МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Satbayev University

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

УДК 622.7 На правах рукописи

Дүйсекешова Айнұр Серікқызы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации: Разработка технологии обогащения промпродукта магнетитовых руд

Направление подготовки: 7М07223- Металлургия и обогащение полезных ископаемых

Научный руководитель:
к.т.н., профессор
_____ Телков Ш.А.
«10» 06 2021 г.

Рецензент :
к.т.н., в.н.с.
_____ Гладышев С.В.
«10» 06 2021 г.

Нормоконтроль;
доктор PhD, сениор-лектор
_____ Дюсенова С.В.
«10» 06 2021 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующая кафедрой МиОПИ,
кандидат технических наук
_____ Барменшинова М.Б.
«10» 06 2021 г.

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Satbayev University

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургии и
обогащения полезных ископаемых

7М07223 - " Металлургия и обогащение полезных ископаемых "

УТВЕРЖДАЮ
Заведующая кафедрой МиОПИ
кандидат технических наук
_____ М.Б. Барменшинова
"01" 02 2021 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение магистерской диссертации

Магистранту *Дуйсекешова Айнур Серікқызы*
Тема: Разработка технологии обогащения промпродукта магнетитовых руд
Утверждена *приказом ректора университета №* 435-м *от "*03*"* 12 20*21 г.*
Срок сдачи законченной диссертации *"*15*"* 06 *2021 г.*
Исходные данные к магистерской диссертации: Исследование на обогатимость промпродукта магнетитовых руд месторождения Атансор.
Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:
а) *Введение. Литературный обзор;*
б) *Исследовательская часть;*
в) *Заключение;*
г) *Список использованной литературы.*
Демонстрационный графический материал представить не менее чем на ____ слайдах с результатами исследований.
Рекомендуемая основная литература:

1. Митрофанов С.И. Исследование полезных ископаемых на обогатимость. – М.: Госгортехиздат, 1962.
2. ГОСТ 4790-80. Метод фракционного анализа. – М.: Недра, 1980.
3. Райвич И.Д. Отсадка крупнокусковых руд. – М.: Недра, 1988.

ГРАФИК

подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки предоставления научному руководителю и консультантам	Примечание
Введение	15.02.2021	выполнено
Аналитический обзор литературы	15.03.2021	выполнено
Методика исследований	15.03.2021	выполнено
Экспериментальная часть	15.03.2021	выполнено
Заключение	15.05.2021	выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименование раздела	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	подпись
Введение	Телков Ш.А к.т.н. профессор	20.02.2021	
Аналитический обзор литературы		20.02.2021	
Методика исследований		20.03.2021	
Экспериментальная часть		20.03.2021	
Заключение		20.05.2021	
Нормоконтролер	Дюсенова С.Б. доктор PhD	20.05.2021	

Научный руководитель: _____ Телков Ш.А.

Задание принял к исполнению обучающийся: _____ Дүйсекешова А.С.

Дата «10» 06 2021 г.

АННОТАЦИЯ

В данной магистерской работе на пробе промпродукта магнитного обогащения руды месторождения Атансор выполнены исследования по определению гравитационной и магнитной обогатимости с целью разработки технологии ее переработки.

В результате проведенных исследований установлено, что распределение содержания железа по классам крупности, относительно содержания в промпродукте, практически равномерное.

На основании результатов, полученных при выполнении фракционного анализа и гравитационном обогащении промпродукта отсадкой, а также результатов минералогических исследований, которые показали тонкозернистую вкрапленность магнетита можно констатировать, что для раскрытия минеральных зерен в магнитном промпродукте руды месторождения «Атансор» требуется тонкое измельчение. Для получения железных концентратов с содержанием железа не менее 55 % рекомендуется использовать мокрое магнитное обогащение.

АҢДАТПА

Осы магистрлік жұмыста Атансор кен орнының кендерін магниттік байыту өндірістік өнімінің сынамасында оны қайта өңдеу технологиясын әзірлеу мақсатында гравитациялық және магниттік байытуды анықтау бойынша зерттеулер жүргізілді.

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде өнеркәсіптік өнімнің құрамына қатысты ірілік кластары бойынша темір құрамының таралуы іс жүзінде біркелкі екені анықталды.

Фракциялық талдау жүргізу және өнеркәсіптік өнімді тұндыру арқылы гравитациялық байыту кезінде алынған нәтижелерге, сондай-ақ магнетиттің ұсақ түйірлі шашырауын көрсеткен минералогиялық зерттеулердің нәтижелеріне сүйене отырып, Атансор кен орнының магниттік өнімінде минералды дәндерді ашу үшін ұсақ ұнтақтау қажет деп айтуға болады. Құрамында кемінде 55% темір бар темір концентраттарын алу үшін дымқыл магнитті байытуды пайдалану ұсынылады.

ANNOTATION

In this master's work, studies were carried out on a sample of the industrial product of magnetic enrichment of ore from the Atansor deposit to determine the gravitational and magnetic concentration in order to develop a technology for its processing.

As a result of the conducted studies, it was found that the distribution of iron content by size classes, relative to the content in industrial products, is almost uniform.

Based on the results obtained during the fractional analysis and gravity enrichment of the industrial product by jigging, as well as the results of mineralogical studies that showed fine-grained inclusions of magnetite, it can be stated that fine grinding is required for the disclosure of mineral grains in the magnetic industrial product of the ore of the Atansor deposit. To obtain iron concentrates with an iron content of at least 55%, it is recommended to use wet magnetic enrichment.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..... 8
1. Анализ литературных источников……. 10
1.1 Общая характеристика железных руд……. 10
1.2 Сырьевая база железа в мире…… 11
1.3 Сырьевая база железных руд в Казахстане……. 12
1.4 Классификация магнитных руд по технологическим типам …… 13
1.5 Основные факторы влияния на выбор технологической схемы обогащения руды……. 16
2. Методика исследований……. 19
2.1 Гранулометрический анализ промпродукта……..... 19
2.2 Фракционный анализ……..... 19
2.3 Гравитационное обогащение…….. 19
2.4 Магнитное обогащение ……..…… 19
2.5 Выполнение минералогических и химических анализов……. 19
3. Экспериментальная часть……... 20
3.1 Объект исследований……..... 20
3.2 Минералогический и химический состав промпродукта…….. 21
3.2.1 Минералогическое описание промпродукта…….. 24
3.3 Гранулометрический состав магнетитового промпродукта……. 28
3.3.1 Гранулометрический состав промпродукта исходной крупности ….. 28
3.4 Изучение фракционного состава промпродукта…….. 29
3.4.1 Фракционный состав промпродукта крупностью –20 +1,0 мм..…… 29
3.5 Обогащение магнетитового промпродукта……... 31
3.5.1 Отсадка машинного класса крупностью –20 +1,0 мм……. 32
3.6 Фракционный состав промпродукта дробленного до 10 мм, 5 мм и 2,5 мм…… 34
3.7 Дешламация класса –1,0 +0,0 мм полученного при рассеве промпродукта исходной крупности…… 35
3.8 Магнитное обогащение магнетитового промпродукта……..... 36
3.9 Рекомендуемые технологические схемы обогащения и технологические показатели……. 37
3.10 Качественная характеристика получаемых концентратов…….. 37
3.11 Балансы водопотребления……. 38
3.11.1 Водно-шламовая схема с магнитной сепарации класса – 0,1 +0 мм.. 38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... 43
Список использованных источников..... 45
Приложение А …… 46

ВВЕДЕНИЕ

В Казахстане в основном разрабатываются собственно железорудные месторождения трех геолого-промышленных типов: магнетитовый, магнетит-гематитовый и бурожелезняковый. Основной сырьевой базой горнодобывающих предприятий в республике являются месторождения магнетитовых руд. Также интенсивно эксплуатируются месторождения магнетит-гематитовых и гематитовых руд.

Основные балансовые запасы железных руд сосредоточены в Костанайской и Карагандинской областях, где на их базе действуют железорудные горно-обогатительные предприятия, одним из которых является ТОО «Оркен» (Атансор).

В процессе обогащения магнетитовых руд месторождения «Атансор» образуются отходы в виде промпродуктов с содержанием железа порядка 19 – 21 %.

В связи с этим возросла **актуальность** в выполнении исследований по определению гравитационной обогатимости магнетитовых промпродуктов и определению возможности его дообогащения с получением концентратов с содержанием железа не менее 55 %.

Цель работы – исследование гравитационной обогатимости промпродукта магнетитовых руд и разработка технологии его переработки с использованием гравитационных и магнитных процессов обогащения.

Объект исследования – технологическая проба промпродукта магнетитовых руд месторождения «Атансор».

Задачи исследования:

изучение минералогические, вещественные и химические анализы исходного промпродукта;

определить гранулометрический состав исходного промпродукта крупностью - 20 +0,0 мм и характер распределения железа по классам крупности;

Выполнены исследования по определению гравитационной обогатимости магнетитового промпродукта крупностью -20 +1 мм и -1 +0,071 мм методом фракционного анализа.

Определен характер распределения железа в классах крупностью - 20 +1 мм и -1 +0,071 мм во фракциях плотности: более 3000кг/м^3, 3000 - 2850 кг/м^3, 2850 - 2750 кг/м^3 и менее 2750 кг/м^3

Определена гравитационная обогатимость магнетитового промпродукта различной крупности и плотность разделения необходимая для получения железных концентратов с содержанием железа более 55 %.

Определены теоретически возможные технологические показатели гравитационного обогащения машинных классов крупности. Выполнены исследования по отсадке класса 20 – 1 мм.

Научная новизна работы заключается в определении параметров процесса магнитной сепарации при получении концентрата с содержанием железа более 55 %.

Результатами исследований доказано, что использование гравитационных процессов для обогащения промпродукта магнетитовых руд не позволит получить концентраты с требуемым содержанием железа, не менее 55 %.

На основании результатов исследований доказана принципиальная возможность использования для обогащения промпродукта магнетитовых руд процесса магнитной сепарации.

По рекомендованной технологической схеме с использованием процесса магнитной сепарации возможно получение концентратов с содержанием железа 60 – 63 %.

1. Анализ литературных источников

1.1 Общая характеристика железных руд

Железо является распространенным в природе элементом. Его содержание в земной коре составляет 4,2%. Больше содержится в ней только кислорода 49,7%, кремния 26% и алюминия 7,45%.[1]

Рудными ископаемыми или рудами называются такие минеральные массы из которых экономически целесообразно извлечение металлов или необходимого элемента. В соответствии с этим **железными рудами** называются горные породы из которых экономически целесообразно выплавлять железо. Постоянное изменение экономических условий вследствие развития методов обогащения руд, снижение стоимости их перевозки изменяет представление о железной руде, так как нижний предел содержания в ней железа все время снижается.

Промышленном месторождением руд считается такое скопление руд, которое экономически целесообразно разрабатывать. Экономичность этой разработки возрастает с увеличением мощности месторождения, поскольку вкладывать средства в строительство например шахт или карьеров, жилья, коммуникаций, целесообразно только при достаточно длительной эксплуатации месторождения. Опыт показывает, что эксплуатация железорудного месторождения целесообразна и имеет устойчивую перспективу при запасах около 250-500 млн. тонн.

Руда состоит из рудного и рудообразующего минерала, пустой породы и примесей. Извлекаемый элемент находится в рудном минерале.

Рудные минералы железных руд представляют собой оксиды, карбонаты железа и некоторые другие соединения.

Гематит - имеет химический состав Fe_2O_3 - безводный оксид железа. Гематит содержит 70% железа. Образованная гематитом руда называется красным железняком и является самым распространенным типом руды. Он обычно характеризуется высоким содержание железа и малым содержанием вредных примесей.

Магнетит - имеет химический состав Fe_3O_4 - магнитный оксид железа, содержащий 72,4% железа. Отличается от других минералов промышленных железных руд магнитными свойствами, которые теряются при нагреве свыше 570°С. Магнетит представляет собой смешанный оксид железа $FeO*Fe_2O_3$. Руды образованные магнетитом называются магнитными железняками или магнетитами. Они менее распространены, чем гематиты, характеризуются высоким содержанием железа, пониженной восстановимостью, часто сопровождающиеся серой.

Водные оксиды железа - $Fe_2O_3*nH_2O$ - в зависимости от значения n образуют различные виды оксидов, но все образуемые ими руды называют **бурыми железняками**. Различают такие водные оксиды железа:

n=0,1 - гидрогематит

n=1 - гетит

n=1,5 - лемонит и др.

Наиболее часто встречаются бурые железняки на основе лимонита - $2Fe_2O_3*3H_2O$ которые называют лимонитовыми.

Бурые железняки характеризуются пониженным содержанием железа, рыхлые, часто сопровождаются марганцем, фосфором, обладают высокими пористостью и восстановимостью.

Сидерит - имеет химический состав $FeCO_3$ - карбонат железа. Содержит 48,2% железа. Образованная сидеритом руда называется шпатовым железняком, или сидеритом. При значительных количествах примесей глины может называться глинистым железняком. Сидериты распространены гораздо меньше чем другие руды. Характеризуются высокой восстановимостью, низким содержанием железа из-за незначительного его содержания в рудном минерале и большого количества пустой породы. Под воздействием влаги и кислорода атмосферы сидериты могут переходить в бурые железняки, так как оксид железа (II) в молекуле $FeO*CO_2$ окисляется и поглощает влагу. Поэтому встречаются месторождения, в которых верхние слои руды являются бурыми железняками, а нижние коренные сидеритами.

Ильменит - имеет химический состав $FeTiO_3$ - железная соль титановой кислоты. Ильменит содержит 36,8% железа и 31,8% титана. Встречается всегда в сростках с обычным магнетитом, т.е. в виде $FeTiO_3*Fe_3O_4$. Образуемые ильменитом руды называются титаномагнетитами.

Титаномагнетит является плотной трудновосстановимой рудой, которая дает густые и тугоплавкие титансодержащие шлаки. Обладает магнитными свойствами и хорошо обогащается магнитной сепарацией. Часто сопровождается ваннадием.

Сульфид железа FeS_2 в природе находится ввиде минерала пирита или серного колчедана. Он содержит 46,6% железа. Пирит железные руды не образуют. Он используется в химической промышленности, где его сжигают для отделения серы. Железо при этом окисляется и в виде пиритных огарков применяется в производстве агломерата.

1.2 Сырьевая база железа в мире

Сырьевая база черной металлургии – это продукция горнодобывающей промышленности (железная руда, известняки, огнеупоры), топливной (коксующийся уголь, природный газ) и электроэнергетики [2]. Черная металлургия имеет следующие особенности добычи железной руды:

1) Сырье характеризуется относительно большим содержанием полезного компонента – от 17% в сидеритовых рудах до 53–55% в магнетитовых железняках. На долю богатых руд приходится почти пятая часть промышленных запасов, которые используются, как правило, без обогащения. Примерно 2/3 руд требуют обогащения простым и 18% – сложным методом обогащения.

2) Разнообразие сырья в видовом отношении (магнетитовое, сульфид- ное, окисленное и др.), что дает возможность использовать разнообразную технологию и получать металл с самыми различными свойствами.

3) Различные условия добычи (как шахтная, так и открытая, на долю которой приходится до 80% всего добываемого в черной металлургии сырья).

4) Использование руд, сложных по своему составу (фосфористые, ванадиевые, титаномагнетитовые, хромистые и т.п.). При этом более 2/3 со- ставляют магнетитовые, что облегчает возможности обогащения.

Значение отдельных стран и регионов мира в общегеологических запасах железных руд неодинаково. Более 28% их находится в государствах Восточной Европы, преимущественно в СНГ (Россия, Украина), до 17% – в Азии (КНР, Индия), по 16% – в Южной Америке

(Бразилия) и Африке, 13% – в Северной Америке (США, Канада) и по 5–6% в Западной Европе и Австралии. География запасов железной руды по регионам и странам мира далеко не совпадает с потребностью в ней у целого ряда государств, зачастую полностью лишенных разрабатываемых месторождений этого сырья, но имеющих крупную черную металлургию (Япония, ФРГ, Республика Корея и др.) [3].

Известно, что на сегодняшний день в 98 странах мира выявлены месторождения железной руды разного качества.При этом основная часть этого сырья (до 78 %) поставляется из пяти стран–лидеров: Китая, Бразилии, России, Австралии и Индии [2]. Содержание железа в рудах разных месторождений колеблется в широких пределах: к богатым относятся руды с содержанием железа более 50%, к рядовым – от 25 до 50% и к бедным – до 25%.

В развитых странах мира месторождений богатых руд мало: в Западной Европе такие ограниченные по запасам руды практически имеются только в Швеции (60–65% железа). Подавляющая часть рудных ресурсов региона бедные. Поэтому многие страны (Великобритания, ФРГ, Бельгия и др.) в 1980–е гг. вообще прекратили их разработку. Даже Франция с крупнейшими в регионе запасами в 1993 г. свернула добычу железной руды. Ухудшилось качество добываемого железорудного сырья и в Северной Америке. В США лучшие по качеству месторождения уже почти выработаны и теперь используются в основном рядовые руды (до 50% железа). Лишь Канада и Мексика еще располагают богатыми рудами (61–63% железа). Аналогичная ситуация сложилась и в странах Восточной Европы, где среднее содержание железа в извлекаемых рудах в России и Украине составляет около 40%. В Азии богатая руда добывается в Индии (до 63% железа).

1.3 Сырьевая база железных руд в Казахстане

Горно-металлургическая промышленность – ведущая отрасль казахстанской экономики, на долю которой приходится 15,2% в общем объеме промышленного производства. Растущие требования потребителей к качеству железорудного концентрата заставляют производителейискать пути повышения содержания железа в концентрате и снижение вредных примесейи при этом добыча и переработка полезных ископаемых должна оставаться экономически оправданной.[4]

Запасы железной руды в Казахстане оценивается в 16,6 млрд. тонн, что

составляет около 8% всех мировых запасов, из них около 8800 млн. тонн разведано подготовлено к эксплуатации. Около 90% железной руды сосредоточено в Торгайской области Северного Казахстана, Остальная часть находится в Центральном Казахстане.

Основная часть добываемой железной руды (65%) экспортируется из республики, в основном в Россию. Внутренними потребителями продукции железорудной промышленности республики является Карагандинский металлургический комбинат, Ермаковский и Актюбинский ферросплавные заводы[5].

Месторождения находятся в основном в Северном Казахстане, где сконцентрировано 85% разведанных запасов железной руды. Особое значение имеют Качарское и Соколовско-Сарбайское месторождения. Сарбайское месторождение железа было открыто в 1948 году летчиком М. Сургутановым. Во время перелета над месторождением он обратил внимание на резкое отклонение стрелки компаса под влиянием магнитной аномалии. Вскоре было открыто редкое месторождение железа. Руды этих месторождений высокого качества и содержат 50-60% чистого железа. Руды осадочного происхождения встречаются в месторождениях Аятское и Лисаковское в Костанайской области и добываются открытым способом на глубине 30 метров. Содержание чистого железа в руде 37-40%. Небольшие месторождения железной руды имеются в Карагандинской (Кентобе, Каратас) и Северо-Казахстанской (Атансор) областях [9].

По утвержденным запасам железорудного сырья Казахстан занимает седьмое место среди стран с развитой горнодобывающей промышленностью. На территории республики выявлено более двухсот месторождений и проявлений железа[6].

1.4 Классификация магнетитовых руд по технологическим типам

Основным рудным минералом магнетитовых руд является магнетит; вторичными минералами являются мартит, гематит, пирротин, пирит, халькопирит, кобальтин, сфалерит, галенит, марказит, арсенопирит.[7]

Основными рудными минералами полуокисленных руд являются: магнетит и мартит, образованные магнетитом, а минералами окисленных руд являются мартит или коричневые железняки.

Основные неметаллические минералы: пироксены, гранат, кальцит, серпентин, хлорит, апатит; второстепенные неметаллические минералы-амфиболы, шпинель, биотит, мусковит, эпидот, флогопит, полевой шпат, сфен, турмалин. Кварц практически отсутствует в рудах.

Руды изолированных месторождений и разновидности руд в самих месторождениях различаются по качественному составу и количественному соотношению рудных и неметаллических минералов.

По химическому составу магнетитовые руды характеризуются: колебаниями среднего содержания железа в рудах месторождений от 30 до 53%,

а в отдельных видах руд - от 15 до 65%;

наличие в рудах серы, фосфора, элементов цветных и редких металлов, содержание которых также широко варьируется от незначительных примесей до величины, при которой возможно их промышленное использование;

высокая основность руды и низкий модуль кремня;

Различный химический состав минерала магнетита обусловлен изоморфными элементами кристаллической решетки магнетита, магнием, алюминием и другими элементами, которые вызывают колебания содержания железа в магнетите.

Руды других месторождений со средним и мелкозернистым магнетитом могут несколько отличаться преобладающим размером зерен, в соответствии с которым производится классификация магнетита на среднюю и мелкую фракции, и соотношением выходов этих фракций.

Руды, содержащие крупнозернистую фракцию магнетита, представленные сплошными разрезами, существенно отличаются от руд со средне - и мелкозернистым магнетитом. Руды таких месторождений, помимо крупной фракции, содержат значительное количество среднезернистой фракции, а также небольшое количество мелкозернистой фракции магнетита.

Классификация руд осуществляется путем выявления основных типов и подтипов руд, отличающихся друг от друга основными природными свойствами, оказывающими существенное влияние на технологию и показатели обогащения руд.

Руды месторождений, к которым в основном относятся магнетитовые руды, классифицируются по их технологическим свойствам: I — минеральный состав; II — физические свойства; III —включенность магнетита; IV — чистота магнетита.

Для каждой функции, основанной на естественном отличительном определены свойства, технологические типы руды, которые характеризуют среднюю руду всего месторождения или ее отдельные сорта.

По минеральному составу выделяют три типа и четыре подтипа руд. Типы руд представлены первичным магнетитом, мартитизированным магнетитом и окисленными рудами. Среди первичных магнетитовых руд выделяют два подтипа: сложные руды и руды с вредными примесями, последние также наблюдаются среди мартизированных руд. В месторождениях окисленные руды представлены в небольших количествах мартитовыми и бурыми известняковыми рудами.

Качественная характеристика классификационных параметров минерального состава определяется соответствующими минералами или компонентами, содержащимися в руде, а количественная характеристика определяется их процентным содержанием.

Первичные магнетитовые руды содержат более 70% от общего количества рудных минералов, мартитизированные руды содержат от 10 до 20% мартита в виде дисперсных включений в магнетите, а в окисленных рудах преобладают мартиты или бурые железняки.

В зависимости от количественного содержания и технико-экономической возможности получения компонентов выделяют комплексные руды или руды с вредными примесями.

Природные свойства руды	Типы руды	Классификационные типы руды
I. Минеральный состав	1.Первичная магнетитовая руда	Содержание магнетита в руде не менее 70% общего, количество железных минералов.
	2.Мартитизированная магнетитовая руда	Содержание мартита в руде в виде дисперсной вкрапленности в магнетите не менее 10% общего количества железных минералов.
	3.Окисленная руда	
	а. Мартитовая руда	Преимущественное содержание мартита или бурых железняков в руде.
	б.Бурожелезняковая руда	Содержание мартита в руде не менее 70% общего количества железных минералов.
	4.Комлексная магнетитовая руда	Содержание бурых железняков в руде не менее 70% общего количества железных минералов.
	5. Руда с примесью	Содержание полезных компонентов в руде (кобальт, медь, сера и др.) в концентрации, достаточной для промышленного использования.
	6.Преимущественно рыхлая руда	Содержание вредных примесей в руде (фосфор, сера, цинк и др.) в концентрации, обусловливающей их удаление при обогащении руды.
II. Физические свойства	7.Преимущественно плотная руда	Руда крепостью f=2—6 по шкале М.М.Протодьяконова. Количество рыхлой руды, в месторождении не менее. 90% по объему.
	8. Смешанные (рыхлые и плотные) руды	Руда крепостью f=6—16 по шкале М. М. -Протодьяконова. Количество плотной руды в месторождении не менее 90% по объему

III. Вкрапленность магнетита IV. Чистота магнетита	9. Руда с крупно и средне вкрапленным магнетитом 10. Руда со средне и тонко вкрапленным магнетитом 11. Руда относительно чистым магнетитом 12. Руда изоморфными и дисперсными примесями в магнетите	В месторождении рыхлые и плотные руды примерно в одинаковых количествах— 40 — С0% по объему каждой руды. Магнетит представлен двумя преобладающими крупностями: сплошными участками крупностью. > 8 мм и отдельными зернами крупностью >0,2 мм Магнетит представлен двумя преобладающими размерами зерен: > 0 , 2 (р,1) и <0,2 (0,1) мм Предельное содержание железа в концентрате >68—71%. В магнетите стехиометрическое соотношение близко к теоретическому ($Fe^{2\|+}$: Fe^{3+}= 1 : 2) Предельное содержание железа в концентрате в диапазоне 60-68%. В магнетите нарушено стехиометрическое соотношение ($Fe^{2\|+}$: Fe^{3+}= 1: 2)

1.5 Основные факторы влияния на выбор технологической схемы обогащения руды

На выбор технологической схемы обогащения руды влияют факторы:
эксплуатация отдельных или кустовых месторождений;
способ добычи (валовой или по сортам) и усреднение руды;
природные свойства руды;
уровень освоения технологических процессов обогащения;
оборудования и автоматизация;
конструктивно-компоновочные решения;
способ окускования концентрата;
способ металлургического передела и требования к концентрату[7].

Особенностью рассматриваемых магнетитовых руд является наличие мелких месторождений, для каждого из которых нерационально строить обогатительную фабрику с полным пределом. Для куста мелких месторождений, расположенных недалеко друг от друга, целесообразно строить одну центральную фабрику, и при отдельных месторождениях строить дробильные фабрики с неполным циклом обогащения с целью сокращения тоннажа перевозки руды (по опыту центральной Абагурской фабрики и ДОФ Горной Шорип и Хакасии).

На некоторых месторождениях можно выделить сорта руды,

отличающиеся по содержанию железа и обогатимости, и осуществить добычу и переработку руды по сортам.

Вследствие резкого колебания содержания железа в руде усреднение руды и автоматизация цикла измельчения имеют особо важное значение, так как стабилизируют технологический процесс и позволяют упростить схему обогащения.

Из способов обогащения в основном применяют мокрую и сухую магнитную сепарацию (тихоходный режим) и обесшламливание[15].

С применением и освоением в схемах сухой быстроходной магнитной сепарации, гравитации и тонкого грохочения технологические схемы могут совершенствоваться в направлении стадиального выделения концентрата и увеличения его крупности без снижения качества.

С технологической точки зрения для первоначального измельчения магнетитовых руд целесообразно применять стержневые мельницы с последующим сбросом крупных хвостов. При дальнейшем увеличении объема стержневых мельниц осложняется их эксплуатация.

Шаровые мельницы могут применяться большого размера. Дальнейшее увеличение размеров шаровых мельниц также ограничено вследствие осложнения их эксплуатации из-за ремонта на месте и выгрузки большого количества шаров из мельниц.

Бесшаровые мельницы достигают гораздо большего размера, чем шаровые. Мельницы самоизмельчения применяют диаметром 9,7 м и объемом 240 м3, а рудногалечные мельницы – размером 4,3×8,5 м.

Технологическая схема обогащения руды должна быть определена с учетом конструктивно-компоновочных решений и способствовать упрощению конструктивных решений. В некоторых случаях конструктивно-компоновочные решения можно упростить без ущерба для технологии обогащения руды.

Выбранный способ окускования – агломерация или окомкование определяет степень измельчения концентрата.

Агломерация способствует стадиальному выделению кускового и зернистого концентратов, при окомковании же необходимость этой операции должна быть тщательно проанализирована.

Способ металлургического передела определяет химическую характеристику концентратов по вредным примесям, сдерживанию железа и, следовательно, существенно влияет на технологию обработки руды.

При проектировании должны быть выбраны варианты технологических схем для технико-экономического сравнения на основе постоянных природных факторов (свойств руды) и с учетом рассмотренных переменных факторов.

Таким образом, технология обработки руды должна базироваться на закономерностях обогащения технологических типов руды, определяться природными свойствами руды, требованием к товарной продукции и условиями проектирования.

В промышленности используется несколько методов переработки магнетитовых руд: мокрая магнитная сепарация, обесшламливание, сухая

магнитная сепарация (быстроходный и тихоходные режимы), тонкое грохочение.

Некоторые зарубежные заводы (Адам Мейн, Гриффит) используют флотацию для удаления кремнезема из концентрата, полученного из магнетитовых кварцитов. На заводе в Грингесберге магнетитовый концентрат выщелачивают азотной кислотой, чтобы десфосфоризировать его и использовать для производства губчатого железа.

В промышленности наиболее распространена технологическая схема с использованием мокрой магнитной сепарации и обесшламливания. По стандартной схеме пустую породу удаляют стадиально, а крупную и среднюю фракцию магнетита снова измельчают.

На основе выявленных закономерностей и особенностей типов процессов переработки руды разработаны новые схемы с использованием методов переработки, обеспечивающих более эффективное использование природных свойств руды.

Для отделения сростков от зерен магнетита требуется более высокая скорость вращения, чем для отделения пустой породы от агрегатов. На практике последовательность применения режима разделения (быстроходная или тихоходная) зависит от свойств руды (количественного соотношения компонентов в руде). При значительном содержании в руде раскрытой фракции магнетита эта фракция первоначально высвобождается в концентрат в режиме быстроходной сепарации, а порода и агрегаты высвобождаются в немагнитный продукт, а затем в перечистной операции в режиме тихоходной сепарации высвобождаются хвосты и промышленные продукты. При значительном содержании пустой породы в руде последовательность операций протекает в обратном порядке.

Тихоходный режим в магнитном разделении в основном используется для выделения хвостов и реже для выделения руды с низким содержанием железа. Он не позволяет получать высококачественные концентраты из-за неэффективного разделения сростков вскрытых зерен и гранулированных магнитных агрегатов.

Магнетит можно отделить от зернистых агрегатов гравитационным методом: осаждением, на столах, в шлюзах, конических или винтовых сепараторах.

2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Гранулометрический анализ промпродукта

Для определения гранулометрического состава руды использовался набор сит КСМ (ГОСТ 9758-86) с размерами отверстий, мм: 20, 16, 13, 10, 8, 5, 2,5, 1,0 [10-11].

2.2 Фракционный анализ

Определение теоретически возможных показателей гравитационного обогащения различных размеров осуществлялось путем деления их на фракции менее 3000 кг/м3, 3000-2850 кг/м3, 2850-2750 кг/м3 и 2750 кг/м3 в растворах тяжелых жидкостей "М – 45". Полученные фракции плотности промывали, сушили, взвешивали, измельчали и измельчали для отбора проб на химический анализ с целью определения характера распределения железа по фракциям плотности в крупносерийных машинных классах [12].

2.3 Гравитационное обогащение

Для тестирования отсадкой машинных классов крупностью 20 – 1 мм использовался лабораторный пульсатор с пневматическим приводом. Частота пульсаций составила 60 – 80 колебаний в минуту, амплитуда колебаний 80 – 100 мм, цикл пульсаций синусоидальный (50 – 0 – 50), диаметр камеры 250 мм, размер отверстий решета – 2,0 мм, высота естественной постели 250 мм, расход подрешетной воды 4 - 6 $м^3$/т и удельная нагрузка 8 – 10 т/ч·$м^2$ [13].

2.4 Магнитное обогащение

Для обогащения измельченного промпродукта крупностью 0,1–0,0 мм использовался лабораторный трубчатый магнитный анализатор [10-11].

2.5 Выполнение химических анализов

Выполнение химических анализов осуществлялось в специализированной и аттестованной физико-аналитической лаборатории РГП «НЦ КПМС РК». Свидетельство № 35/16 от 07.07.2016 г, Алматинский филиал АО «Национальный центр экспертизы и сертификации».

Выполнение минералогических анализов исходной руды осуществлялось в ТОО «Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева»

3 Исследовательская часть

3.1 Объект исследований

На исследование поступила проба промышленной продукции магнетитовых руд месторождения "Атансор". Исследуемая проба представлена кусковым материалом с максимальной крупностью отдельных кусков 20 мм, масса пробы составила 490 кг.

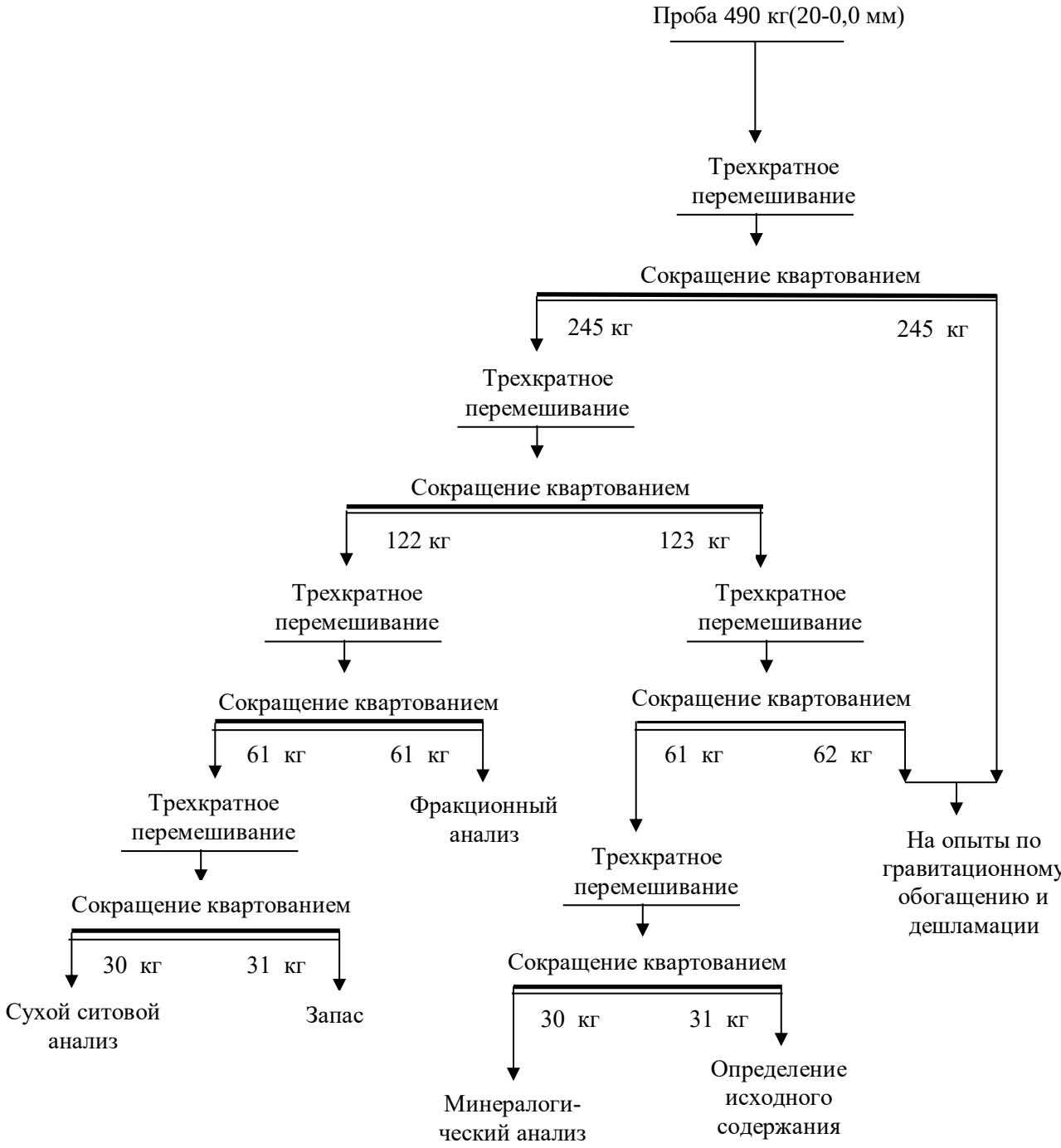


Рисунок 1 – Схема разделки пробы промпродукта магнетитовой руды

3.2 Минералогический и химический состав промпродукта

Минералогические исследования выполнены на пробе, представляющей собой промышленный продукт магнетита, полученный при обогащении руд месторождения "Атансор". Для исследования минерального состава промышленного продукта под микроскопом было изготовлено 4 аншлифа из различных образцов. Исследование проводилось на поляризационном микроскопе Leica DM 2500m в отраженном свете и бинокулярной лупе, а затем фотографировалось.

Для детального изучения минерального состава руды проведен рентгеновский дифрактометрический анализ, рисунок 2.

Рентгено-дифрактометрический анализ проведен на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3 с *Cu*Кα – излучением, β-фильтр. Условия съемки дифрактограмм: *U*=35 кВ; *I*=20 мА; съемка θ-2θ; детектор 2 град/мин.

Рентгено-фазовый анализ, на полуколичественной основе, выполнен по дифрактограммам порошковых проб с применением метода равных навесок и искусственных смесей. Определялись количественные соотношения кристаллических фаз.

Интерпретация дифрактограмм проводилась с использованием данных картотеки ICDD: база порошковых дифрактометрических данных PDF2 (Powder Diffraction File) и дифрактограмм чистых от примесей минералов. Возможные примеси, идентификация которых не может быть однозначной из-за малых содержаний и присутствия только 1-2 дифракционных рефлексов, указаны в таблице 1.

Приложение:

1. Межплоскостные расстояния и фазовый состав образцов.
2. Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа.
3. Дифрактограммы проб.

Для изучения элементов примесей выполнен полуколичественный атомно-эмиссионный спектральный анализ на 48 элементов, таблица 2.

Образец №1 магнетитовый промпродукт

Межплоскостные расстояния и фазовый состав промпродукта приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Межплоскостные расстояния и фазовый состав пробы

d, Å	***I %***	***Минерал***	***d, Å***	***I %***	***минерал***
14.24048	17.3	Хлорит	2.52966	51.1	магнетит
8.51010	24.7	Тремолит	2.42207	39.9	гроссуляр
7.09914	41.1	Хлорит	2.32679	29.1	гроссуляр
4.26303	26.4	кварц	2.16658	26.7	гроссуляр
3.54259	34.9	хлорит	1.92464	30.6	гроссуляр
3.34361	45.6	кварц	1.87357	25.1	кальцит

3.14135	28.3	тремолит	1.71258	24.7	гроссуляр
3.03324	76.9	кальцит	1.64658	26.5	гроссуляр
2.96686	58.0	гроссуляр	1.58559	35.8	гроссуляр
2.65256	100.0	гроссуляр	1.48412	31.2	гроссуляр

Примечание: все приведенные дифракционные пики принадлежат только указанным выше фазам. Отмечены характерные дифракционные рефлексы, позволяющие провести идентификацию присутствующих фаз.

Результаты полуколичественного рентгено-фазового анализа

Название минерала	*Формула*	*Концентрация, %*
гроссуляр-Mn	$Ca_{2.43}Mn_{1.29}Al_{1.28}(SiO4)_3$	45.1
кальцит	$Ca(CO_3)$	14.2
тремолит	$K_{0.51}(Na_{0.51}Ca_{1.49})Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$	13.0
хлорит	$(Mg,Fe)_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$	9.9
магнетит	Fe_3O_4	9.1
кварц	SiO_2	8.5

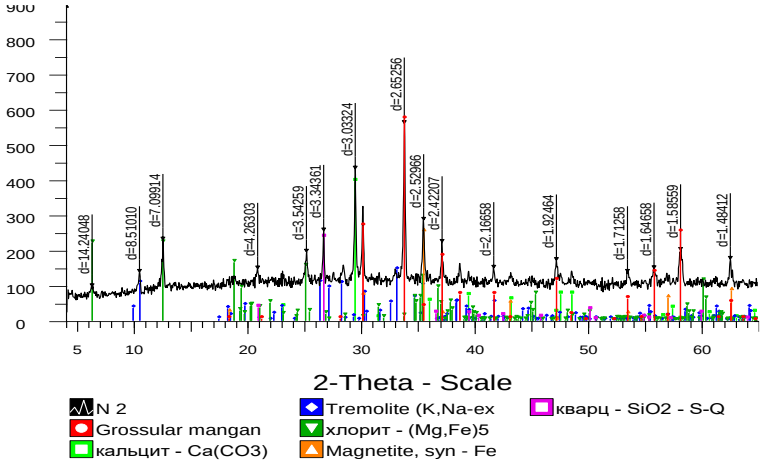


Рисунок 2 – Дифрактограмма образца № 1

Таблица 2 – Результаты атомно-эмиссионного полуколичественного спектрального анализа

Элемент	Концентрация, %	Элемент	Концентрация, %
Au	<0,0002	Ni	0,0015
Ag	0,00002	Mo	0,0005
Al	>1,0	V	0,015
Si	>>1,0	Ga	0,0007
Fe	>>1,0	Ge	<0,0002
K	<1,0	Sr	<0,01
Mg	>1,0	Bi	<0,0002
Na	0,1	Nb	0,001
Mn	≤1,0	Cd	<0,0005

Ti	0,5	Te	<0,002
Ca	>1,0	Tl	<0,0005
Cu	0,01	Hg	<0,003
Zn	0,005	Y	0,002
Sn	0,0002	Yb	0,0001
Cr	0,001	Be	0.00015
W	<0,002	Ba	0,07
Pb	0,003	Ce	0,015
As	0,01	La	0,005
Sb	<0,002	Co	0,01
Sc	0,0015	Zr	0,01
Li	<0,002	In	<0,0005
P	<0,07	Ta	<0,01
Pd	<0,0002	Re	<0,0003
Pt	<0,001	Os	<0,001

Примечание к таблице 2:
Содержание элементов в %: 10^{-4} %=1г/т; 10^{-3} %=10г/т; 10^{-2} %=100г/т)

Cu	Pb	Zn	Ni	Co	V	Cr	Mo	Sn	Bi	Sb	As	Be
10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-4}

Au	Ag	Hg	Os	Ge	Sc	W	In	Mn	Fe	Mg
10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-2}	10^{0}	10^{0}

Результаты рентгено-флуоресцентного анализа магнетитового промпродукта приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты рентгено-флуоресцентного анализа

Элемент	Содержание, %	Элемент	Содержание, %
O	42,945	V	0,01
Na	0,201	Mn	0,551
Mg	1,596	Fe	18,82
Al	4,703	Co	0,033
Si	12,746	Cu	0,012
P	0,081	Zn	0,014
S	0,136	As	0,034
Cl	0,056	Sr	0,007
K	0,128	Y	0,003
Ca	9,705	Zr	0,005
Ti	0,265	Pb	0,009

Химический состав исходного промпродукта приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Химический анализ исходной руды

Массовая доля элементов, %										
Fe	Mn	TiO_2	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	$S_{общ}$	P
19,33	0,70	0,64	28,45	11,69	16,61	2,32	0,21	0,26	0,25	0,10

По результатам химических анализов, содержания, в пробе поступившей на исследование, составили: железа **19,33 %,** марганца 0,70 % и оксида титана 0,64 %.

Содержание вредных примесей в виде фосфора и серы составило 0,10 % и 0,25 % соответственно.

Основными минералами пустой породы в исследуемой пробе руды являются диоксид кремния, оксид кальция и оксид алюминия, содержание которых составило 28,45 %, 16,61 % и 11,69 %.

В незначительных количествах в руде присутствуют минералы оксидов магния, калия и натрия.

3.2.1 Минералогическое описание промпродукта

Выполнено изучение минерального состава промпродукта обогащения железных руд месторождений Каражальского рудного поля. Материал для изучения был предоставлен в виде раздробленной руды. Из отобранных кусочков, запрессованных в эпоксидной смоле, были изготовлены аншлифы. Исследование проводилось на поляризационном микроскопе Leica DM 2500 M в отраженном свете с последующим фотографированием.

Макро исследования проводилось с помощью бинокулярной лупы после предварительной отмывки проб от пылевидных частиц. Для более детального подтверждения минерального состава руды, был выполнен рентгено-дифрактометрический анализ. Для изучения элементов примесей был выполнен полуколичественный атомно-эмиссионный спектральный анализ на 48 элементов, результаты которых приведены в таблице 2.

Промпродукт, отмытый от пылевидных частиц, визуально представлял собой раздробленные кусочки, крупностью до 15 мм, коричневато-серого и стально-серого цвета, полу окатанной или остроугольной формы, с тонкозернистой структурой.

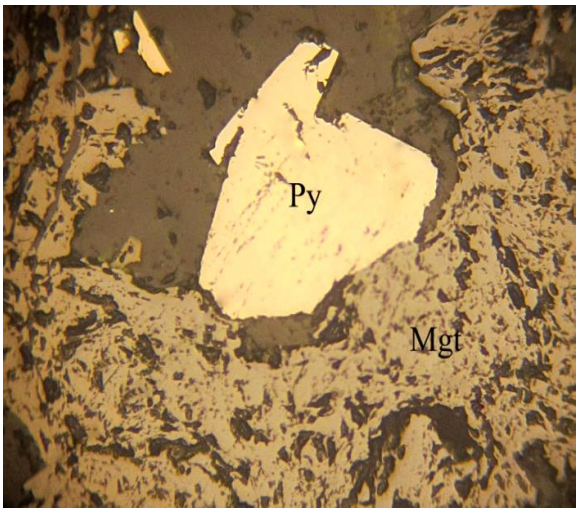
При исследовании под бинокулярной лупой установлено, что состоит он из сростков магнетита с нерудными минералами, из которых большую часть составляет гранат (по данным рентгено-спектрального анализа марганцевая разновидность - гроссуляр) - $Ca_{2.43}Mn_{1.29}Al_{1.28}(SiO4)_3$, чуть меньше кальцит - $Ca(CO_3)$, тремолит - $K_{0.51}(Na_{0.51}Ca_{1.49})Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$, хлорит-$(Mg,Fe)_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$.

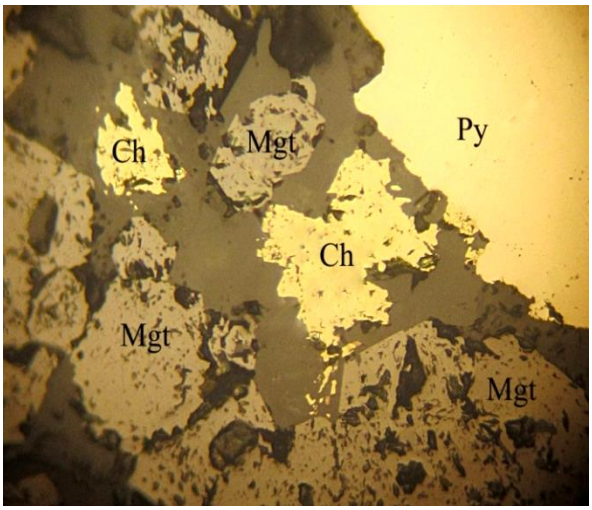
Имеется редкая вкрапленность пирита и кристалликов магнетита, размером до 1,0 мм, рисунок 3.

Рисунок 3 – Магнетитовая руда, класс 1,5 см, проба № 2, бинокуляр, ув.0,6

Аншлиф 1/18

Макро: руда представлена тонкозернистым магнетитом, стально-серого, коричневато-серого цвета, в срастании с нерудными минералами, с вкрапленностью пирита и кристалликов магнетита, размером до 1,0 мм.





а б

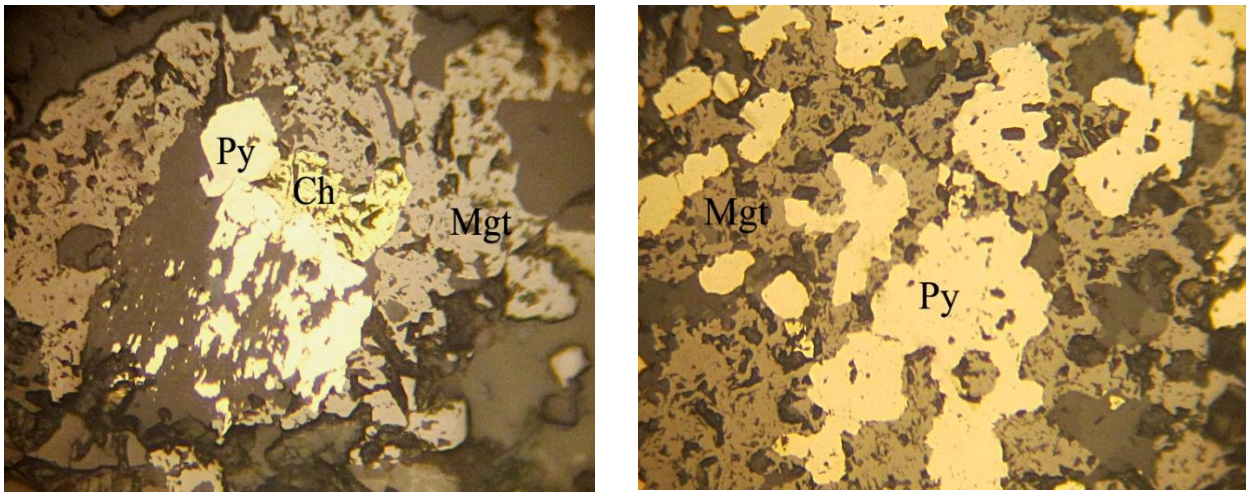
Рисунок 4 – а) тонкозернистый агрегат магнетита в срастании с гипидиоморфным пиритом; б) прожилок кварц-карбонатного состава с вкрапленностью халькопирита, пирита и субгедральных зерен магнетита, проба №2, аншлиф 1/18, ув.160

Микро: основные рудные минералы: магнетит, пирит, халькопирит. Основная масса магнетита представлена тонкозернистым агрегатом, с густой вкрапленностью нерудных минералов Магнетит образует гнездообразные включения, обволакивающие зерна кальцита, кварца и граната. В прожилке кварц-кальцитового состава магнетит образует кристаллически - зернистую структуру, при которой часть зерен расположенных в сторону прожилка, имеет кристаллическую огранку, а с внутренней стороны представлена мелкозернистым агрегатом. Размер агрегатов магнетита до 0,42 мм.

Пирит - образует зерна неправильной формы и сростки, размером до 0,21 мм и развивается между зернами магнетита. В ассоциации с магнетитом и пиритом встречено несколько зерен халькопирита, неправильной формы с зазубренными краями, рисунок 4а и 4б.

Аншлиф 2/18

Макро: сростки кристаллически-зернистого магнетита с зернами кварца и граната, желтовато коричневого цвета.



а б

Рисунок 5 – Железная руда: а) магнетит в срастании с аллотриоморфным пиритом и халькопиритом; б) очертания скелетных форм субгедрального магнетита с включениями граната, пирита и халькопирита; проба № 2, аншлиф 2/18, ув.160

Микро: железная руда, представлена сростками субгедральных зерен магнетита в срастании с аллотриоморфным пиритом и халькопиритом в нерудной кварц-карбонатно-гранатовой массе. Размер зерен пирита - 0,14 мм, халькопирита 0,07 мм.

Нередко субгедральные зерна магнетита наблюдаются в виде скелетных форм, с включениями граната, пирита и халькопирита в средине зерен, рисунок 5 а, б.

По халькопириту нередко развивается ковеллин, с характерным индигово-синим цветом в отраженном свете под микроскопом.

Аншлиф 3/18

Макро: железная руда, среднезернистая, представлена сростками граната и магнетита, желтовато-коричневого цвета.

Микро: основной рудный минерал - магнетит, с аллотриоморфно-зернистой структурой, испещренный включениями нерудных минералов, трещиноватый. Образует сростки ангедральных зерен, размером от 0,14 до 0,35 мм, и как бы цементирует, заполняет межзерновые пространства между зернами гипидиоморфного гроссуляра, рисунок 6.

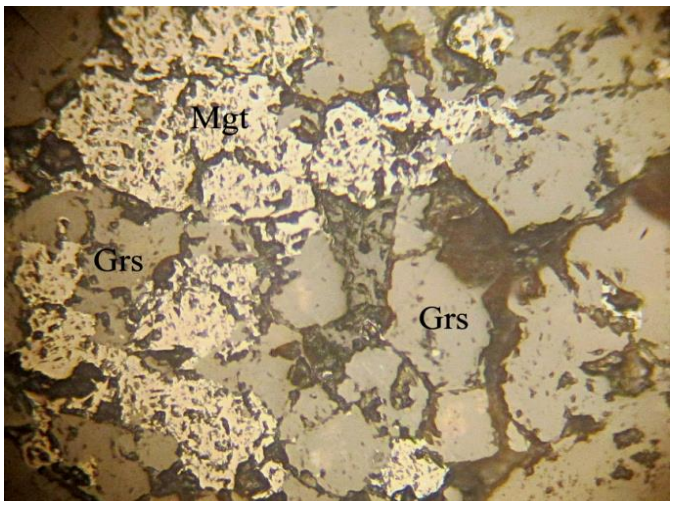


Рисунок 6 – Аллотриоморфно зернистый агрегат магнетита заполняет межзерновые пространства между зернами гипидиоморфного гроссуляра, пр. №2, аншлиф 3/18, ув.160

Аншлиф 4/18

Макро: магнетитовая руда, плотная, массивная, тонкозернистая, серовато-черного цвета с вкрапленностью пирита.

Микро: основные рудные минералы - магнетит, пирит, халькопирит; нерудные - кварц, гроссуляр, хлопьевидные скопления хлорита.

Текстура руды массивная, структура аллотриоморфно зернистая. Магнетит составляет около 60% (от площади аншлифа). Образует агрегаты скоплений ангедральных зерен, с включениями пирита, размером от 0,07 мм до 0,42 мм и халькопирита, неправильной формы с зазубренными краями, рисунок 7.

Магнетит испещрен включениями нерудных минералов, граната и кварца, овальной формы, иногда с каемками хлорита по границе зерен, характеризующегося внутренними рефлексами бледно-зеленого цвета. Нередко наблюдается полное замещение идиоморфных зерен магнетита нерудными минералами, с образованием реликтовой кристаллографической формы.

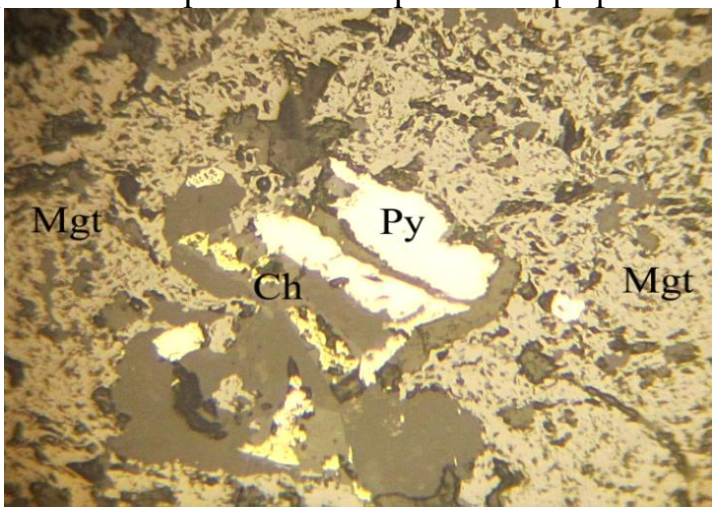


Рисунок 7 – Вкрапленность пирита и халькопирита в магнетитовой руде, проба №4, аншлиф 4/18, ув.160

Выводы

Проба промпродукта представляет собой магнетитовую руду. Текстура руды массивная, структура аллотриоморфно зернистая.

Основные рудные минералы: магнетит, пирит, халькопирит.

Нерудные минералы - кальцит, кварц, гроссуляр, хлорит.

Промпродукт представляет собой *тонкозернистый* агрегат магнетита с вкрапленностью пирита и халькопирита, *заполняющий межзерновые пространства между зернами граната (гроссуляра), кальцита и кварца*.

В прожилках и стяжениях кварц-кальцитового состава магнетит образует частично ограненные, зерна размером до 0,7 мм, где часть зерен расположенных в сторону прожилка, как правило, имеет кристаллическую огранку, а с внешней стороны представлена мелкозернистым агрегатом.

3.3 Гранулометрический состав магнетитового промпродукта

3.3.1 Гранулометрический состав промпродукта исходной крупности

Гранулометрический состав и распределение железа по классам крупности, в промпродукте магнетитовых руд *исходной* крупности, приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Ситовой анализ промпродукта магнетитовых руд

Классы крупности, мм	Выход, %		Содержание Fe, %	Извлечение Fe, %
	частный	суммарный по (+)		
–20 +10	11,45	11,45	17,86	10,33
–10 +5	37,04	48,49	19,72	36,89
–5 +2,5	16,15	64,64	19,38	15,81
–2,5 +1,0	9,52	74,16	19,96	9,60
–1 +0,0	25,84	100,0	20,99	27,37
Итого	100,0	**-**	**19,80**	100,0

Средневзвешенное содержание железа по результатам ситового анализа составило **19,80 %** и соответствует содержанию железа в исходной руде, таблица 5.

Выход класса крупностью –1 +0,0мм в исходном промпродукте составил 25,84 % с содержанием железа 20,99 %, при существенном извлечении железа 27,37 %.

Распределение содержания железа по классам крупности, относительно содержания в промпродукте, практически равномерное. Наблюдается незначительное снижение содержание железа в самом крупном классе крупностью –20 +10мм, которое составило 17,86 % и незначительное повышение железа в самом мелком классе крупностью 1 +0,0мм и составило

20,99 %.

3.4 Изучение фракционного состава исходного промпродукта

Изучение фракционного состава магнетитового промпродукта осуществлялось методом фракционного анализа, т.е. расслоения промпродукта на фракции различной плотности с определением количественных и качественных соотношений фракций.

3.4.1 Фракционный состав промпродукта крупностью 20–1,0 мм

Фракционный состав и распределение содержания железа по фракциям плотности и классам крупности приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Фракционный состав и распределение содержания железа по фракциям плотности и классам крупности.

Фракции плотности, кг/м^3	Выход, % от		Содержание, %	Извлечение от, %		Класс крупности
				руды	класса	
	класса	Руды	Fe	Fe	Fe	
- 2750	3,92	2,52	4,85	0,65	1,04	20-2,5 мм
+ 2750 - 2850	3,82	2,47	8,21	1,07	1,72	
+ 2850 - 3000	2,25	1,46	11,34	0,88	1,40	
+ 3000	***90,01***	***58,18***	***19,42***	***59,75***	***95,84***	
Итого	*100,0*	*64,63*	*18,24*	*62,35*	*100,0*	
- 2750	7,23	0,69	2,35	0,09	0,95	2,5-1,0 мм
+ 2750 - 2850	5,04	0,48	7,52	0,19	2,12	
+ 2850 - 3000	3,53	0,34	13,31	0,24	2,63	
+ 3000	***84,20***	***8,02***	***20,04***	***8,50***	***94,30***	
Итого	*100,0*	*9,53*	*17,89*	*9,02*	*100,0*	
- 2750	10,86	0,80	2,3	0,10	1,35	1,0 - 0,63 мм
+ 2750 - 2850	5,19	0,38	7,49	0,15	2,11	
+ 2850 - 3000	3,46	0,26	12,5	0,17	2,35	
+ 3000	***80,49***	***5,96***	***21,58***	***6,80***	***94,19***	
Итого	*100,0*	*7,40*	*18,45*	*7,22*	*100,0*	
-2750	15,1	1,84	1,48	0,14	1,12	0,63 - 0,071 мм
+ 2750 - 2850	5,71	0,70	6,9	0,26	1,98	
+ 2850 - 3000	2,86	0,35	13,16	0,24	1,89	
+ 3000	***76,33***	***9,30***	***24,82***	***12,20***	***95,01***	
Итого	*100,0*	*12,19*	*19,93*	*12,84*	*100,0*	
- 2750	4,34	3,21	4,31	0,74	1,03	20 - 1 мм
+ 2750 - 2850	3,98	2,95	8,10	1,26	1,77	
+ 2850 - 3000	2,43	1,80	11,71	1,12	1,55	
+ 3000	***89,25***	***66,20***	***19,50***	***68,25***	***95,65***	
Итого	*100,0*	*74,16*	*18,20*	*71,37*	*100,0*	
- 2750	13,48	2,64	1,73	0,24	1,20	1- 0,071 мм
+ 2750 - 2850	5,51	1,08	7,11	0,41	2,02	

+ 2850 - 3000	3,11	0,61	12,88	0,41	2,06	
+ 3000	***77,90***	***15,26***	***23,55***	***19,00***	***94,72***	
Итого	*100,0*	*19,59*	*19,37*	*20,06*	*100,0*	
- 2750	6,24	5,85	3,15	0,98	1,06	20 - 0,071 мм
+ 2750 - 2850	4,30	4,03	7,83	1,67	1,83	
+ 2850 - 3000	2,57	2,41	12,01	1,53	1,67	
+ 3000	***86,89***	***81,46***	***20,26***	***87,25***	***95,44***	
Итого	*100,0*	*93,75*	*18,44*	*91,43*	*100,0*	
0,071 - 0,0 мм		6,25	25,96	8,57	-	
Промпродукт магнетитовый		100,0	**18,91**	100,0		20 - 0,0 мм

Полученные результаты показывают, что выход тяжелой концентратной фракции с плотностью более 3000 кг/м^{3}из всех классов крупности высокий и составляет более 75 % из каждого класса с содержанием железа в пределах 20 – 25 %.

Общий выход концентратной фракции плотностью более 3000 кг/м^3 из суммарного класса крупностью –20 +0,071 мм составил 81,46 % от руды (86,89 % от класса –20 +0,071 мм), со средним содержанием железа 20,26 % и общим извлечением железа 87,25 % от руды (95,44 % от класса).

Полученные результаты фракционного анализа показывают, что существенной концентрации железа в тяжелой фракции с плотностью более 3000 кг/м^{3}не наблюдается.

Результатам фракционного анализа показывают, что выход легких фракций, плотностью менее 2850 кг/м^3 и низким содержанием железа незначительный и составляет 2 – 3 %. Соответственно при удалении такового количества легких фракций, существенного повышения содержания железа в тяжелых фракциях не наблюдается.

Теоретически возможные технологические показатели, получаемые при разделении промпродукта магнетитовых руд по плотности 3000 кг/м^3, приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Теоретические показатели, получаемые при разделении магнетитового промпродукта по плотности 3000 кг/м^3

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %	Извлечение, %
Фракция + 3000 кг/м^{3}класс –20 +1,0 мм	66,20	19,50	68,25
Фракция + 3000 кг/м^{3}класс –1,0 +0,071 мм	15,26	23,55	19,0
Итого фракция +3000 кг/м^3 класс – 20 +0,071 мм	**81,46**	**20,26**	**87,25**
Фракция - 3000 кг/м^3 класс – 20 +1,0 мм	7,96	7,39	3,12
Фракция - 3000 кг/м^3 класс – 1,0 +0,071 мм	4,33	4,64	1,06

Итого фракция - 3000 кг/м^3 класс – 20 +0,071 мм	**12,29**	**6,42**	**4,18**
Класс –0,071 +0,0 мм	**6,25**	**25,96**	**8,57**
Промпродукт (– 20 +0,0 мм)	100,0	**18,91**	100,0

При разделении класса крупностью –20 +1,0 мм по плотности 3000 кг/м^3, теоретически возможный выход концентратной фракции плотностью более 3000 кг/м^3 составит 66,2 % от руды (89,25 % от класса 20 – 1 мм), при содержании железа 19,5 % и извлечении железа 68,25 % от руды (95,65 % от класса).

При разделении класса крупностью –1 +0,071 мм по плотности 3000 кг/м^3, теоретически возможный выход концентратной фракции плотностью более 3000 кг/м^3 составит 15,26 % от руды (77,90 % от класса –1 +0,071мм), при содержании железа 23,55 % и извлечении железа 19,0 % от руды (94,72 % от класса).

При разделении класса крупностью –20 +0,071 мм по плотности 3000 кг/м^3, теоретически возможный выход концентратной фракции плотностью более 3000 кг/м^3 составит 81,46 % от руды (86,89 % от класса –20 +0,071 мм), при содержании железа 20,26 % и извлечении железа 87,25 % от руды (95,44 % от класса).

На основании выше изложенного можно отметить, что в тяжелых фракциях плотностью более 3000 кг/м3, существенного повышения содержания железа не происходит.

3.5 Обогащение магнетитового промпродукта

Обогащение машинного класса крупностью –20 +1,0 мм осуществлялось с использованием процесса отсадки. При выполнении опытов соблюдалась последовательность операций отсадки согласно условиям обогащения машинных классов в двух или трехкамерной отсадочной машине.

3.5.1 Отсадка машинного класса крупностью –20 +1,0 мм

Отсадка класса крупностью –20 +1,0 мм проводилась при следующих параметрах: частота пульсаций 65 кол/мин, амплитуда колебаний 90 – 100 мм, цикл пульсаций синусоидальный, высота естественной постели 250 мм, расход воды 5 м^3/т, удельная производительность 10 т/ч·м^2.

Результаты отсадки машинных классов крупностью –20 +1,0 мм, в зависимости от количества разгружаемых тяжелых фракций, приведены в таблицах 8 – 10, а схема отсадки на рисунке 8.

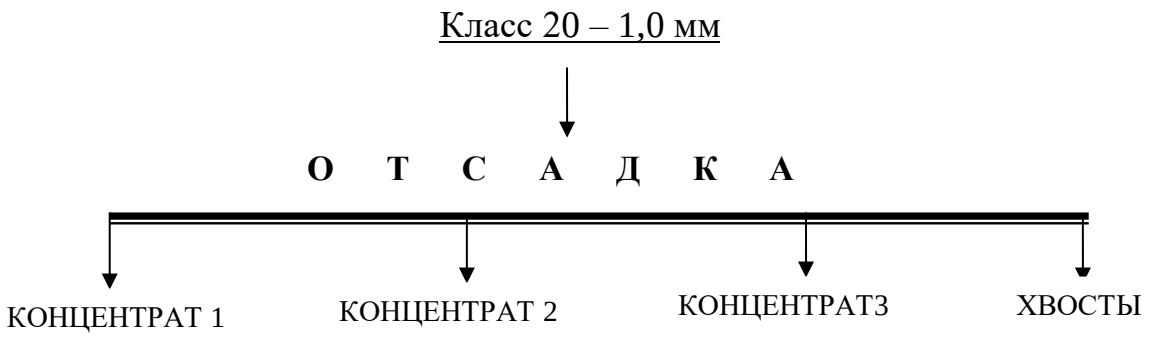


Рисунок 8 – Схема отсадки класса –20 +1,0 мм

Таблица 8 – Результаты отсадки машинного класса –20 +1,0 мм *(вариант 1)*

Наименование продукта	Выход, % от		Содержание Fe, %	Извлечение Fe, % от	
	класса	руды		класса	руды
Концентрат –20 +1,0 мм (1 камера)	6,04	4,48	48,42	15,27	11,05
Подрешетный продукт (1 камера)	0,52	0,39	*55,0*	1,50	1,10
Концентрат плюс подрешетный продукт (1 камера)	**6,57**	**4,87**	**48,95**	**16,77**	**12,15**
Концентрат –20 +1,0 мм (2 камера)	4,81	3,57	33,18	8,33	6,04
Подрешетный продукт (2 камера)	0,87	0,65	46,25	2,06	1,49
Концентрат плюс подрешетный продукт (2 камера)	**5,68**	**4,22**	**35,04**	**10,39**	**7,53**
Концентрат –20 +1,0 мм (3 камера)	72,32	53,61	16,63	62,80	45,43
Подрешетный продукт (3 камера)	1,60	1,19	27,16	2,28	1,65
Концентрат плюс подрешетный продукт (3 камера)	**73,92**	**54,80**	**16,86**	**65,08**	**47,08**
Хвосты	**13,84**	**10,27**	**10,71**	**7,76**	**5,61**
Класс –20 +1,0 мм	100,0	74,16	19,15	100,0	72,37
Класс –1 +0,0 мм	-	25,84	20,99	-	27,63
Исходный промпродукт	-	100,0	**19,62**	-	100,0

Технологические результаты, приведенные в таблице 8, фактически показывают фракционный состав, который получился бы при разделении

машинного класса крупностью –20 +1,0 мм по плотности порядка 3400 - 3500 кг/м^3.

На основании полученных результатов можно отметить, что в исходном промпродукте крупностью –20 +1,0 мм, количество концентратной фракции с содержанием железа около 50 % составляет всего 4 – 5 %.

Наиболее высокое содержание железа наблюдается в подрешетном продукте первой камеры и составило 55 %, при выходе всего 0,39 % и извлечении железа 1,10 %. Полученные результаты доказывают о необходимости уменьшения крупности промпродукта перед его обогащением.

Таблица 9 – Результаты отсадки машинного класса –20 +1,0 *мм*

(вариант 2)

Наименование продукта	Выход, % от		Содержание Fe, %	Извлечение Fe, % от	
	класса	руды		Класса	руды
Концентрат –20 +1,0 мм (1 камера)	**7,43**	**5,52**	**48,63**	**18,87**	**13,67**
Промпродукт –20 +1,0 мм (2 камера)	78,73	58,37	17,85	73,39	53,09
Хвосты –20 +1,0 мм	13,84	10,27	10,71	7,74	5,61
Класс –20 +1,0 мм	100,0	74,16	19,15	100,0	72,37
Класс –1 +0,0 мм	-	25,84	20,99	-	27,63
Исходный промпродукт	-	100,0	**19,62**	-	100,0

Таблица 10 – Результаты отсадки машинного класса –20 +1,0 мм

(вариант 3)

Наименование продукта	Выход, % от		Содержание Fe, %	Извлечение Fe, % от	
	класса	руды		класса	руды
Концентрат –20 +1,0 мм (1 камера)	12,24	9,09	42,56	27,21	19,71
Промпродукт –20 +1,0 мм (2 камера)	73,92	54,8	16,85	65,05	47,05
Хвосты –20 +1,0 мм	13,84	10,27	10,71	7,74	5,61
Класс –20 +1,0 мм	100,0	74,16	19,15	100,0	72,37
Класс –1 +0,0 мм	-	25,84	20,99	-	27,63
Исходный промпродукт	-	100,0	**19,62**	-	100,0

Полученные результаты показывают, что при обогащении магнетитового промпродукта исходной крупностью –20 +1,0 мм, с использованием гравитационных процессов и в частности отсадки, получение концентрата с содержанием железа не менее 55 % не представляется возможным.

3.6 Фракционный состав промпродукта дробленного до 10 мм, 5 мм и 2,5 мм

Для определения влияния верхнего предела крупности на результаты гравитационного обогащения, были выполнены фракционные анализы на пробах промпродукта дробленного до крупности 10 мм, 5 мм и 2,5 мм.

Классы крупности –10 +0,071 мм, –5 +0,071 мм и –2,5 +0,071 мм были подвергнуты расслоению по плотности 3000 кг/м^3(жидкость М-45) и по высокой плотности 3650 кг/м^3 (жидкость Клеричи). Результаты по исследованию фракционного состава магнетитового промпродукта дробленного до крупности 10 мм, 5 мм и 2,5 мм приведены в таблице 11.

Таблица 11– Фракционный состав исходного магнетитового промпродукта

Фракции плотности, кг/м^3	Выход, % от руды	Содержание Fe, %	Извлечение от руды Fe, %	Класс крупности, мм
- 3000	10,74	5,53	3,02	10 – 0,071
+ 3000 – 3650	64,45	13,41	44,01	
+ 3650	**19,69**	**46,08**	**46,20**	
Итого	94,88	19,30	93,23	
Класс –0,071 +0,0 мм	5,12	26	6,77	0,071 – 0,0
Промпродукт магнетитовый	100,0	**19,64**	100,0	10 – 0,0
- 3000	10,61	6,33	3,41	5 – 0,071 мм
+ 3000 – 3650	60,68	12,75	39,30	
+ 3650	***20,25***	**45,94**	**47,26**	
Итого	91,54	19,35	89,97	
Класс –0,071 +0,0 мм	8,46	23,33	10,03	0,071 – 0,0
Промпродукт магнетитовый	100,0	**19,68**	100,0	5 – 0,0
- 3000	11,27	5,23	2,89	2,5–0,071 мм
+ 3000 – 3650	54,9	12,46	33,56	
+ 3650	***22,52***	**46,78**	**51,69**	
Итого	88,69	20,26	88,14	
Класс –0,071 +0,0 мм	11,31	21,37	11,86	0,071 – 0,0
Промпродукт магнетитовый	100,0	**20,38**	100,0	2,5 – 0,0

Приведенные результаты фракционного анализа, показывают, что при расслоении промпродукта крупностью –10 +0,071 мм, –5 +0,071 мм и –2,5 +0,071 мм, по высокой плотности 3650 кг/м^3, также не происходит выделения тяжелых концентратных фракций с содержанием железа не менее 55 %.

Полученные результаты показывают, при исходной крупности промпродукта –2,5 +0,071 мм не происходит достаточного раскрытия минеральных зерен. Максимальное содержание железа во фракции

плотностью более 3650 кг/м^3 в классе крупностью –2,5 +0,071 мм, составило 46,78 % при выходе 22,52 % и извлечении железа 51,69 %.

Выводы

На основании результатов полученных при выполнении фракционного анализа и гравитационном обогащении магнетитового промпродукта отсадкой, а также результатов минералогических исследований, которые показали *тонкозернистую* вкрапленность магнетита, можно констатировать, *что для достаточного раскрытия минеральных зерен в магнитном промпродукте руды месторождения «Атансор» требуется тонкое измельчение.*

3.7 Дешламация класса –1,0 +0,0 мм полученного при рассеве промпродукта исходной крупности

На классе –1,0 +0,0 мм выполнен ситовой и седиментационный анализы, результаты которых приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Ситовой и седиментационный анализ класса 1,0 – 0,0 мм

Классы крупности, мм	Выход, %			Содержание Fe, %	Суммарное содержание Fe, %	Извлечение Fe от класса, %
	класса	руды	суммарный по (+)			
–1,0 + 0,63	28,64	7,4	7,40	18,71	18,71	25,69
–0,63 +0,315	16,64	4,3	11,70	17,50	18,27	13,96
–0,315 +0,16	16,18	4,18	15,88	18,54	18,34	14,38
–0,16 +0,071	14,36	3,71	19,59	23,96	19,40	16,49
–0,071+0,040	7,62	1,97	21,56	30,44	20,41	11,13
–0,071+0,040	5,65	1,46	23,02	38,40	21,55	10,40
–0,030+0,020	2,09	0,54	23,56	19,75	21,51	1,97
–0,020+0,010	3,75	0,97	24,53	15,17	21,26	2,72
–0,010+0,0	5,07	1,31	25,84	13,42	20,86	3,26
Итого	100,0	**25,84**	**-**	**20,86**	**-**	100,0

Результаты ситового и седиментационного анализа показывают, что только в классах крупностью –0,071+0,040 мм и –0,040 +0,030 мм содержание железа повысилось и составило 30,44 % и 38,40 %, в остальных классах крупности существенной концентрации железа не наблюдается.

3.8 Магнитное обогащение магнетитового промпродукта

Для определения возможности получения железных концентратов из магнетитового промпродукта, с содержанием железа не менее 55 %, были выполнены поисковые исследования по магнитной сепарации.

Исходный магнетитовый промпродукт был измельчен до крупности 100

% класса 0,1 мм (100 мкм) и подвергнут магнитной сепарации.

Опыты по магнитной сепарации измельченного промпродукта крупностью –0,1 +0,0 мм были выполнены на магнитном анализаторе, по схеме, приведенной на рисунке 9, а результаты сепарации приведены в таблице 12.

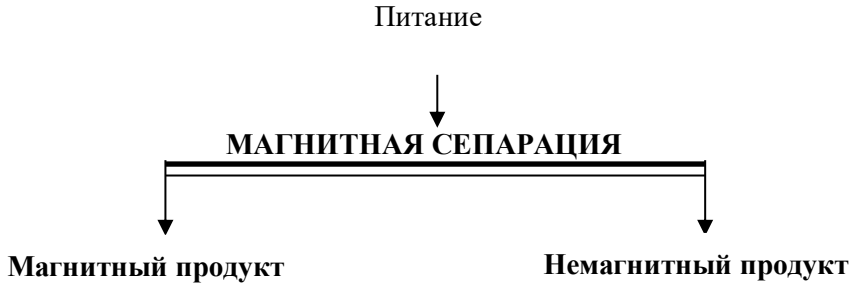


Рисунок 9 – Принципиальная схема магнитной сепарации

Таблица 12 – Магнитная сепарация промпродукта измельченного до 100 % класса –0,1 +0,0 мм

Наименование	Напряженность, эрстед	Выход, %	Содержание Fe, %	Извлечение Fe, %
Вариант 1				
Магнитный продукт	**1080**	**9,67**	**65,68**	**31,49**
Не магнитный продукт	-	90,33	15,30	68,51
Промпродукт магнетитовый	-	100,0	**20,17**	100,0
Вариант 2				
Магнитный продукт	**1500**	**16,60**	**63,91**	**52,60**
Не магнитный продукт	-	83,40	11,46	47,4
Промпродукт магнетитовый	-	100,0	**20,17**	100,0
Вариант 3				
Магнитный продукт	**2400**	**16,77**	**63,70**	**52,96**
Не магнитный продукт	-	83,23	11,40	47,04
Промпродукт магнетитовый	-	100,0	**20,17**	100,0

Результаты, полученные по магнитной сепарации, показывают, что из магнетитового промпродукта крупностью –0,1 +0,0 мм, при напряженности магнитного поля 1500 эрстед, выделяется концентрат с содержанием железа 63,91 %, при выходе 16,60 % и извлечении железа 52,60 %.

Дальнейшее увеличение напряженности магнитного поля до 2400 эрстет не приводит к повышению качества получаемого концентрата.

На основании полученных результатов можно отметить что, в случае получения концентрата с содержанием железа порядка 55 %, то его выход может составить не менее 25 %, а извлечение около 70 %.

Для уточнения технологических условий, крупности, режима сепарации и используемых аппаратов для магнитного обогащения, необходимо проведение детальных исследований по магнитному обогащению магнетитовых промпродуктов руды месторождения «Атансор».

3.9 Рекомендуемая технологическая схема обогащения и технологические показатели

На основании результатов исследований по обогатимости промпродукта магнетитовых руд месторождения «Атансор» предложена технологическая схема обогащения приведенная на рисунке 10.

Баланс металла приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Баланс металла

Наименование	Выход, %	Содержание Fe, %	Извлечение Fe, %
Концентрат	**16,60**	**63,91**	**52,60**
Хвосты	83,40	11,46	47,40
Промпродукт магнетитовый	100,0	**20,17**	100,0

3.10 Качественная характеристика получаемых концентратов

Таблица 14 – Качественная характеристика железного концентрата

Наименование	Содержание, %							
	Fe	Mn	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	$S_{общ}$	P
Концентрат	63,91	0,19	5,53	2,65	2,05	0,49	0,035	0,118

Химический состав полученного концентрата по содержанию вредных примесей полностью соответствует требованиям, предъявляемым к железным концентратам.

Основной нерудной примесью в концентратах является двуокись кремния.

3.11 Балансы водопотребления

Расчет водно-шламовой схемы выполнен в виде таблицы, для технологической схемы переработки исходного магнетитового промпродукта с использованием процесса магнитной сепарации, рисунок 10.

3.11.1 Водно-шламовая схема с магнитной сепарации класса –0,1 +0,0 мм

Расчет водно-шламовой схемы (рисунок 10), выполнен на относительную часовую производительность 100 т/час, при влажности исходной руды 3,0 % и удельным весом 3,2 т/м^3 и приведен в таблице 15.

Баланс воды приведен в таблице 16.

Таблица 16 - Баланс воды

Поступает		**Выходит**	
Наименование продукта	т/ч	Наименование продукта	т/ч
С промпродуктом	3,0	С концентратом	2,3
В измельчение 1 стадия	61,8	С хвостами	14,7
В классификацию 1 стадия	67,8	Слив классификации 1	4,8
В измельчение 2 стадия	9,2	Слив классификации 2	181,2
В классификацию 2 стадия	61,2		
Итого	**203,0**	**Итого**	**203,0**

Удельный расход воды на технологические нужды составляет:

$$\frac{203{,}0 - 3{,}0}{100} = 2{,}0\ \text{м}^3/\text{т}$$

Расход воды на смыв полов, промывку оборудования и другие нужды принимаем в количестве 10,0 % от расхода на технологические нужды и составит (203,0 – 3) × 0,1 = 20 м^3/т.

Следовательно, общий расход воды по фабрике составит:

$$\frac{203{,}0 - 3{,}0 + 20}{100} = 2{,}2\ \text{м}^3/\text{т}$$

Безвозвратные потери воды происходят с концентратом в количестве 2,3 м^3/час и с хвостами отсадки в количестве 14,7 м^3/час. Общие безвозвратные потери воды с продуктами обогащения (концентратами и хвостами) составляют 17,0 м^3/час.

Сливы классификации могут без очистки, направляется оборот в технологический процесс.

Количество теряемой воды составит 127,0 м^3/час.

Удельный расход воды по магнитной схеме обогащения составил **2,2** м^3/т.

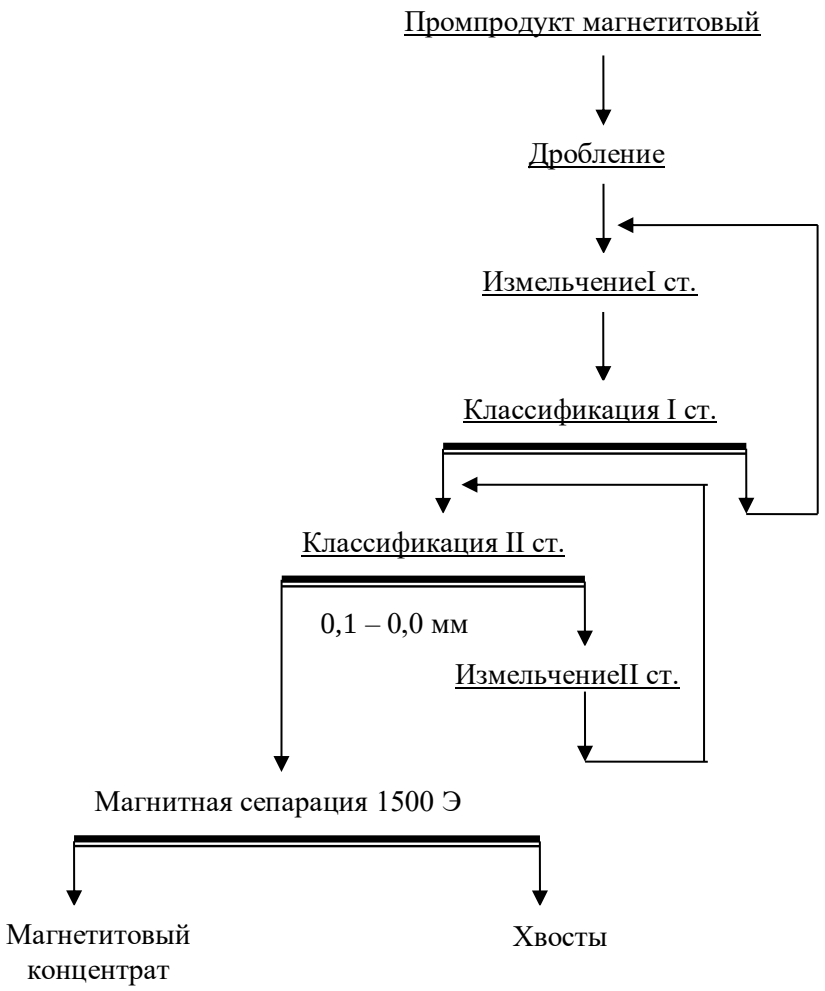


Рисунок 10 - Технологическая схема магнитного обогащения

Таблица 15 – Расчет водно- шламовой схемы с магнитной сепарацией промпродукта крупностью 0,1 – 0,0 мм

Поступает							Выходит						
Наименование продуктов	Выход, %	Содержа-ние твердого, %	Количество, т/ч			Объем пульпы, м³ /ч	Наименование Продуктов	Выход, %	Содержа-ние твердого, %	Количество, т/ч			Объем пульпы, м³ /ч
			Твердого	воды	пульпы					Твердого	воды	пульпы	
Измельчение 1 стадия исходного магнетитового промпродукта													
Пр/продукт исх.	100,0	97,0	100,0	3,0	103,0	34,3	Разгрузка мельницы 1 стадия	250,0	70,0	250,0	107,1	357,1	185,5
Пески клас-ции 1	150,0	78	150,0	42,3	192,3	89,2							
Вода	-	-	-	61,8	61,8	61,8							
ИТОГО:	**100,0**	**70,0**	**250,0**	**107,1**	**367,1**	**185,3**	**ИТОГО:**	**100,0**	**70,0**	**250,0**	**107,1**	**367,1**	**185,3**
Классификация 1 стадия в гидроциклоне													
Разгрузка мельницы 1 стадия	250,0	70,0	250,0	107,1	357,1	185,3	Слив классификации 1	100,0	43,0	100,0	132,6	232,6	163,9
Вода	-	-	-	67,8	67,8	67,8	Пески классификации 1	150,0	78,0	150,0	42,3	192,3	89,2
ИТОГО:	**250,0**	**59,0**	**250,0**	**174,9**	**424,9**	**253,1**	**ИТОГО:**	**250,0**	**59,0**	**250,0**	**174,9**	**424,9**	**253,1**
Классификация 2 стадия в гидроциклоне													
Слив классификации 1	100,0	43,0	100,0	132,6	232,6	163,9	Слив классификации 2	100,0	33,0	100,0	203,0	303,0	234,3
Разгрузка мельницы 2 ст.	200,0	65,0	200,0	107,7	307,7	170,2	Пески классификации 2	200,0	67,0	200,0	98,5	298,5	161,0
Вода	-	-	-	61,2	61,2	61,2							
ИТОГО:	**300,0**	**50,0**	**300,0**	**301,5**	**601,5**	**395,3**	**ИТОГО:**	**300,0**	**50,0**	**300,0**	**301,5**	**601,5**	**395,3**
Измельчение 2 стадия													
Пески классификации 2	200,0	67,0	200,0	98,5	298,5	161,0	Разгрузка мельницы 1 стадия	200,0	65,0	200,0	107,7	307,7	170,2
Вода	-	-	-	9,2	9,2	9,2							
ИТОГО:	**200,0**	**65,0**	**200,0**	**107,7**	**307,7**	**170,2**	**ИТОГО:**	**200,0**	**65,0**	**200,0**	**107,7**	**307,7**	**170,2**

Продолжение таблицы 15

Поступает							Выходит						
Наименование Продуктов	Выход, %	Содержание твердого, %	Количество, т/ч			Объем пульпы, м³ /ч	Наименование Продуктов	Выход, %	Содержание твердого, %	Количество, т/ч			Объем пульпы, м³ /ч
			Твердого	воды	пульпы					Твердого	воды	пульпы	
Магнитная сепарация													
Слив классификации 2	100,0	33,0	100,0	203,0	303,0	234,3	Магнитная фракция (концентрат)	16,6	70,0	16,6	7,1	23,7	12,3
Вода	-	-	-	-	-	-	Немагнитная фракция (хвосты)	83,4	30,0	83,4	195,9	279,3	222,0
ИТОГО:	**100,0**	**33,0**	**100,0**	**203,0**	**303,0**	**234,3**	**ИТОГО:**	**100,0**	**33,0**	**100,0**	**203,0**	**303,0**	**234,3**
Обезвоживание концентрата в классификаторе													
Магнитная фракция (концентрат)	16,6	70,0	16,6	7,1	23,7	12,3	Концентрат	16,6	88,0	16,6	2,3	18,9	7,5
							Слив классификатора 1	-	-	-	4,8	4,8	4,8
ИТОГО:	**16,6**	**70,0**	**16,6**	**7,1**	**23,7**	**12,3**	**ИТОГО:**	**16,6**	**70,0**	**16,6**	**7,1**	**23,7**	**12,3**
Обезвоживание хвостов в классификаторе													
Немагнитная фракция (хвосты)	83,4	30,0	83,4	195,9	279,3	222,0	Хвосты	83,4	85,0	83,4	14,7	98,1	40,8
							Слив классификатора 2	-	-	-	181,2	181,2	181,2
ИТОГО:	**83,4**	**30,0**	**83,4**	**195,9**	**279,3**	**222,0**	**ИТОГО:**	**83,4**	**30,0**	**83,4**	**195,9**	**279,3**	**222,0**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Задача, для решения которой были выполнены данные исследования – изучение гравитационной обогатимости и разработка технологии переработки промпродукта магнетитовых руд месторождения «Атансор»

В промпродукте, поступившем на исследования, содержание железа составило 19 – 20 %. Содержание вредных примесей в виде фосфора и серы составили 0,10 % и 0,25 % соответственно.

Проба промпродукта представляла собой магнетитовую руду. Текстура руды массивная, структура аллотриоморфно зернистая.

Основные рудные минералы: магнетит, пирит, халькопирит.

Нерудные минералы - кальцит, кварц, гроссуляр, хлорит.

Промпродукт представляет собой *тонкозернистый* агрегат магнетита с вкрапленностью пирита и халькопирита, *заполняющий межзерновые пространства между зернами граната, кальцита и кварца*.

Исследования по изучению гранулометрического состава были выполнены на промпродукте исходной крупности 20 мм.

Определено, что распределение содержания железа по классам крупности, относительно содержания в промпродукте, практически равномерное. Наблюдается незначительное снижение содержание железа в самом крупном классе крупностью –20 +10 мм, которое составило 17,86 % и незначительное повышение железа в самом мелком классе крупностью –1,0 +0,0 мм и составило 20,99 %.

Выход класса крупностью –1 +0 мм в исходном промпродукте составил 25,84 % с содержанием железа 20,99 %, при существенном извлечении железа 27,37 %.

Результаты, полученные при изучении фракционного состава промпродукта, показывают, что во всех исследованных классах крупности выход тяжелой концентратной фракции с плотностью более 3000 кг/м^3 высокий и составляет более 75 % из каждого класса с содержанием железа в пределах 20 – 25 %.

Полученные результаты фракционного анализа показывают, что существенной концентрации железа в тяжелой фракции с плотностью более 3000 кг/м^{3}не происходит.

Выход легких фракций, плотностью менее 2850 кг/м^3 с низким содержанием железа незначительный и составляет 2 - 3 %. Соответственно при удалении такового количества легких фракций, существенного повышения содержания железа в тяжелых фракциях не происходит.

Технологические результаты, полученные при отсадке класса крупностью –20 +1 мм показали, что в исходном магнетитовом промпродукте крупностью –20 +1 мм, количество концентратной фракции с содержанием железа около 50 % составляет всего 4 – 5 %.

Наиболее высокое содержание железа наблюдается в подрешетном продукте первой камеры и составило 55 %, при выходе всего 0,39 % и извлечении железа 1,10 %.

Фракционный анализ, дробленного промпродукта до крупности 10 мм, 5 мм и 2,5 мм показал, что при расслоении классов крупностью –10 +0,071 мм, –5 +0,071 мм и –2,5 +0,071 мм, по высокой плотности 3650 кг/м^3, не происходит выделения тяжелых концентратных фракций с содержанием железа не менее 55 %.

Полученные результаты доказывают, что даже при исходной крупности промпродукта –2,5 +0,071 мм не происходит достаточного раскрытия минеральных зерен. Максимальное содержание железа во фракции плотностью более 3650 кг/м^3 в классе крупностью –2,5 +0,071 мм, составило 46,78 % при выходе 22,52 % и извлечении железа 51,69 %.

Результаты ситового и седиментационного анализа класса крупностью –1 +0,0 мм показали, что существенной концентрации железа в классах не наблюдается. и железа 52,60 % .

По предложенной технологии обогащения выполнен расчет водно-шламовой схемы, который показал, что удельный расход воды составляет 2,2 м^3/т руды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Н.А. Быховер «Железорудная база черной металлургии», Изд. АН, Москва 1957,566 стр.,
2. Игнатчик А.А., Коротаев В.К. Сырьевая база черной металлургии мира \\ Электронная библиотека БГУ. 2015 – С. 27-30
3. Запасы железных руд в мире [Электронный ресурс]. — *http://stalevarim.ru/pub/zapasy–zheleznyh–rud–v–mire/*
4. Рудные полезные ископаемые Казахстана // [Электронный ресурс]- *https://moxnpn.ru/kazakhstan/46-rudnye-poleznye-iskopaemye-kazaxstana.html*
5. Петренко Е.С., Вечкинзова Е.А., Уразбеков А.К. Анализ состояния и перспективы развития горно-металлургической отрасли Казахстана // Экономические отношения. – 2019. – Том 9. – № 4. – С. 2661-2676
6. Каренов Р.С. Проблемы становления рынка черных металлов в Казахстане // Вестник Карагандинского государственного университета. Сер. Экономика. — 2016. — № 4(48). — С. 9-25.
7. С.И. Журавлев Обогащение магнетитовых руд контактово и гидротермально-метасоматического генезиса. – М.: Недра, 1978– 151 с.
8. Студенцов В.В. Клец А.. Вопросы теории и практики обогащения руд./Кн.Горно-металлургический комплекс Республики Казахстан // Анализ, запасы, технологии. – Алматы: Информационно-аналитический центр геологии, экологии и природных ресурсов Республики Казахстан, 1998.
9. Телков Ш.А., Райвич И.Д., Безгинова Л.И. и др. Закономерности гравитационной обогатимости дробленых руд основных месторождений марганца в Казахстане //Вестник КазНТУ, № 3. – Алматы, 1995.
10. Митрофанов С.И. Исследование полезных ископаемых на обогатимость. – М.: Госгортехиздат, 1962.
11. Леонов С.Б., Белькова О.Н. Исследование полезных ископаемых на обогатимость. – М.: Интерметинжиниринг, 2001.
12. ГОСТ 4790-80. Метод фракционного анализа. – М.: Недра, 1980.
13. Райвич И.Д. Отсадка крупнокусковых руд. – М.: Недра, 1988.
14. Богданова А.О. Справочник по обогащению руд. Обогатительные фабрики под. ред. М.: Недра, 1984. —360 с.
15. Пелевин А. Е. Магнитные и электрические методы обогащения изд. УГГУ Екатеринбург, 2018. —296 с.Горно-металлургическая промышленность 2018г. №3 — 56 с.

050026, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Карасай батыра,146, оф. 401

тел. +7 (727) 375-44-96

E-mail:
Yuliya.Bocharova@interrin.kz
Tatyana.Dolina@interrin.kz
Irina.Pashinina@interrin.kz
http://www.minmag.mining.kz

научно-технический и производственный
ГОРНЫЙ
ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА
Қазақстанның кен журналы

25.05.2021 г.

СПРАВКА

О ПУБЛИКАЦИИ СТАТЬИ

Настоящим подтверждаю, что статья **«Разработка технологии обогащения промпродукта магнетитовых руд»** (авторы: **А.С. Дүйсекешова, Ш.А. Телков, И.Ю. Мотовилов**) зарегистрирована в реестре регистрации статей периодического печатного издания «Горный журнал Казахстана» за **№20210044** от 20.05.2021 г. и будет опубликована в **«Горном журнале Казахстана» №6 2021 г.**

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания ***«Горный журнал Казахстана» 13508-Ж.***

Ответственный редактор **Ю.А. Бочарова**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
SATPAYEV UNIVERSITY

ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на магистерскую диссертацию
Дүйсекешова Айнұр Серікқызы
по специальности 7М07223 – "Металлургия и обогащение полезных ископаемых"
на тему: «Разработка технологии обогащения промпродукта магнетитовых руд»

В магистерской диссертации в необходимом объеме выполнен литературный обзор сырьевой базы магнетитовых руд и технологии их переработки и на основании этого правильно определено направления решения поставленной задачи исследований.

Изучен минералогический, вещественный и химический состав промпродукта.

Определен гранулометрический состав исходного промпродукта крупностью –20 +0,0 мм и характер распределения железа по классам крупности.

На основании полученных данных по выполненным исследованиям проведены исследования по обогащению машинных классов крупностью –20 +1 с использованием процесса отсадки.

Выполнены исследования по магнитной сепарации измельченного промпродукта крупностью –0,1 +0,0 мм и определены параметры процесса магнитной сепарации при получении концентрата с содержанием железа более 55 %.

Также можно отметить, что методики исследований, использованные в магистерской диссертации и в частности постановки опытов по отсадке, могут быть использованы в учебном процессе для развития навыков исследовательской работы у студентов.

Все вопросы, поставленные в магистерской диссертации, решены с достаточной полнотой и на основании этого магистерскую диссертацию можно, считать законченной научно-исследовательской работой.

Таким образом, по совокупности признаков магистерская диссертация магистранта Дуйсекешова Айнур Сериккызы соответствует предъявляемым требованиям, а автор заслуживает присуждения ей ученой степени магистра по специальности 7М07223 – "Металлургия и обогащение полезных ископаемых".

Научный руководитель
Кандидат технических наук, доцент
профессор
«10» июня 2021 г. Ш.А. Телков

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
SATPAYEV UNIVERSITY

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию

Дүйсекешова Айнұр Серікқызы

по специальности 7M07223 – "Металлургия и обогащение полезных ископаемых"

На тему: «Разработка технологии обогащения промпродукта магнетитовых руд»

Выполнено:
а) графическая часть на ____ слайдах
б) пояснительная записка на ____ страницах

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ:

Минерально-сырьевая база Республики Казахстан характеризуется разнообразием полезных ископаемых, большим количеством разведанных месторождений и крупными запасами минерального сырья.

По утвержденным запасам железорудного сырья Казахстан занимает седьмое место среди стран с развитой горнодобывающей промышленностью. На территории республики выявлено более двухсот месторождений и проявлений железа.

Основные балансовые запасы железных руд сосредоточены в Костанайской и Карагандинской областях, где на их базе действуют железорудные горно-обогатительные предприятия, одним из которых является ТОО «Оркен» (Атансор). Работа Дуйсекешовой А.С. выполнена на актуальную тему, поскольку в процессе обогащения магнетитовых руд месторождения «Атансор» образуется отходы в виде промпродуктов с содержанием железа порядка 19-21%, что в свою очередь определяет перспективность.

В магистерской диссертации в необходимом объеме выполнен литературный обзор сырьевой базы магнетитовых руд и технологии их переработки.

Изучены минералогические, вещественные и химические анализы промпродукта. По результатам минералогического и гранулометрического состава исследуемой руды, определены машинные классы для их гравитационного обогащения, также выполнены исследования по магнитной сепарации измельченного промпродукта и выявлены параметры процесса магнитной сепарации при получении концентрата с содержанием железа более 55%.

Предложена технологическая схемеа с использованием процесса магнитной сепарации возможно получение концентратов с содержанием железа

60 – 63 %.

Результаты магистерской диссертации опубликованы в материалах научно-технического и производственного журнала «Горный журнал Казахстана».

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

1) Литературный обзор не включает практику дальнего зарубежья.

ОЦЕНКА РАБОТЫ

Полученные результаты исследований сравнимы с хорошими достижениями в области переработки магнетитовых руд. Исследования выполнены на высоком уровне, заслуживают оценку отлично и присвоения автору степени магистра по специальности 7М07223 – "Металлургия и обогащение полезных ископаемых".

Рецензент _____ Гладышев Сергей Владиленович

Занимаемая должность: ведущий научный сотрудник лаборатории глинозема и алюминия АО «Институт металлургии и обогащения», кандидат технических наук.

«10» 06 2021г.

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Дүйсекешова Айнұр Серікқызы

Название: Разработка технологии обогащения промпродукта магнетитовых руд

Координатор:Шамиль Телков

Коэффициент подобия 1:8.2

Коэффициент подобия 2:1.7

Замена букв:10

Интервалы:0

Микропробелы:4

Белые знаки: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- ☑ обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование: допускается к защите

10. 06. 2021

Дата

Подпись Научного руководителя

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Дүйсекешова Айнұр Серікқызы

Название: Разработка технологии обогащения промпродукта магнетитовых руд

Координатор: Шамиль Телков

Коэффициент подобия 1:8.2

Коэффициент подобия 2:1.7

Замена букв:10

Интервалы:0

Микропробелы:4

Белые знаки:0

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

☑ обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;

☐ обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;

☐ обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

Заимствования в диссертационной работе Дуйсекешовой А.С являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. Работа выполнена самостоятельно и допускается к защите

Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Допуск к защите

Дата 10-06-2021

Подпись заведующего кафедрой / зав. каф. Мирон Борменшикова.

начальника структурного подразделения