менее 100 мм. Продукты дробления первой стадии подвергаются грохочению. Материал с размером частиц более 100 мм возвращается на додробливание.

Материал с размером частиц менее 100 мм направляется на вторую стадию дробления с последующим грохочением, в результате получают два продукта: 1) с крупностью частиц более 50 мм, представленный, главным образом, обломками гематитовых кварцитов повышенной прочности с низким (35-40 мас.%) содержанием железа, который направляется в отходы обогащения (крупнозернистая фракция ДСФ).

Материал с крупностью частиц менее 50 мм подвергается дроблению третьей стадии. Размер частиц получаемых продуктов для разных шахт изменяется от 10-0 мм до 20-0 мм. Этот материал соединяется с полученным на первой стадии грохочения материалом с крупностью частиц менее 20 мм, после чего объединенный продукт обычно разделяется на три

гранулометрические фракции: 1) мелкозернистая (крупность частиц 8-0 (10-0) мм), представленная высококачественной агломерационной рудой с общим содержанием железа около 60 мас.%; 2) среднезернистая (крупность частиц 20-8 мм), представленная рядовой агломерационной рудой с общим содержанием железа около 55 мас.%; 3) крупнозернистая (размер частиц более 20 мм), в составе которой преобладают гематитовые кварциты и другие прочные вмещающие породы, но также содержится некоторое количество богатой руды.



**Рис. 2.** Обобщенная схема обогащения извлекаемой из недр рудной массы на дробильно-сортировочных фабриках Криворожского бассейна.

Материал крупнозернистой фракции объединяется с материалом крупнозернистой фракции предыдущей стадии грохочения. Объединенным потоком они направляются на склады крупнозернистого отсева ДСФ.

Таким образом, полезным конечным продуктом ДСФ является высококачественная (около 60 мас.% железа) и рядовая (около 55 мас.% железа) товарная агломерационная руда. Отходы обогащения представляют собой крупнозернистый отсев ДСФ (размер частиц 20-100 мм) с общим содержанием железа от 39 до 46 мас.%, в среднем около 43 мас.%.

Вследствие недостаточной избирательности дробления и грохочения, в составе крупнозернистого отсева кроме низкожелезистых горных пород присутствуют также частицы богатых руд. Их количество в отсева ДСФ разных шахт колеблется, в зависимости от минералогических характеристик исходной руды, от 3 до 12% от общей массы отсева, иногда превышает 20%; средний показатель около 10 мас.%.

В складах шахт Криворожского бассейна накоплено, по разным оценкам, от 15 до 20 млн. т этого вида сырья (в складах отдельных шахт – от 2 до 5 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 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. Работы проводились в следующих основных направлениях.

1. Разработка технологии производства аглоруды с общим содержанием железа около 55 мас.% путем додробливания отсева ДСФ 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-производственных организациях «Продэкология» (Ровно) и «Магнис» (Луганск) (Н.К.Воробьев, Т.А.Олейник, А.А.Лозин,

Ю.Л.Грицай, И.П.Богданова, В.В.Нитяговский, В.А.Гурин, Р.С.Улубабов 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 относительно низкий (20-30%); содержание железа в отходах обогащения очень высокое – 35-40 и более мас.%. Проектные показатели действовавших обогатительных установок не были достигнуты, в связи с чем работа их в настоящее время приостановлена.

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 аппарате обеспечения не позволила достигнуть необходимого уровня разделения рудных и нерудных частиц. Исследования в этом направлении в дальнейшем не проводились.

3. Минералогическое обоснование, разработка технологии и обогатительного оборудования для 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 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 Научно-производственной фирмой «Промтехнологии» (Кривой Рог) и кафедрой 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 отсева ДСФ шахт «Юбилейная», им. М.В.Фрунзе и шахтоуправления комбината «АМКР», проведенные с помощью обогатительной установки, изготовленной НПФ «Промтехнологии», подтвердили эти результаты.

4. Минералогические исследования и разработка технологии производства аглоруды с общим содержанием железа около 60 мас.% методом «сухой» классификации измельченной руды в воздушном потоке. В качестве исходного материала использовалось низкокондиционное и некондиционное гематитовое сырье шахт Криворожского бассейна (исходное содержание железа около 40 мас.%), месторождений штата Орисса (Индия) (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, изготовленной на кафедре геологии и прикладной минералогии КНУ и полупромышленной установки Научно-производственной фирмы «Аэромех» (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 исходного сырья месторождений Кривбасса был получен аглоконцентрат с общим содержанием железа от 60 до 63 мас.%; из сырья индийских месторождений – около 61 мас.%, из сырья месторождения Каражал – агломерационная руда с содержанием железа около 56 мас.%. Результаты экспериментов показали, что с использованием «сухой» гравитационной сепарации возможно производство кондиционной агломерационной руды и аглоконцентрата. Полученные данные использовались для составления эскизного рабочего проекта обогатительной установки для одного из месторождений низкокondиционной гематитовой руды штата Орисса, который в настоящее время внедряется в производство.

5. Разработка технологии производства железорудного концентрата с общим содержанием железа не ниже 65 мас.% из исходного гематитового сырья разного качества путем дробления и измельчения его до крупности частиц менее 0,071 или менее 0,050 мм и последующего обогащения флотационным методом. Исследования проводились в Научно-производственном объединении «РИВС» (Санкт-Петербург) (А.В.Зимин, Ю.П.Назаров, Ю.А.Смирнов, Е.Н.Шумская, М.А.Зябрев). В лабораторных условиях были получены результаты, соответствующие ожидаемым. Полупромышленные испытания на обогатительной установке Криворожского горнообогатительного комбината окисленных руд (КГОКО-Ра) проводились с использованием в качестве исходного сырья рядовых гематитовых кварцитов Ингулецкого месторождения (содержание железа около 37 мас.%). Результаты испытаний подтвердили данные лабораторных исследований.

6. Минералогическое изучение 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» Мариупольского металлургического комбината им. Ильича. 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 (В.Д.Евтехов, Е.В.Евтехов, К.В.Николаенко, В.В.Филенко, Т.В.Науменко,

А.В.Евтехова, А.Я.Смирнов). По результатам экспериментов со всеми видами сырья, был получен железорудный концентрат с общим содержанием железа не ниже 65 мас.%. Полу-промышленные испытания подтвердили данные лабораторных исследований. В соответствии с предложенной технологией, были построены три промышленные установки по обогащению исходного сырья, которое было признанным готовым к обогащению без рудоподготовки (дробления, измельчения): 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.

Таким образом, из предложенных технологий переработки кускового гематитового сырья в полном объеме была реализована только основанная на додрабливании крупнозернистого отсева ДСФ до крупности частиц менее 10 мм с последующим «сухим» магнитным обогащением в поле повышенной интенсивности (см. п. 1). В качестве исходного сырья на обогатительных установках использовался отсев ДСФ шахт «Заря-Октябрьская», «Родина», а также карьеров «Южный» и «Северный». Однако работа обогатительных установок в производственных условиях показала, что содержание железа в получаемой 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.

Частично реализована гравитационная технология производства железорудного концентрата из низкосортного гематитового сырья (п. 6 настоящего сообщения). На трех построенных обогатительных установках используется готовое к обогащению (не требующее дробления и измельчения) природное и техногенное сырье. Развитие этого направления состоит в наращивании обогатительных установок узлами дробления и измельчения, переходе на использование кускового материала.

По результатам минералогических исследований и технологических испытаний, наиболее геологически, минералогически, петрохимически, технологически, технически, экономически, экологически сбалансированной является гравитационная технология обогащения крупнозернистого отсева ДСФ и других видов низкокондиционного гематитового сырья с целью производства высококачественного железорудного (гематитового) концентрата.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Азарян А.А., Колосов В.А., Ломовцев Л.А., Учитель А.Д. Качество минерального сырья // Кривой Рог: Минерал, 2001.– 203 с.*
2. *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.*
3. *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.*
4. *Каниболоцкий П.М. Петрогенезис пород и руд Криворожского железорудного бассейна // Черновцы: Изд. АН УССР, 1946.– 312 с.*

### **ЄВТЕХОВ В.Д., ЄВТЕХОВА А.В., ДЕМЧЕНКО О.С., СМІРНОВ О.Я. Мінералогічна оцінка ефективності технологій повторного збагачення крупнозернистого відсіву дробарно-сортувальних фабрик Криворізького басейну.**

*Резюме. Крупнозернистий відсів дробарно-сортувальних фабрик шахт Криворізького басейну є відходом виробництва товарної агломераційної руди (аглоруди) з видобутої рудної маси, середній вміст заліза в складі якої для різних шахт коливається в межах 52-54 мас.%. Збагачен-*

ня проводиться шляхом тристадійного дроблення видобутої рудної маси до крупності частинок 20-0 мм і постадійного грохотіння. В результаті одержують високоякісну (58-60 мас.% заліза – розмір частинок 10-0 мм) та рядову (55-57% – 10-20 мм) товарну аглоруду та крупнозернистий (20-100 мм) відсів із середнім вмістом заліза близько 42 мас.%. Протягом останніх років вивчається можливість виробництва з відсіву – аглоруди (55-60 мас.% заліза), аглоконцентрату (60-64 мас.%) або концентрату (не нижче 65 мас.%). Технології, що розробляються, ґрунтуються на дробленні, подрібненні крупнозернистого відсіву до потрібної крупності частинок та використанні магнітних, флотаційних, гравітаційних методів збагачення. За даними лабораторних, напівпромислових досліджень та за результатами роботи промислових установок, автори дійшли висновку, що найбільш мінералогічно, геологічно, хімічно, технологічно, технічно, економічно, екологічно збалансованою є гравітаційна технологія повторного збагачення крупнозернистого відсіву ДСФ, інших видів низькокондиційної гематитової сировини Криворізького басейну та аналогічних родовищ інших регіонів.

**Ключові слова:** залізисто-кремніста формація, Криворізький басейн, залізна руда, мінералогія, збагачення.

**ЕВТЕХОВ В.Д., ЕВТЕХОВА А.В., ДЕМЧЕНКО О.С., СМІРНОВ А.Я. Минералогическая оценка эффективности технологий повторного обогащения крупнозернистого отсева дробильно-сортировочных фабрик Криворожского бассейна.**

*Резюме.* Крупнозернистый отсев дробильно-сортировочных фабрик шахт Криворожского бассейна является отходом производства товарной агломерационной руды (аглоруды) из добытой рудной массы, среднее содержание железа в составе которой для разных шахт составляет 52-54 мас.%. Обогащение производится путем трехстадийного дробления добытой рудной массы до крупности частиц 20-0 мм и постадийного грохочения. В результате получают высококачественную (58-60 мас.% железа – размер частиц 10-0 мм) и рядовую (55-57% – 10-20 мм) товарную аглоруду и крупнозернистый (20-100 мм) отсев со средним содержанием железа около 42 мас.%. На протяжении последних лет изучается возможность производства из отсева аглоруды (55-60 мас.% железа), аглоконцентрата (60-64 мас.%) или концентрата (не ниже 65 мас.%). Разрабатываемые технологии основываются на дроблении, измельчении крупнозернистого отсева до нужной крупности частиц и использовании магнитных, флотационных, гравитационных методов обогащения. По данным лабораторных, полупромышленных исследований и по результатам работы промышленных установок, авторы пришли к выводу, что наиболее минералогически, геологически, химически, технологически, технически, экономически, экологически сбалансированной является гравитационная технология повторного обогащения крупнозернистого отсева ДСФ, других видов низкокондиционного гематитового сырья Криворожского бассейна и аналогичных месторождений других регионов.

**Ключевые слова:** железисто-кремнистая формація, Криворожский басейн, железная руда, минералогия, обогащение.

**EVTEKHOV V.D., EVTEKHOVA A.V., DEMCHENKO O.S., SMIRNOV O.Ya. Mineralogical evaluation of oversize screenings rerun technologies efficiency at crushing-screening plants of Kryvyi Rih basin.**

*Summary.* High grade and low grade iron ores are major varieties of mineral raw material of Kryvyi Rih basin. High grade iron ores refer to the best and the most thoroughly studied geological objects of banded iron formations. Three their varieties are known: goethite (limonite), magnetite and hematite ones. Deposits of goethite and magnetite ores have almost been completely worked out. Mining high grade hematite ore deposits continues at seven mines and two open pits.

Average iron content in high grade hematite ores at prepared for mining deposits makes 55-58 mas.%. But during the process of ore mass extraction from underground, low-ore and non-ore enclosing rocks such as hematite quartzites, barren quartzites, schists of various composition, more seldom granites, amphibolites and others gets into it. It leads to decreasing of iron content in extracted ore mass up to 52-54 mas.%, what is considerably lower than requirements of metallurgical enterprises.

To increase iron content in saleable ore up to 55-60 mass.% crushing-screening plants (CSP) have been built at all mines of Kryvbas, where separation of less hard high grade ores and harder ones that are more resistant to mechanical influence of majority of low-iron rocks particles is fulfilled using method of three stage crushing and screening. High grade (58-60 mas.% of iron) and run-of-mine sinter (55-57 mas.% of iron) ores are useful end products of crushing and screening plants. Concentration wastes are coarse-grained screenings from CSP (20-100 mm particles size) having total iron content from 39 to 46 mas.%, 42 mas.% in average. At stockpiles of Kryvyi Rih basin mines from 15 to 20 million tons of this raw material have been accumulated according different assessments, (at stockpiles of separate plants there are from 2 to 5 million tons of it). Every year this figure increases by 1-2 million tons.

Over last 15 years oversize screenings from CSP have been studied as one of variety of nonconventional iron ore raw material of Kryvbas for production of sinter ore, agglomerate concentrate and concentrate. Works are being carried out in the following directions:

1. Production of sinter ore having total iron content of about 55 mas.% by recrushing CSP screenings to particles size of less than 10 mm and dry magnetic separation of received products in the field of raised intensity. On the basis of found technological solutions industrial plants of small capacity (up to 1 million tons of feedstock a year) for reprocessing CSP screenings from 3 mines were built. But they were not able to achieve their design performance and production has been ceased.

2. Production of lump sinter ore (particle size 20-100 mm) by mechanical separation of CSP screenings in continuous flow using geophysical identification (gamma-gamma method) of ore and non-ore particles. Laboratory and pilot tests showed impossibility to obtain required iron content in useful end product by suggested method and its equipment. At the moment studies are not being conducted in this regard.

3. Production of lump sinter ore (particle size 20-80 mm) by mechanical ore sorting of CSP screenings in continuous flow using various (thermal, magnetic, density, optical and other) physical methods of ore and non-ore particles identification. Laboratory and pilot tests of CSP screenings from all Kryvbas mines have been conducted, useful end product having iron content of 55-57 mas.% and yield of 20-25% has been obtained. "Promtecnologies" enterprise (Kryvyi Rih city) has constructed several installations that are used for reprocessing several varieties of natural and technogene feedstock. The installations have not been used at Kryvbas mines so far.

4. Production of fine grained sinter ore (particle size less than 5 mm) having total iron content of about 60 mas.% by method of "dry" classification of ground CSP screenings and other low quality hematite feedstock in air current. Positive results have been obtained for feedstock from Orissa state (India), from Qarajal deposit (Central Kazakhstan), and from all Kryvbass deposits. Designing of concentrating installation for processing low grade hematite ore from one of Orissa state deposits having capacity of 3 million tons of feedstock a year, iron content in produced sinter ore is supposed to make 61 mas.%, its yield will be 50%.

5. Production of iron ore concentrate having total iron content not less than 65 mas.% from CSP screenings and other low quality hematite feedstock by crushing it, by grinding it up to particle size less than 0.071 (0.05) mm and by consequent concentration using flotation method. Laboratory tests have shown positive results.

6. Production of iron ore concentrate having total iron content not less than 65 mas.% from CSP screenings and other low quality hematite feedstock by crushing it, by grinding it up to particle size less than 0.1 mm and by consequent concentration using gravity method. Laboratory and pilot tests have



*shown positive results. Various components of suggested technology were used for designing and construction of three industrial units for processing low quality hematite feedstock of Kryvbas. All three units run and produce iron ore concentrate corresponding target parameters.*

*Authors made the conclusion that gravity technology of reprocessing coarse grained CSP screenings and other sorts of low quality hematite feedstock of Kryvbas and similar deposits of other regions is the most mineralogically, geologically, chemically, technologically, technically, economically, ecologically balanced.*

**Key words:** banded iron formation, Kryvyi Rih basin, iron ore, mineralogy, processing.

*Надійшла до редакції 10 квітня 2014 р.  
Представив до публікації проф. О.І.Матковський.*