

<https://doi.org/10.18503/SMTS-2023-13-2-25-32>

ISSN 2949-0952 (Print)

УДК 622.7:622.341.1



ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕКОНДИЦИОННЫХ РУД И СКАРНОВЫХ ПОРОД С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖЕЛЕЗА

Шавакулева О.П.^{1*}, Жуматий А.Г.², Сединкина Н.А.¹

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, гор. Магнитогорск, Россия
² ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Магнитогорск, Россия

* Контактное лицо: shavakylevao@yandex.ru
zhumatiy74@mail.ru (Ж.А.Г.), magnetyt@mail.ru (С.Н.А.)

Аннотация. Детально рассмотрен вопрос переработки бедной некондиционной руды месторождения Малый Куйбас (Челябинская обл., гор. Магнитогорск). Месторождение горы Магнитной полностью отработано и в последние годы ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» испытывает хроническую нехватку местных железных руд. На сегодняшний день осталось лишь месторождение железных руд Малый Куйбас, отработка которого заканчивается в 2024 году. Фронт эксплуатационных работ на месторождении с каждым годом сокращается. На металлургическом комбинате увеличивается доля использования привозных руд. Себестоимость составляет: местной сырой руды в среднем 750 руб./т., полученного из неё концентрата и аглоруды соответственно 2500 и 1950 руб./т., а стоимость привозного концентрата и аглоруды – 9500 и 5000 руб./т (цены 2023 года). В этих условиях особенно актуальным становится вопрос о пополнении местной сырьевой базы. В определённой мере покрытие дефицита возможно за счёт вовлечения некондиционных разубоженных руд и скарных пород с содержанием железа 12–19 %. Для таких руд появляется все больше перспективных направлений переработки и комплексного использования. Объектом исследования выбрана некондиционная руда месторождения Малый Куйбас с массовой долей железа 12–19%. Для переработки такой руды необходимо разработать технологический комплекс. Ориентировочное количество накопленной и складированной некондиционной руды составляет не менее 1.5 млн т. До окончания отработки карьера дополнительно образуется ещё не менее 500 тыс. т нетрадиционного сырья, которое представлено отдельно складированными некондиционными рудами месторождения Малый Куйбас. В результате переработки некондиционной руды могут быть получены магнитная фракция с содержанием железа до 30 % и строительный щебень. Цель представленной в статье работы заключается в выборе универсального наземно-транспортного комплекса для переработки бедной некондиционной руды месторождения Малый Куйбас. Разработанное решение отличается комплексным подходом к переработке складированных пород и утилизации отвала, расположенного на территории Агаповского района Челябинской области.

Ключевые слова: месторождение Малый Куйбас, переработка, железные руды, наземно-транспортный комплекс, технология, отходы производства, забалансовая руда, извлечение, подступная отработка

© Шавакулева О.П., Жуматий А.Г., Сединкина Н.А., 2023

Поступила: 11 сентября 2023; Принята к публикации: 29 ноября 2023; Опубликовано: 24 декабря 2023

Для цитирования:

Шавакулева О.П., Жуматий А.Г., Сединкина Н.А. Технология комплексной переработки некондиционных руд и скарных пород с низким содержанием железа // Недропользование и транспортные системы. 2023. Т.13. №2. С.25–32. <https://doi.org/10.18503/SMTS-2023-13-2-25-32>



Это произведение доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



TECHNOLOGY OF COMPLEX PROCESSING OF SUBSTANDARD ORES AND SKARN ROCKS WITH LOW IRON CONTENT

Olga Shavakuleva^{1*}, Alexander Zhumatiy², Natalia Sedinkina¹

¹ Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian

² PJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works, Magnitogorsk, Russia

*Corresponding: shavakylevao@yandex.ru
zhumatiy74@mail.ru (Z.A.G.), magnetyt@mail.ru (S.N.A.)

Abstract. The paper considers in detail the issue of processing poor, substandard ore of the Malyy Kuybas deposit. Recently, PJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works has been experiencing a chronic shortage of local iron ores. The Magnetic Mountain deposit has been fully worked out. To date, only the Malyy Kuybasiron ore deposit remains, the development of which ends in 2024. The front of operational work at the deposit is decreasing more and more every year, and the number of imported ores is growing. The cost of local crude ore, at the prices of 2023, is on average 750 rubles, the cost of concentrate and sinter ore obtained from it is 2500 and 1950 rubles, respectively; the cost of import-ed concentrate and sinter ore is 9500 and 5000 rubles. In these conditions, the issue of replenishing the local raw material base becomes especially relevant. Covering the deficit is to some extent possible due to the involvement of substandard dilute ores, skarn rocks with an iron content of 12-19%. There are increasingly promising areas of processing and integrated use of such ores and rocks. Therefore, in the article, the substandard ore of the Malyy Kuybasdeposit with a mass fraction of iron of 12-19% is taken as the object of research for which to develop a techno-logical complex for processing. According to preliminary estimates, to date, the estimated amount of accumulated and deposited substandard ore is at least 1.5 million tons. Before the completion of the quarry, in addition, at least 500 thousand tons will be formed. The feedstock, which is represented by separately stored substandard ores of the Malyy Kuybas deposit. Currently, when processing substandard ore, we receive the following ready-made commercial products: magnetic fraction with an iron content of up to 30% and construction crushed stone. The purpose of the work is to select a universal ground-transport complex for processing poor, substandard ore from the Malyy Kuybas deposit. The developed solution is characterized by an integrated approach to the processing of stored rocks and disposal of the dump, located on the territory of the Agapovsky district, Chelyabinsk region.

Keywords: Malyy Kuybas deposit, processing, iron ores, land transport complex, technology, processing, production waste, off-balance ore, extraction, sub-mining

© Shavakuleva O.P., Zhumatiy A.G., Sedinkina N.A., 2023

Received: September 11, 2023; Accepted: November 29, 2023; Published: December 24, 2023

For citation:

Shavakuleva O.P., Zhumatiy A.G., Sedinkina N.A. Technology of Complex Processing of Substandard Ores and Skarn Rocks with Low Iron Content // Subsurface Management and Transportation Systems. 2023, Vol.13, No.2, pp.25-32. <https://doi.org/10.18503/SMTS-2023-13-2-25-32>



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Введение

Минеральное сырье относится к невозполнимым природным ресурсам и требует рациональной технологии добычи и переработки рудного материала [1–6]. В последние годы ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК) испытывает хроническую нехватку местных железных руд. Месторождение горы Магнитной полностью отработано и на сегодняшний день осталось лишь месторождение железных руд Малый Куйбас, отработка которого заканчивается в 2024 году. Фронт эксплуатационных работ на месторождении с каждым годом сокращается, а поставки привозных руд на ММК увеличиваются. Себестоимость местной сырой руды, по ценам 2023 г, составляет в среднем 750 руб./т. Себестоимость полученного из неё концентрата и аглоруды, соответственно, 2500 и 1950 руб./т. Стоимость привозного концентрата и аглоруды – 9500 и 5000 руб./т. В этих условиях особенно актуальным становится вопрос о пополнении местной сырьевой базы. Покрытие дефицита в какой-то мере возможно в результате вовлечения некондиционных разубоженных руд, скарных пород с содержанием железа 12–19%, для которых появляется все больше перспективных направлений переработки и комплексного использования.

Месторождение Малый Куйбас по сложности геологического строения относится к III группе. Рудные тела представлены серией тел разнообразной формы, от гнездовидной до линзовидной, с многочисленными прослоями пустых пород. Распределение полезных компонентов не имеет закономерности, мощность также весьма изменчива и варьирует от нескольких десятков сантиметров до 50 метров.

На месторождении Малый Куйбас принята система разработки десятиметровыми уступами. При экскавации значительный объем руды разубоживается и уходит в потери, так как рудные тела имеют сложную конфигурацию. Для более рационального использования недр в 2015 г было предложено изменить систему отработки рудных блоков на подступную или послонную. В результате было добыто и заскладировано на спецотвале более 1.5 млн т некондиционных руд и скарных пород с содержанием железа общего 12–19%, чтобы в дальнейшем вовлечь их в переработку (обогащение) через стационарный или мобильный дробильно-обоганительный комплекс на борту карьера. Переработка такого сырья будет практически безотходной, так как весь материал будет разделён на магнитную фракцию и строительный камень (щебень). Лишь малая часть будет уходить в хвосты сухой магнитной сепарации, которые можно использовать как материал для дорожных работ или рассмотреть возможность получения из них щебня фракции 5–20 мм и щебеночно-песчаной смеси фракции 0–5 мм, направляя на переработку совместно со строительным камнем. Немagnetную фракцию выгоднее отправлять на дробильно-сортировочную фабрику для дальнейшей переработки и получения товарного щебня и других видов строительного сырья.

При внедрении дробильно-обоганительного комплекса охватывается такой экологический аспект, как рекультивация нарушенных земель. При эффективном использовании данного комплекса можно в последующем перерабатывать и другие отвалы скальных пород [7–10]. Отработка техногенного месторождения может обеспечить как минимум:

- сокращение расходов на поиски новых и разведку эксплуатируемых месторождений;
- сохранение истощающихся ресурсов в недрах;
- повышение производительности труда в результате рентабельной переработки уже добытого сырья;
- производство дешёвых строительных материалов;
- высвобождение занимаемых земель и их рекультивацию;
- сокращение затрат на привозное сырье.

2. Обоснование принимаемых решений

На данный момент разработка месторождения Малый Куйбас ведётся с применением буровзрывных работ для подготовки горных пород к выемке. При производстве взрывных и добычных работ происходит дополнительное разубоживание и засорение рудных тел, вследствие чего снижается качество товарной руды с одновременным увеличением её количества.

Выемка горной массы и руды происходит с применением электрических экскаваторов, что позволяет проводить селективную добычу руды в сложных забоях.

Для повышения качества товарной руды после проведения взрывных и добычных работ, была разработана и внедрена система подступной добычи руды. Также рекомендуется разработать технологию переработки с использованием наземно-транспортных комплексов.

Основными наземно-транспортными комплексами при переработке полезных ископаемых и техногенного сырья являются дробилки, грохоты, магнитные сепараторы и так далее [11–16]. Применение мобильных установок является экономически целесообразными, в результате:

- учёта ограничения по времени действия разрешений на разработку месторождения;
- увеличения перепродажной стоимости и возможности многократного использования;
- возможность раздельного использования установок;
- возможности перекомбинации установок в комплексе;
- снижения расходов на персонал и автомобили.

Современные мобильные установки позволяют получать конечный продукт такого же качества, как на стационарных установках. По эксплуатационной готовности мобильные установки равноценны стационарным.

3. Данные и методы

В работе представлены результаты исследований, проведенных в лабораторных условиях, и результаты промышленных испытаний на некондиционных рудах

и скарновых породах с низким содержанием железа. Полученные результаты позволяют рекомендовать проектную, принципиальную технологическую схему переработки отвала некондиционной руды, которая должна в себя включать следующие процессы: дробление; сухая магнитная сепарация; транспортирование полученных продуктов переработки на усреднительный склад. При переработке некондиционной руды возможно получение промпродукта с содержанием же-

леза не менее 30%, а также строительного щебня и материала для ремонта дорог.

4. Результаты и их обсуждение

Для повышения качества товарной руды месторождения Малый Куйбас после проведения взрывных и добычных работ была разработана и внедрена система подступной добычи руды (рис. 1).

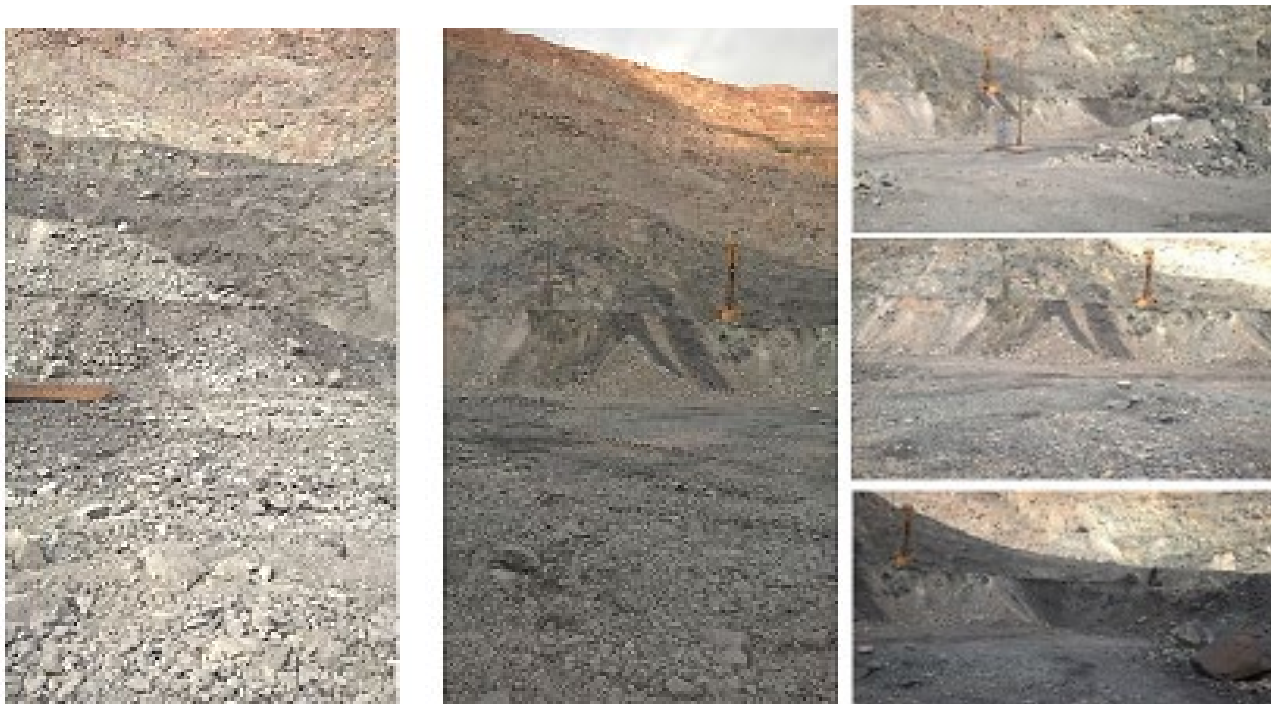


Рис. 1. Рудный забой, обрабатываемый подступно
Fig. 1. Ore face, worked out by underledges

Для определения возможности вовлечения в переработку некондиционных руд и скарновых пород с низким содержанием железа принято решение об опытно-промышленной переработке небольшого количества бедной руды с содержанием железа 12–19%. С целью определения возможности её переработки в разных пределах горно-обогатительного передела (ГОП) ПАО «ММК» работы проводились на трех разных площадках:

1. РОФ (ДОФ-5) ГОП ПАО «ММК»;
2. ООО УГРУ «Восток»;
3. ООО «Шлаксервис».

4.1 Опытно-промышленная переработка бедной руды по схеме ДОФ-5

Промышленные исследования обогатимости железосодержащих вмещающих пород и бедных руд месторождения Малый Куйбас с массовой доли железа до 20% проводились на ДОФ-5 ПАО «ММК» методом генерального опробования фабрики. Для проведения исследований был усреднен штабель руды в количестве 6130 т. По результатам входного контроля массовая

доля железа в среднем составляла 13.9 % (минимальная массовая доля железа – 11.0 %, максимальная – 17.8 %), массовая доля влаги составила 2.3 %. По действующей схеме выделилось 14.3 % концентрата с массовой долей железа 60.9 % (по стандарту организации ММК 2031–11 массовая доля железа в концентрате должна быть не менее 61.0%). При этом извлечение железа в концентрат составило 56.2%. Извлечение железа в хвосты мокрой магнитной сепарации составило 18.8%.

Для транспортирования хвостов сухой магнитной сепарации необходимо предусмотреть привлечение дополнительного количества железнодорожных составов для освобождения бункеров хвостов сухой магнитной сепарации.

В ходе проведения испытаний отмечено быстрое заиливание ванны классификатора в результате интенсивного осаждения частиц промпродукта. Через два часа работы узла мельницы-классификатора приходилось размывать ванну классификатора, что приводило к снижению производительности фабрики по концентрату. Так же отмечено увеличение расхода воды в технологическом процессе на производство концентрата

до 30.5 м³/ч при вовлечении в производство смеси сырья, состоящего из бедной руды месторождения Малый Куйбас, руды Бенкалинского месторождения, шламов вакуумно-фильтрационных установок, расход воды на 1 тонну концентрата составляет в среднем 17.0 м³/ч.

Проведены физико-механические испытания хвостов сухой магнитной сепарации — щебня фракции 10–40 мм. Такой щебень соответствует требованиям

стандарту организации ММК 234 «Щебень для строительных работ и других целей».

Данные для сравнения результатов переработки железосодержащих вмещающих пород и бедных руд месторождения Малый Куйбас силами РОФ (ДОФ-5) и промежуточного продукта сухой магнитной сепарации, произведенного из железосодержащих вмещающих пород и бедных руд месторождения Малый Куйбас ООО «УГРУ Восток», представлены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение результатов испытаний
Table 1. Comparison of test results

Наименование продуктов	ДОФ-5 ПАО «ММК»		УГРУ «Восток»		пересчет**	
	Выход, %	Fe, %*	Выход, %	Fe, %*	Выход, %	Fe, %*
Исходное сырье		15.5	100	38.0	-	-
Хвосты СМС	54.6	7.1	7.4	9.3	79.9	-
Концентрат ДОФ-5	14.3	60.9	51.6	61.5	10.4	61.5
Хвосты ММС	31.1	9.4	41.0	13.6	8.2	13.6

* – массовая доля железа, %

** – пересчет выхода концентрата ДОФ-5 с учётом дополнительной стадии сухой магнитной сепарации в ООО «УГРУ Восток».

4.2 Опытно-промышленная переработка бедной руды на установке Амсом-2 ООО «Шлаксервис»

Промышленные исследования обогатимости железосодержащих вмещающих пород и бедных (до 20% Fe) руд месторождения Малый Куйбас проводились методом разделения на сухих магнитных сепараторах на установке Амсом-2. Для проведения исследований на передвижной щековой дробилке до фракции 0–100 мм было продроблено 200 тонн исходного сырья со средней массовой долей железа 15.7%.

Весь исходный материал был условно разделён на три части. Каждая часть разделена на три фракции 0–10, 10–50, 50–100 мм. С каждой из фракций проведена сухая магнитная сепарация при различной частоте тока двигателя барабанов сепараторов: М 22 – фракция 0–10 мм, М 11 – фракция 10–50 мм и М 6 – фракция 50–100 мм. Осуществлён отбор полученных концентратов и хвостов, определён выход продуктов. Всего изучено три режима.

На основании результатов промышленных испытаний рассчитаны средние показатели распределения железа по классам крупности (табл. 2).

Таблица 2. Распределение железа по классам крупности в исходном продукте фракции 0–100 мм

Table 2. Distribution of iron by size classes in the initial product fraction 0–100 mm

Фракция, мм	Выход, %	Массовая доля железа, %	Извлечение, %
Исходный	100.0	15.7	100.0
0–10	14.7	21.1	19.0
10–50	35.4	17.3	39.5
50–100	49.9	12.9	41.4

Данные показывают, что наибольшая массовая доля железа сосредоточена в классе крупности 0–10 мм

и составляет 21.1%.

Исходный материал по крупности неравномерен. Так, в пробе, обрабатываемой по третьему режиму, присутствовало больше фракции 0–10 мм (23.2 %). В пробе, обрабатываемой по первому режиму, оказалось наименьшее содержание фракции 0–10 мм (9.2 %). При дальнейшей переработке будет так же наблюдаться вариация содержания фракции 0–10 мм из-за отсутствия усреднения материал. Железосодержащие вмещающие породы и бедные руды (до 20% Fe) месторождения Малый Куйбас являются, своего рода, отходами производства добычи руды и возможность их усреднения отсутствует.

Данные исследования показывают, что оптимальным является второй режим работы оборудования установки Амсом-2 в результате которого, при обогащении железосодержащих вмещающих пород и бедных руд (до 20% Fe) месторождения Малый Куйбас, извлечение железа в концентрат составляет 13.3 % для фракции 0–10 мм, 33.3% – для фракции 10–50 мм, 22.8% – для фракции 50–100 мм. Выход объединённого концентрата при втором режиме составит 29.5%, массовая доля железа – 41.0%.

При положительном решении о переработке железосодержащих вмещающих пород и бедных (до 20% Fe) руд месторождения Малый Куйбас на установке Амсом, необходимо будет дополнительно отработать режимы работы сепараторов при более длительном времени работы установки на исследуемом сырье.

В результате промышленных испытаний установлена принципиальная возможность получения промежуточного продукта из железосодержащих вмещающих пород и бедных (до 20% Fe) руд месторождения Малый Куйбас в зависимости от различных значений массовой доли железа в исходном сырье и различных режимов сепарации для дальнейшей переработки на ДОФ-5 РОФ-ГОП.

В ходе опытно-промышленной переработки проведены физико-механические испытания хвостов сухой

магнитной сепарации (щебеночно-песчаная смесь фракции 0–10 мм и щебень фракции 10–50 мм). Они показали несоответствие хвостов требованиям ГОСТ 25607 «Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов» по зерновому составу.

4.3 Выбор места размещения мобильной установки для переработки бедной руды

При проведении испытаний было установлено, что после сухой магнитной сепарации (СМС) может быть получен промпродукт со средним содержанием железа 29.7% и выходом около 20%. При этом выход концентрата СМС у компании ООО «УГРУ Восток» составил 20.1 % с массовой долей железа в среднем 38%.

Так как складированные запасы некондиционной руды находятся на значительном удалении от цеха РОФ и установки ООО «Шлаксервис», при транспортировке возникают значительные затраты на железнодорожные перевозки материала для обогащения и последующего перемещения полученных отходов обогащения. Дополнительно требуются объёмы для их размещения в шламо-хвостохранилищах. Поэтому считаем целесообразным размещение установки с циклом сухой магнитной сепарации для получения промпродукта из сырья объёмом 500 тыс. т в год непосредственно на месте складирования сырья (рис. 2), то есть на отвале карьера Малый Куйбас.



Рис.2 Схема размещения установки на промплощадке
Fig. 2. Layout of the installation on the industrial site

Предложенное место переработки позволит уменьшить объем автотранспортных перевозок некондиционной руды на усреднительный склад, железнодорожных перевозок на РОФ на 350 тыс. т в год. Кроме того,

в результате переработки будет получен строительный щебень и материал для ремонта карьерных дорог, не потребуется дополнительный объем хранилищ для отходов обогащения и их перевозки.

Срок окупаемости проекта составляет 1 год. Так как запасы сырья составят около 2 млн т, в дальнейшем себестоимость 1 тонны промпродукта будет снижаться.

Для реализации переработки железосодержащих вмещающих пород и бедных руд (до 20% Fe) месторождения Малый Куйбас ООО «Магнетар» предлагает к поставке установку магнитной рудоразборки С-200.

Комплекс располагается на самонесущих металлических конструкциях и не требует строительства фундамента. Комплекс предназначен для эксплуатации при температуре от -20 до +40 °С и влажности сырья до 20%.

5. Заключение

В работе представлено техническое решение актуальной задачи по разработке комплекса переработки некондиционной магнетитовой руды месторождения Малый Куйбас ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

За исходное сырье взята отдельно складированная бедная магнетитовая руда с массовой долей железа менее 20%. В настоящее время количество некондиционной руды составляет не менее 1.5 млн т. До окончания отработки месторождения Малый Куйбас открытым способом будет дополнительно заскладировано ещё около 500 тыс. т. Переработка некондиционной руды займёт не менее четырёх лет при заявленной потребности производства.

Предлагаемое к реализации решение является высокорентабельным в результате переработки некондиционной руды с исключением взрывных работ, выемки горной породы и других процессов, применяемых при разработке естественных рудных тел.

Кроме всего, проект, предполагает улучшение экологии в регионе, что соответствует Указам Президента Российской Федерации и экологической политике РФ.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

- проектная принципиальная технологическая схема переработки отвала некондиционной руды будет включать процессы дробления, сухой магнитной сепарации и транспортирования полученных продуктов переработки на усреднительный склад;
- при переработке некондиционной руды возможно получение следующие готовых товарных продуктов: промпродукт с содержанием железа не менее 30%; строительный щебень и материалы для ремонта дорог;
- расчётная производительность по выпуску промпродукта с содержанием железа не менее 30 % составляет 150 тыс. т/год. Также планируется получить строительный щебень. Строительный щебень будут использоваться в качестве строительного материала;
- общая стоимость проекта составляет 75 миллионов

рублей. Срок реализации проекта составляет 1 месяц. Срок окупаемости проекта составляет 1 год с момента запуска производства.

В настоящее время геологоразведочной партией цеха Рудник ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» ведётся оценочное бурение ряда пер-

спективных железорудных проявлений, которые находятся на удалении до 240 км от обогатительной фабрики. После отработки запасов сырья на участке карьера Малый Куйбас, аналогичным образом установка может быть использована на будущих участках работы.

Список литературы

1. Чантурия В.А. Перспективы устойчивого развития горноперерабатывающей индустрии России // Горный журнал. 2007. № 2. С. 2–9.
2. Гладских В.И., Гром С.В., Емелин К.А., Чижевский В.Б., Шавакулева О.П. Состояние и перспективы развития сырьевой базы ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» // Горный журнал. 2012. S3. С. 12–14.
3. Шавакулева О.П., Гмызина Н.В., Сединкина Н.А., Дегодя Е.Ю. Перспективы освоения и переработки железосодержащего сырья Южного Урала // Маркшейдерия и Недропользование. 2022. № 3. С. 12–17.
4. Goncharova L., Larichkin F., Perein V. Potential of Technogenic Mineral Raw Materials in Russia and the Issues of its Rational Use // Economic and social changes: facts, trends, forecast. 2015. 5 (41). <https://www.doi.org/10.15838/esc/2015.5.41.7>.
5. Lukashev K.I. Sovremennye problemy geokhīmii, geologii i poiskov mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh: Materialy Mezhdunarodnoī nauchnoī konferentsii, posviashchennoī 100-letiiu so dnia rozhdeniia akademika Konstantina Ignat'evicha Lukasheva (1907-1987), 14-16 marta 2007 g., Minsk. Minsk: Izdatel'skiī tsentr BGU, 2007. 266 pages. ISBN 978-985-476-472-6.
6. Чантурия В.А., Шадрунова И.В., Горлова О.Е. Адаптация разделительных процессов обогащения полезных ископаемых к техногенному сырью: проблемы и решения // Обогащение руд. 2012. № 5. С. 43–50.
7. Chanturia V., Shadrunova I., Gorlova O. Innovative Processes of Deep and Environmentally Safe Processing of Technogenic Raw Materials in the Conditions of New Economic Challenges // Sustainable Development of Mountain Territories. 2021. Vol. 13. No. 2. С. 224–237. <https://www.doi.org/10.21177/1998-4502-2021-13-2-224-237>.
8. Shadrunova I.V., Zelinskaya E.V., Orekhova N. N., Gorlova O.E., Chekushina T.V. ESG-transformation in Processing of Man-made Mineral Raw Materials // Mining Industry Journal (Gornay Promishlennost). 2023. No. 1. pp. 71-78. <https://www.doi.org/10.30686/1609-9192-2023-1-71-78>.
9. Shen H., Forssberg E., Nordström U. Physicochemical and Mineralogical Properties of Stainless Steel Slags Oriented to Metal Recovery // Resources, Conservation and Recycling. 2004. Vol. 40. No. 3. pp. 245–271. [https://www.doi.org/10.1016/S0921-3449\(03\)00072-7](https://www.doi.org/10.1016/S0921-3449(03)00072-7).
10. Чижевский В.Б., Гришин И.А., Шавакулева О.П. Разработка высокоэффективной технологии глубокой переработки и комплексного использования сталеплавильных шлаков // Чёрные металлы. 2016. № 9. С. 18-23.
11. Ripley E.M., Li C. Metallic Ore Deposits Associated with Mafic to Ultramafic Igneous Rocks. // Processes and Ore Deposits of Ultramafic-Mafic Magmas through Space and Time. Elsevier, 2018. pp. 79-111. <https://www.doi.org/10.1016/B978-0-12-811159-8.00004-4>.
12. Yi H., Xu G., Cheng H., Wang J.i, Wan Y., Chen H. An Overview of Utilization of Steel Slag // Procedia Environmental Sciences. 2012. Vol. 16. pp. 791-801. <https://www.doi.org/10.1016/j.proenv.2012.10.108>.
13. Sinelnikov V.O., Kalisz D., Kuzemko R.D. Study of the Phase and Mineralogical Properties of Converter Slag During Splashing to Improve Lining Resistance // Refractories and Industrial Ceramics. 2018. T. 59. № 4. С. 403–409. <https://www.doi.org/10.1007/s11148-018-0244-y>.
14. Горлова О.Е., Тарасова А.Е., Ефремова О.Г. Изыскание путей комплексной переработки шламов доменного производства // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. Т. 12. № 4. С. 4–6.
15. Шапарь А.Г., Копач П.И., Якубенко Л.В., Гулямов Б.С. Технологические аспекты разработки техногенных месторождений на базе шламоохранилищ // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2006. № 9. С. 259–267.
16. Мельников И.Т., Суров А.И., Кутлубаев И.М., Мельников И.И., Манушин А.А. Опыт эксплуатации хвостового хозяйства горно-обогатительного производства ОАО «ММК» // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. Т. 34. № 2. С. 10–15.

References

1. Chanturiya V.A. 2007. Prospects of Stable Development of Russian Mining Industry. *Gornyi Zhurnal*, No. 2, pp. 2–9. (In Russ.).
2. Gladskikh V.I., Grom S.V., Emelin K.A., Chizhevskiy V.B. and Shavakuleva O.P. 2012. State and Development Prospects of the Raw Material Base of Magnitogorsk Iron & Steel Works. *Gornyi Zhurnal*, S3, pp. 12–14. (In Russ.).

3. Shavakyleva O., Gmyzina N., Sedinkina N. and Degodya E. 2022. Prospects for the Development and Processing of Iron-Containing Raw Materials of the Southern Urals. *Mine Surveying and Subsurface Use*, No. 3, pp. 12–17. (In Russ.).
4. Goncharova L., Larichkin F. and Perein V. 2015. Potential of Technogenic Mineral Raw Materials in Russia and the Issues of its Rational Use. *Economic and social changes: facts, trends, forecast*, 5 (41). (In Russ.).
5. Lukashev K.I. 2007. *Sovremennye problemy geokhimii, geologii i poiskov mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh. Materialy Mezhdunarodnoĭ nauchnoĭ konferentsii, posviashchennoĭ 100-letiiu so dnia rozhdeniia akademika Konstantina Ignat'evicha Lukasheva (1907-1987), 14-16 marta 2007 g., Minsk*. Minsk, Izdatel'skiĭ tsentr BGU. (In Russ., Eng.).
6. Chanturiya V.A., Shadrinova I.V. and Gorlova O.Ye. 2012. Adaptation of mineral processing separation processes to technogenic raw materials. Problems and solutions. *Obogashchenie Rud*, No. 5, pp. 43–50. (In Russ.).
7. Chanturia V., Shadrinova I. and Gorlova O. 2021. Innovative Processes of Deep and Environmentally Safe Processing of Technogenic Raw Materials in the Conditions of New Economic Challenges. *SDMT*, Vol. 13, No. 2, pp. 224–37. (In Russ.).
8. Shadrinova I.V., Zelinskaya E.V., Orekhova, N. N., Gorlova O.E. and Chekushina T.V. 2023. ESG-transformation in Processing of Man-made Mineral Raw Materials. *Mining Industry Journal*, No. 1, pp. 71–78. (In Russ.).
9. Shen H., Forssberg E. and Nordström U. 2004. Physicochemical and Mineralogical Properties of Stainless Steel Slags Oriented to Metal Recovery. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 40, No. 3, pp. 245–71.
10. Chizhevsky V.B., Grishin I.A. and Shavakuleva O.P. 2016. Development of a Highly Efficient Technology for Deep Processing and Integrated Utilization of Steelmaking Slags. *Cher nye Metally*, No. 9, pp. 18–23. (In Russ.).
11. Ripley E.M. and Li C. 2018. Metallic Ore Deposits Associated with Mafic to Ultramafic Igneous Rocks, *Processes and Ore Deposits of Ultramafic-Mafic Magmas through Space and Time*, Elsevier, pp. 79–111.
12. Yi H., Xu G., Cheng H., Wang J.i, Wan Y. and Chen H. 2012. An Overview of Utilization of Steel Slag. *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 16, pp. 791–801.
13. Sinelnikov V.O., Kalisz D. and Kuzemko R.D. 2018. Study of the Phase and Mineralogical Properties of Converter Slag During Splashing to Improve Lining Resistance. *Refract Ind Ceram*, Vol. 59, No. 4, pp. 403–09.
14. Gorlova O.E., Tarasova A.E. and Efremova O.G. 2005. Exploration of Blast Furnace Sludge Complex Processing Ways. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, Vol. 12, No. 4, pp. 4–6. (In Russ.).
15. Shapar A.G., Kopach P.I., Yakubenko L.V. and Gulyamov B.S. 2006. Technological Aspects of Technogenic Deposits Development Based on Sludge Storages. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, No. 9, pp. 259–67. (In Russ.).
16. Melnikov I.T., Surov A.I., Kutlubaev I.M., Melnikov I.I. and Manushin A.A. 2011. Experience of Operation of Tailings Management of Mining and Processing Production of OJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, Vol. 34, No. 2, pp. 10–15. (In Russ.).