

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

«Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева»

Горно - металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра «Металлургии и обогащения полезных ископаемых»

Юлчибаев Азизбек Авазбекович

Проект отделения магнитного обогащения железосодержащих хвостов с  
производительностью 500 тысяч тонн хвостов в год

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**  
к дипломному проекту

ОП 6В07203 – Металлургия и обогащение полезных ископаемых

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

«Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева»

Горно - металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»  
Горно-металлургический институт  
им. О.А. Байконурова

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой МиОПИ  
канд. техн. наук, ассоц. профессор  
М.Б. Барменшинова  
« 6 » июня 2023 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

На тему: Проект отделения магнитного обогащения железосодержащих хвостов с  
производительностью 500 тысяч тонн хвостов в год

ОП 6В07203 – Металлургия и обогащение полезных ископаемых

Выполнил

Юлчибаев А.А.

Рецензент

Канд. техн. наук, ведущий научный  
сотрудник лаборатории флотореагентов и  
обогащения АО «ИМиО»

Г.Ж. Абдыкирова  
« 5 » июня 2023 г.

Научный руководитель

Кандидат технических наук,  
доцент, профессор кафедры  
МиОПИ

Ш.А. Телков  
« 6 » июня 2023 г.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

«Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева»

Горно - металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра «Металлургии и обогащения полезных ископаемых»

6B07203 – Металлургия и обогащение полезных ископаемых



Заведующий кафедрой МиОПИ  
канд. техн. наук, асоц. профессор  
М.Б. Барменшинова  
2022 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение дипломного проекта**

Обучающемуся Юлчибаеву Азизбеку Авазбековичу

Тема: Проект отделения магнитного обогащения железосодержащих хвостов с  
производительностью 500 тысяч тонн хвостов в год

Утверждена приказом ректора университета №\_408-п от «23» ноября 2022 г.

Срок сдачи законченного проекта: «24» мая 2023 г.

Исходные данные к дипломному проекту: Данные с преддипломной практики

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

а) Расчет качественной, количественной и водно – шламовой схемы; б) Выбор и расчет  
основного и вспомогательного оборудования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):  
представлены 10 слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература:

1) Адамов Э.В. Основы проектирования обогатительных фабрик. – М.: Изд. Дом  
МИСиС, 2012. – 647 с.

2) Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы. Изд. 2-е,  
переработанное и дополненное – М.: Недра, 1982

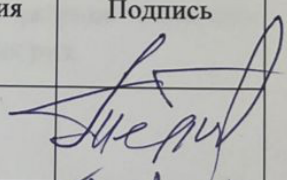
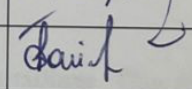
### ГРАФИК

подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Обоснование и расчет технологической схемы	7.02.2023-17.02.2023	
Выбор и расчет оборудования	18.02.2023-01.03.2023	
Разработка чертежей	02.03.2023-29.03.2023	
Оформление пояснительной записки	30.03.2023-16.04.2023	

### Подписи

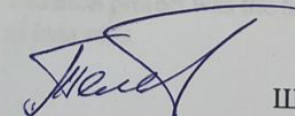
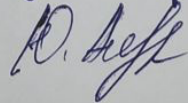
Консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с указанием относящихся к ним разделов проекта

Наименование разделов	Научный руководитель, консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологическая часть	Ш.А. Телков Профессор, канд. техн. наук, доцент	25.01.2023	
Нормоконтролер	А.Н. Таймасова Магистр техн. наук	30.01.2023	

Научный руководитель

Задание принял к исполнению

Дата и подпись

Ш.А. Телков

А.А. Юлчибаев

«24» мая 2023 г.

## **АНДАТПА**

Жобада темір қалдықтарын магниттік байыту бөлімін құру қарастырылған. Бұл темір рудасын өндіру қалдықтарынан темірдің құнды ресурсын алуға мүмкіндік береді. Магниттік байытуды қолдану материалдың магниттік қасиеттерін пайдаланатын темірді байытудың тиімді әдісі болып табылады. Нәтижесінде өндіріс тиімділігін арттыруға және қоршаған ортаға қоршаған ортаға тигізетін әсерін азайтуға болады. Дипломдық жобаның объектісі темір рудаларын өңдеу бойынша Соколово-Сарыбай тау-кен байыту бірлестігі болды.

## **АННОТАЦИЯ**

Проект заключается в создании отделения магнитного обогащения железосодержащих хвостов. Это позволит восстановить ценный ресурс железа из отходов добычи железной руды. Применение магнитного обогащения является эффективным методом обогащения железа, который использует магнитные свойства материала. В результате возможно повышение эффективности производства и снижение экологического влияния на окружающую среду. Объектом выполнения дипломного проекта была выбрана фабрика Соколово-Сарбайское горно-обогатительное объединение по переработке железных руд.

## **ANNOTATION**

The project is to create a department for the magnetic enrichment of iron tailings. This will allow the recovery of a valuable resource of iron from iron ore mining waste. The use of magnetic enrichment is an effective method of enrichment of iron, which uses the magnetic properties of the material. As a result, it is possible to increase production efficiency and reduce the environmental impact on the environment. The object of the graduation project was the Sokolovo-Sarbaysky Mining and Processing Association for the processing of iron ores.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Общая пояснительная записка	7
1.1 Краткая характеристика	7
1.2 Основные технологические и проектные решения	8
1.3 Состав обогатительной фабрики	8
2 Генеральный план, транспорт и рекультивация	10
2.1 Генеральный план	10
2.1.1 Характеристика района и площадки строительства	10
2.2 Транспорт	10
3 Рекомендуемая схема переработки лежалых хвостов и баланс	11
3.1 Расчет водно-шламовой схемы	13
3.2 Расчет классифицирующего оборудования	18
3.3 Расчет оборудования для измельчения	21
3.4 Расчет магнитных сепараторов	24
3.5 Расчет оборудования для обезвоживания	26
3.6 Расчет оборудования для перекачки пульпы	27
3.7 Сводные результаты расчета основного и вспомогательного	28
Заключение	30
Список использованной литературы	31
Приложение А	32
Приложение Б-схема цепи аппаратов	33

## **ВВЕДЕНИЕ**

Соколово-Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение также находится в Жамбылской области Казахстана и было создано в 1954 году для добычи железной руды на Соколово-Сарбайском месторождении.

Объединение включает в себя горнодобывающие и горно-обогатительные предприятия, а также транспортные и социальные службы. Основным продуктом объединения является железная руда. Производственные мощности объединения позволяют добывать и обрабатывать более 8 миллионов тонн железной руды в год.

В 2016 году объединение было продано компании "Erdenes Tavan Tolgoi JSC" из Монголии.

## **1 Общая пояснительная записка**

### **1.1 Краткая характеристика**

### **1.2 Основные проектные решения**

Проектные решения для отделения магнитного обогащения железосодержащих хвостов могут включать в себя следующие этапы:

1) Подготовка сырья - на этом этапе осуществляется измельчение и классификация сырья, чтобы достичь определенного размера частиц, необходимого для обработки.

2) Магнитное обогащение - на этом этапе используется магнитный сепаратор, который способен разделять железистые частицы от других материалов. В результате этого процесса получается концентрат железа и хвостовой материал, который содержит меньше железа.

3) Обработка хвостов - на этом этапе хвостовой материал может подвергаться дополнительной обработке, чтобы избавиться от нежелательных примесей. Например, с помощью гравитационных отделений можно разделить материал на более легкие и тяжелые фракции, что поможет избавиться от частиц с низкой специфической плотностью.

4) Отбор концентрата - после окончания процесса обогащения, концентрат должен быть отобран и дополнительно обработан, чтобы получить товарный продукт. Например, дополнительная классификация может быть использована для получения железистых концентратов различных размеров.

5) Обработка отвода - общий хвостовой материал может быть возвращен в зону магнитного обогащения для повторной обработки, либо представлен на последующую утилизацию.

В зависимости от конкретных условий проекта, а также требований клиента, могут быть использованы дополнительные методы обработки, такие как флотация или марганцевание.

### **1.3 Состав обогатительной фабрики**

Состав обогатительной фабрики на месторождении Соколовско-Сарбайское может варьироваться в зависимости от конкретных технологических процессов и требований клиента, но обычно она включает в себя следующие основные узлы и оборудование:

1) Дробильно-измельчительный комплекс - используется для первичной обработки сырья и раздробления его на куски нужного размера.

2) Грохоты - служат для классификации материала по размеру.

3) Сепараторы - применяются для разделения минеральных фракций на основе их магнитных свойств.



4) Флотационные машины – используются для выделения целевых минералов при помощи флотации.

5) Гравитационные отделители - применяются для разделения материала на основе его плотности.

6) Фильтры - служат для отделения избыточной влаги.

Обычно для улучшения качества и выборки товарной продукции могут быть также применены дополнительные методы обработки, такие как магнитная сепарация, аналитические и классификационные методы.

## **2 Генеральный план и транспорт**

### **2.1 Генеральный план**

#### **2.1.1 Характеристика района и площадки строительства**

Соколовско-Сарбайское месторождение находится в Западно-Казахстанской области Казахстана и является одним из крупнейших месторождений железной руды в мире. Оно имеет запасы более 7 миллиардов тонн железной руды с содержанием железа более 68%.

Площадка строительства Соколовско-Сарбайского месторождения включает в себя несколько объектов. Основными объектами являются:

1 Рудник, где проводится добыча железной руды.

2 Обоганительный комбинат, где проводится обогащение железной руды и получение конечного продукта - железного концентрата.

3 Транспортный комплекс, включающий железнодорожные и автомобильные дороги и позволяющий транспортировать железную руду и железный концентрат в различные регионы страны и за ее пределами.

Характеристика месторождения и площадки строительства позволяют Соколовско-Сарбайскому месторождению быть одним из крупнейших и самых эффективных месторождений железной руды в мире.

### **2.2 Транспорт**

Транспорт на месторождении Соколово-Сарбайское осуществляется главным образом автомобильным и железнодорожным транспортом. Для доставки сырья и оборудования на месторождение используются грузовые автомобили и железнодорожные составы. Для перемещения работников и техники на месторождении используются автомобили и специальная техника.

Также на месторождении могут использоваться вертолеты для доставки наиболее отдаленных участков, а также для экстренной эвакуации людей в случае необходимости. В целях обеспечения безопасности на месторождении проводятся специальные тренировки для личного состава, который работает с этим транспортом

### 3 Рекомендуемая схема переработки лежалых хвостов и баланс металла

На основании полученных результатов исследований, для переработки лежалых хвостов с использованием процесса мокрой магнитной сепарации рекомендуется схема, показанная на рисунке 1. Часовая производительность передела обогащения, согласно данным заказчиком, составляет 150 т/ч.

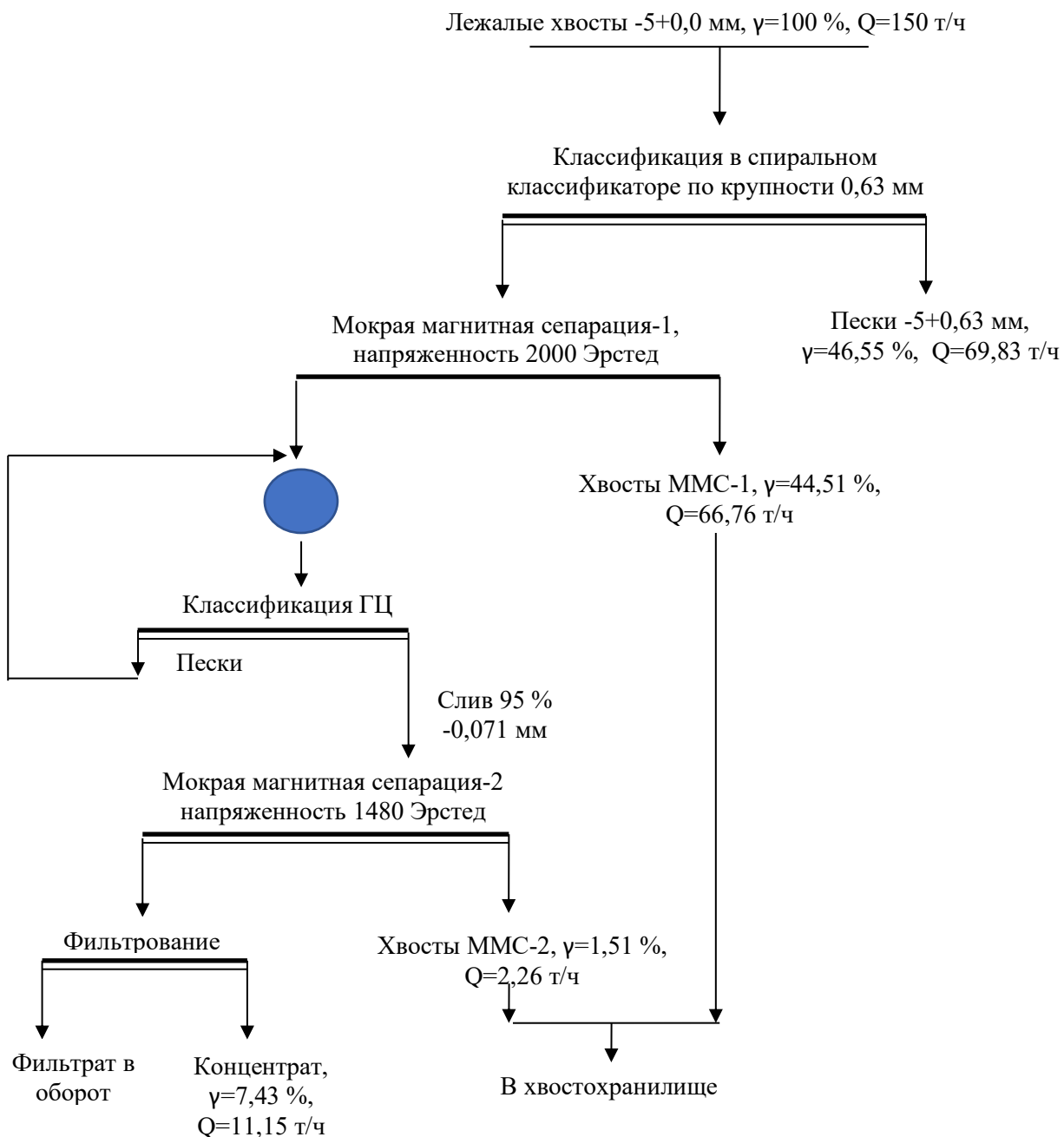


Рисунок 1 – Рекомендуемая схема переработки лежалых хвостов

Баланс металлов по рекомендуемой схеме переработки лежалых хвостов представлен в таблице 1.

Таблице 1 – Баланс металлов по рекомендуемой схеме

Наименование	Выход, %	Содержание железа, %	Извлечение железа, %
Концентрат ММС-2	7,43	63,39	30,14
Хвосты ММС-2	1,51	17,97	1,74
Хвосты ММС-1	44,51	12,52	35,66
Пески классификации - 5+0,63 мм	46,55	10,90	32,46
Лежалые хвосты -5+0,0 мм	100,00	15,63	100,00

По разработанной технологии переработки лежалых хвостов получены следующие показатели:

Выход концентрата содержанием железа 63,39 %, при индукции магнитного поля 1480 Эрстед составил 7,43 % с извлечением 30,14 % от обогащения исходных хвостов.

Выход хвостов 2-ой магнитной сепарации (индукция 1480 Эрстед) составил 1,51 % с содержанием железа 17,97 %, при извлечении 1,74 %.

Выход хвостов 1-ой магнитной сепарации (индукция 2000 Эрстед) составил 44,51 % с содержанием железа 12,52 %, при извлечении 35,66 %.

Выход песков классификации крупностью -5+0,63 мм составил 46,55 % с содержанием железа 10,90 %, при извлечении 32,46 %.

### 3.1 Расчет водно-шламовой схемы

Исходные данные для расчета водно-шламовой схемы приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета водно-шламовой схемы

Наименование	Содержание твердого, %
Исходные лежалые хвосты	90
Пески классификации	85
Слив классификации	44
Мокрая магнитная сепарация-1	44
Концентрат мокрой магнитной сепарации-1	68

*Продолжение таблицы 2*

Наименование	Содержание твердого, %
Слив мельницы	70
Пески гидроциклона	75
Слив гидроциклона	28
Концентрат мокрой магнитной сепарации-2	60
Кек, концентрата ММС-2	88

Плотность лежалых хвостов принята 3,2 т/м<sup>3</sup>. В таблице 3 приведены результаты расчета водно-шламовой схемы

Таблица 3 - Расчет водно-шламовой схемы

Поступает							Выходит						
Наименование продукта	Выход, %	m <sub>тв</sub> , т/ч	Сод.тв., %	m <sub>вод.</sub> , т/ч	m <sub>пульп</sub>	V <sub>пульп</sub> , м <sup>3</sup> /ч	Наименование продукта	Выход, %	m <sub>тв</sub> , т/ч	Сод.тв., %	m <sub>вод.</sub> , т/ч	m <sub>пульп</sub>	V <sub>пульп</sub> , м <sup>3</sup> /ч
Классификация в спиральном классификаторе													
Лежалые хвосты	100,00	150,00	90,00	16,67	166,67	63,54	Слив	53,45	80,17	44,00	102,03	182,20	127,08
Вода	-	-	-	97,68	97,68	97,68	Пески	46,55	69,83	85,00	12,32	82,15	34,14
Итого	100,00	150,00	56,74	114,35	264,35	161,22	Итого	100,00	150,00	56,74	114,35	264,35	161,22
Мокрая магнитная сепарация-1													
Слив	53,45	80,17	44,00	102,03	182,20	127,08	К-т ММС-1	8,94	13,41	68,00	6,31	19,72	10,50
Вода	-	-	-	-	-	-	Хвосты ММС-1	44,51	66,76	41,09	95,72	162,48	116,58
Итого	53,45	80,17	44,00	102,03	182,20	127,08	Итого	53,45	80,17	44,00	102,03	182,20	127,08
Измельчение													
К-т ММС-1	8,94	13,41	68,00	6,31	19,72	10,50	Слив мельницы	41,72	62,58	70,00	26,82	89,40	46,38
Пески ГЦ	32,78	49,17	75,00	16,39	65,56	31,76							
Вода	-	-	-	4,12	4,12	4,12							
Итого	41,72	62,58	70,00	26,82	89,40	46,38	Итого	41,72	62,58	70,00	26,82	89,40	46,38
Классификация в ГЦ													
Слив мельницы	41,72	62,58	70,00	26,82	89,40	46,38	Слив ГЦ	8,94	13,41	28,00	34,48	47,89	38,67
Вода	-	-	-	24,05	24,05	24,05	Пески ГЦ	32,78	49,17	75,00	16,39	65,56	31,76
Итого	41,72	62,58	55,16	50,87	113,45	70,43	Итого	41,72	62,58	55,16	50,87	113,45	70,43
Мокрая магнитная сепарация-2													
Слив ГЦ	8,94	13,41	28,00	34,48	47,89	38,67	К-т ММС-2	7,43	11,15	60,00	7,43	18,58	10,91
Вода	-	-	-	-	-	-	Хвосты ММС-2	1,51	2,26	7,71	27,05	29,31	27,76
Итого	8,94	13,41	28,00	34,48	47,89	38,67	Итого	8,94	13,41	28,00	34,48	47,89	38,67

Продолжение таблицы 3

Поступает							Выходит						
Наименование продукта	Выход, %	m <sub>тв</sub> , т/ч	Сод.тв., %	m <sub>вод.</sub> , т/ч	m <sub>пульп</sub>	V <sub>пульп</sub> , м <sup>3</sup> /ч	Наименование продукта	Выход, %	m <sub>тв</sub> , т/ч	Сод.тв., %	m <sub>вод.</sub> , т/ч	m <sub>пульп</sub>	V <sub>пульп</sub> , м <sup>3</sup> /ч
Фильтрование													
К-т ММС-2	7,43	11,15	60,00	7,43	18,58	10,91	Кек к-т ММС-2	7,43	11,15	88,00	1,52	12,67	5,00
Вода	-	-	-	-	-	-	Фильтрат	-	-	-	5,91	5,91	5,91
Итого	7,43	11,15	60,00	7,43	18,58	10,91	Итого	7,43	11,15	60,00	7,43	18,58	10,91

Таблица 4 – Баланс по воде

Поступает	W, м <sup>3</sup> /час	Выходит	W, м <sup>3</sup> /час
С лежалыми хвостами	16,67	С песками классификатора	12,32
В спиральный классификатор	97,68	С хвостами ММС-1	95,72
В измельчение	4,12	С хвостами ММС-2	27,05
В гидроциклоны	24,05	С кеком к-та ММС-2	1,52
		С фильтратом	5,91
Итого	142,52	Итого	142,52

Удельный расход воды на технологические нужды составил  $142,52/150 = 0,95$  м<sup>3</sup>/т.

### 3.2 Расчет классифицирующего оборудования

Производительность по сливу классификатора с не погруженной спиралью определяется по формуле (1):

$$Q = 4,56 \cdot m \cdot k_{\beta} \cdot k_{\delta} \cdot k_c \cdot k_{\alpha} \cdot D^{1,765}, \quad (1)$$

где Q – производительность классификатора по сливу, т/ч;  
 m – число спиралей классификатора, шт.;  
 $k_{\beta}$  – коэффициент, учитывающий крупность слива, доли ед.;  
 $k_{\delta}$  – коэффициент, учитывающий плотность классифицируемого материала, доли ед.;  
 $k_c$  – коэффициент, учитывающий разжижение слива, доли ед.;  
 $k_{\alpha}$  – коэффициент, учитывающий угол наклона днища классификатора, доли ед.;  
 D – диаметр спирали классификатора, м.

Исходные данные для расчета классификатора:

- производительность по сливу принимается из водно-шламовой схемы – 80,17 т/ч;
- крупность слива составляет  $\beta_{сл}^{-74} = 20$  %;
- содержание твердого в сливе – 44 %.

Поправочные коэффициенты и производительность спирального классификатора КСН-30 составит:  $m = 1$ ,  $k_{\beta} = 2,435$ ,  $k_{\delta} = 1,185$ ,  $k_c = 0,902$ ,  $k_{\alpha} = 1$ .



$$Q = 4,56 \cdot 1 \cdot 2,435 \cdot 1,185 \cdot 0,902 \cdot 1 \cdot 3^{1,765} = 82,51 \text{ т/ч},$$

С производительностью по сливу 80,17 т/ч справиться односпиральный классификатор КСН-30 и рекомендуемый к установке.

Исходные данные для расчета классификации в гидроциклоне:

- объем пульпы в гидроциклонирование – 70,43 м<sup>3</sup>ч;
- содержание твердого в питании гидроциклона – 55,16 %;
- содержание класса –0.074 мм в сливе – 95 %.

Рассчитаем остаток на сите класса более 74 мкм, номинальную крупность слива, граничную крупность разделения по формулам (2, 3, 4)

$$R_{+74} = 100 - \beta_c^{-74}, \% \quad (2)$$

$$d_H = \frac{96,274}{2 - \lg R_{+74}}, \text{ мкм}, \quad (3)$$

$$d_\Gamma = \frac{d_H}{1,75}, \text{ мкм} \quad (4)$$

где  $R_{+74}$  – остаток на сите с размером отверстия 74 мкм.

и составит:  $R_{+74} = 100 - 95 = 5 \%$ ,  $d_H = \frac{96,274}{2 - \lg 5} = 74 \text{ мкм}$ ,  $d_\Gamma = \frac{74}{1,75} = 42 \text{ мкм}$ .

Такую граничную крупность обеспечивает гидроциклон с  $D = 150 \text{ мм}$ .

Рассчитаем объемную производительность гидроциклона и выполним проверку граничной крупности и удельной нагрузки по пескам по формулам (5, 6, 7):

$$V = 3 \cdot K_\alpha \cdot K_d \cdot d_H \cdot d_c \cdot P_0^{0,5}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5)$$

$$d_\Gamma = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{D \cdot d_c \cdot T_H}{\Delta \cdot k_D \cdot P_0^{0,5} \cdot (\delta_T - 1)}}, \text{ мкм}, \quad (6)$$

$$q = \frac{Q_H \cdot 4}{N \cdot \pi \cdot \Delta^2}, \text{ т/см}^2 \cdot \text{ч}, \text{ должна находиться в пределе } 0,5\text{-}2,5 \text{ т/ч}. \quad (7)$$

где  $V$  – объемная производительность гидроциклона, м<sup>3</sup>/ч;

$K_\alpha$  – поправка на угол конусности.

Для  $\alpha = 20^\circ$   $K_\alpha = 1,0$ ;

$K_D$  – поправка на диаметр гидроциклона составит 1,28;

$d_H$  – эквивалентный диаметр питающего отверстия, см = 3,8;

$d_c$  – диаметр сливного отверстия, см = 5;

$P_0$  – рабочее давление пульпы на входе в гидроциклон, МПа = 0,12;

$d_\Gamma$  – граничная крупность слива, мкм;

$D$  – диаметр гидроциклона, см;  
 $T_{\Pi}$  – содержание твердого в питании гидроциклона, %;  
 $\Delta$  – диаметр песковой насадки, см;  
 $\delta_{\Gamma}$  – плотность твердого в пульпе, т/м<sup>3</sup>;  
 $q$  – удельная нагрузка по пескам, т/(см<sup>2</sup>·ч);  
 $Q_{\Pi}$  – песковая нагрузка по твердому, т/ч;  
 $N$  – количество рабочих гидроциклонов на одну секцию, шт.

Рассчитываем:

$$V = 3 \cdot 1 \cdot 1,28 \cdot 3,8 \cdot 5 \cdot 0,12^{0,5} = 25,3 \text{ м}^3/\text{ч},$$

Количество гидроциклонов составит:  $70,43/25,3=3$  шт.

$$d_{\Gamma} = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{15 \cdot 5 \cdot 55,16}{3,4 \cdot 1,28 \cdot 0,12^{0,5} \cdot (4,5-1)}} = 28 \text{ мкм}, \text{ что меньше } 42 \text{ мкм}.$$

$$q = \frac{49,17 \cdot 4}{3 \cdot 3,14 \cdot 3,4^2} = 1,80 \text{ т/см}^2 \cdot \text{ч}, \text{ что находится в допустимом пределе}.$$

К установке рекомендуется три гидроциклона с диаметром 150 мм – ГЦ-150.

### 3.3 Расчет оборудования для измельчения

Удельная производительность проектируемой мельницы по вновь образованному расчетному классу определяется по формуле (8):

$$q_{\Pi} = q_{\text{э}} \cdot k_{\text{и}} \cdot k_{\text{к}} \cdot k_{\text{д}} \cdot k_{\text{т}} \cdot k_{\text{Л}} \cdot k_{\text{ф}} \cdot k_{\text{п}}, \quad (8)$$

где  $q_{\Pi}$  – удельная производительность проектируемой мельницы по вновь образованному расчетному классу, т/(м<sup>3</sup>·ч);

$q_{\text{э}}$  – удельная производительность эталонной мельницы по вновь образованному расчетному классу, т/(м<sup>3</sup>·ч);

$k_{\text{и}}$  – коэффициент, учитывающий различие в измельчаемости проектируемой к переработке и перерабатываемой руды;

$k_{\text{к}}$  – коэффициент, учитывающий различие в крупности исходного и конечного продуктов измельчения на действующей и на проектируемой обогатительных фабриках;

$k_{\text{д}}$  – коэффициент, учитывающий различие в диаметрах барабанов проектируемой и эталонной мельниц;

$k_{\text{т}}$  – коэффициент, учитывающий различие в типе проектируемой и

эталонной мельниц;

$k_L$  – коэффициент, учитывающий различие в длине мельниц;

$k_\phi$  – коэффициент, учитывающий разницу в скорости вращения;

$k_\psi$  – коэффициент, учитывающий разницу в объемном заполнении мельниц шарами.

За эталонную мельницу принята мельница МШЦ–36х50 Соколово-Сарбайской обогатительной фабрики со следующими данными:

1) крупность питания мельницы рудой – 0,63 мм;

2) крупность измельчения руды во второй стадии – 65 % класса – 0.071 мм;

3) крепость руды по М.Протодяконову – 10;

5) удельная производительность мельницы первой стадии – 0,85 т/(м<sup>3</sup> ·

ч).

Исходные данные по проектируемой мельнице:

1) часовая производительность измельчительного передела – 13,41 т/ч;

2) крупность питания мельницы рудой – 0,63 мм;

3) крупность измельчения руды 95 % класса – 0,071 мм;

5) крепость руды по М.Протодяконову – 10;

б) содержание класса – 0,074 мм в питании – 20 %.

Для сравнения принимаются следующие типоразмеры мельниц:

МШЦ–2100х3000 с объемом барабана мельницы – 8,5 м<sup>3</sup>;

МШЦ–2700х3600 с объемом барабана мельницы – 17,5 м<sup>3</sup>;

МШЦ–3200х3100 с объемом барабана мельницы – 22,4 м<sup>3</sup>.

Поправочные коэффициенты и удельная производительность для мельниц составит:

1) Мельница МШЦ–2100х3000 –  $k_n = 1$ ;  $k_k = 0,9$ ;  $k_d = 0,752$ ;  $k_T = 1$ ;  $k_L = 0,774$ ;  $k_\phi = 1$ ;  $k_\psi = 1$ .

Удельная производительность составит:

$$q_n = 0,85 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,752 \cdot 1 \cdot 0,774 \cdot 1 \cdot 1 = 0,44 \text{ т}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч}).$$

2) Мельница МШЦ–2700х3600 –  $k_n = 1$ ;  $k_k = 0,9$ ;  $k_d = 0,859$ ;  $k_T = 1$ ;  $k_L = 0,848$ ;  $k_\phi = 1$ ;  $k_\psi = 1$ .

Удельная производительность составит:

$$q_n = 0,85 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,859 \cdot 1 \cdot 0,848 \cdot 1 \cdot 1 = 0,56 \text{ т}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч}).$$

3) Мельница МШЦ–3200х3100 –  $k_n = 1$ ;  $k_k = 0,9$ ;  $k_d = 0,94$ ;  $k_T = 1$ ;  $k_L = 0,787$ ;  $k_\phi = 1$ ;  $k_\psi = 1$ .

Удельная производительность составит:

$$q_n = 0,85 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,94 \cdot 1 \cdot 0,787 \cdot 1 \cdot 1 = 0,565 \text{ т}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч}).$$

Производительность мельницы по вновь образованному классу определяется по формуле (9):

$$Q = \frac{qV}{\beta_k - \beta_{и}} \quad (9)$$

где  $Q$  – производительность мельницы по исходной руде, т/ч;

$V$  – объем барабана мельницы, м<sup>3</sup>;

$\beta_k$  – содержание класса –0,071 мм в конечном продукте, доли ед.;

$\beta_{и}$  – содержание класса –0,071 мм в исходном продукте, доли ед..

Производительность мельниц по вновь образованному классу составит:

$$1) \text{ Мельница МШЦ–2100х3000 } Q_p = \frac{0,44 \cdot 8,5}{0,95 - 0,2} = 4,98 \text{ т/ч};$$

$$2) \text{ Мельница МШЦ–2700х3600 } Q_p = \frac{0,56 \cdot 17,5}{0,95 - 0,2} = 13,06 \text{ т/ч};$$

$$3) \text{ Мельница МШЦ–3200х3100 } Q_p = \frac{0,565 \cdot 22,4}{0,95 - 0,2} = 16,87 \text{ т/ч};$$

Наиболее оптимальным вариантом является установка 1 мельницы МШЦ–3200х3100 с коэффициентом загрузки 0,79.

Выполним проверку мельницы на пропускную способность по формуле (10):

$$\frac{Q_0 \cdot (1+C)}{N \cdot V} \leq 10 \div 12 \quad (10)$$

Циркулирующая нагрузка от питания мельницы 13,41 т/ч составляет 366 % или 3,66 д.е.

Пропускная способность составит:  $\frac{13,41 \cdot (1+3,66)}{1 \cdot 22,4} = 2,79 \leq 10 \div 12$ , что находится в допустимых пределах.

### 3.4 Расчет магнитных сепараторов

В настоящее время для мокрой магнитной сепарации в промышленности применяют сепараторы типа ПБМ – магнитные (с постоянными магнитами) барабанные сепараторы для мокрого обогащения сильномагнитных руд и извлечения сильномагнитных минералов из нерудных материалов, а также для регенерации ферромагнитных суспензий.

Производительность сепараторов ПБМ (т/ч) определяется по формуле 11.

$$Q = q(L - 0,1), \quad (11)$$

где  $q$  – удельная производительность, т/(м·ч);

$L$  – длина барабана, м.

Исходные данные для расчета сепаратора ПБМ в мокрой магнитной сепарации-1:

- содержание класса менее 0,071 мм в питании – 20 %;
- содержание твердого в питании – 44 %;
- содержание магнитной фракции в питании – 16,74 %;
- необходимая производительность – 80,17 т/ч;
- тип ванны – прямоточная.

В зависимости от диаметра барабана и исходных данных удельная производительность составляет для диаметра 900 мм = 50 т/(м·ч), 1200 мм = 100 т/(м·ч), 1500 мм = 125 т/(м·ч). Рассчитаем производительность сепаратора:

Для сепаратора ПБМ 90/250 -  $Q = 50(2,5 - 0,1) = 124$  т/ч.

В мокрой магнитной сепарации-1 к установке рекомендуем сепаратор ПБМ 90/250 в количестве 1 штуки.

Исходные данные для расчета сепаратора ПБМ в мокрой магнитной сепарации-2:

- содержание класса менее 0,071 мм в питании – 95 %;
- содержание твердого в питании – 28 %;
- содержание магнитной фракции в питании – 83 %;
- необходимая производительность – 13,41 т/ч;
- тип ванны – полупротивоточная.

В зависимости от диаметра барабана и исходных данных удельная производительность составляет для диаметра 900 мм = 8 т/(м·ч), 1200 мм = 16 т/(м·ч), 1500 мм = 25 т/(м·ч). Рассчитаем производительность сепаратора:

Для сепаратора ПБМ-ПП 90/250 -  $Q = 8(2,5 - 0,1) = 19,92$  т/ч.

В мокрой магнитной сепарации-2 к установке рекомендуем сепаратор ПБМ-ПП 90/250 в количестве 1 штуки.

### 3.5 Расчет оборудования для обезвоживания

Фильтрованию подвергается концентрат мокрой магнитной сепарации-2, производительность по концентрату 11,15 т/ч.

При требуемой производительности по концентрату  $Q$  (т/ч) и удельной производительности  $q$  [т/(м<sup>2</sup>·ч)] определяется необходимая общая площадь фильтрования  $S$  (м<sup>2</sup>) по формуле (12):

$$S = \frac{Q}{q}, \text{ м}^2 \quad (12)$$

где  $Q$  – производительность по концентрату, т/ч=11,15;

$q$  – удельная производительность дискового вакуум фильтра, т/(м<sup>2</sup>·час), для магнетитового концентрата  $q=0,5$ .

Требуемая площадь фильтрования для магнетитового концентрата составит:

$$S = \frac{11,15}{0,5} = 22,3 \text{ м}^2.$$

К установке рекомендуем дисковый вакуум фильтр типа ДОО 32 с площадью фильтрования 32 м<sup>2</sup> в количестве 1 штуки.

### 3.6 Расчет оборудования для перекачки пульпы

Производительность насоса определяется по формуле (13):

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{П}} \cdot (1 + T_{\text{П}}) \quad (13)$$

где  $V_{\text{П}}$  – объемная производительность насоса по пульпе, м<sup>3</sup>/ч;  
 $T_{\text{П}}$  – содержание твердого в пульпе, д.е..

Исходные данные для расчета насоса перекачки слива мельницы в гидроциклоны:

- объем перекачиваемой пульпы 70,43 м<sup>3</sup>/ч;
- содержание твердого в пульпе 55,16 %.

Рассчитаем производительность насоса:  $V_{\text{H}_2\text{O}} = 70,43 \cdot (1 + 0,5516) = 110$  м<sup>3</sup>/ч.

Рекомендуем к установке насос типа ПБ 160/20 с производительностью 160 м<sup>3</sup>/ч в количестве 1 штуки.

Исходные данные для расчета насоса перекачки хвостов ММС-1 и ММС-2:

- объем перекачиваемой пульпы 144,34 м<sup>3</sup>/ч;
- содержание твердого в пульпе 35,99 %.

Рассчитаем производительность насоса:  $V_{\text{H}_2\text{O}} = 144,34 \cdot (1 + 0,3599) = 196,3$  м<sup>3</sup>/ч.

Рекомендуем к установке насос типа ПБ 250/28 с производительностью 250 м<sup>3</sup>/ч в количестве 1 штуки.

Исходные данные для расчета насоса перекачки концентрата ММС-2:

- объем перекачиваемой пульпы 10,91 м<sup>3</sup>/ч;
- содержание твердого в пульпе 60 %.

Рассчитаем производительность насоса:  $V_{\text{H}_2\text{O}} = 10,91 \cdot (1 + 0,6) = 17,5$  м<sup>3</sup>/ч.

Рекомендуем к установке насос типа ПБ 40/16 с производительностью 40 м<sup>3</sup>/ч в количестве 1 штуки.

### 3.7 Сводные результаты расчета основного и вспомогательного оборудования

Перечень основного и вспомогательного оборудования приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Рекомендуемое основное и вспомогательное оборудование разработанного технологического процесса

Наименование операции	Типоразмер оборудования	Количество штук
Классификация исходных лежалых хвостов	КСН-30	1
Мокрая магнитная сепарация-1	ПБМ 90/250	1
Измельчение концентрата мокрой магнитной сепарации-1	3200x3100	1
Классификация в гидроциклонах слива мельницы	ГЦ-150	3
Мокрая магнитная сепарация-2	ПБМ-ПП 90/250	1
Обезвоживание концентрата мокрой магнитной сепарации 2 на дисковом вакуум-филт্রে	ДОО 32	1
Насос для перекачки слива мельницы в гидроциклоны	ПБ 160/20	1
Насос для перекачки хвостов мокрой магнитной сепарации 1 и 2 в хвостохранилище	ПБ 250/28	1
Насос для перекачки концентрата мокрой магнитной сепарации 2 на дисковый вакуум-филтър	ПБ 40/16	1

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно полученным данным выполнен проект отделения магнитного обогащения железосодержащих хвостов с производительностью 500 тысяч тонн хвостов в год.

В проекте была выполнена по переработке лежалых хвостов, из общей схемы мокрой магнитной сепарации.

Выполнены расчеты:

- двухстадиальная мокрая магнитная сепарация
- двухстадиальная классификация
- пески классификации
- концентрат мокрой магнитной сепарации

В результате расчетов были получены следующие технологические показатели:

- выход концентрата 7,43%
- выход хвостов 2-ой магнитной сепарации составил 1,51 % с содержанием железа 17,97 %, при извлечении 1,74 %.
- выход хвостов 1-ой магнитной сепарации составил 44,51 % с содержанием железа 12,52 %, при извлечении 35,66 %.
- выход песков классификации крупностью  $-5+0,63$  мм составил 46,55 % с содержанием железа 10,90 %, при извлечении 32,46 %.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Сажин Ю.Г. Расчеты схем рудоподготовки и выбор оборудования для дробления, грохочения, измельчения и классификации: Учеб. пособие. Алматы: КазНТУ, 2005. – 177 с.

2 Адамов Э.В. Основы проектирования обогатительных фабрик. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2012. – 647 с.

3 Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых: Учебник для вузов. В 3 т. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. – Т. II Технология обогащения полезных ископаемых. – 510 с.: ил. ISBN 5-7418-0242-7 (в пер.)

4 Егоров В.Л. Обогащение полезных ископаемых. Учебник для техникумов. М.: Недра, 1986, 421 с.

5 Макулбекова, А. С. Исследование Узунжальского рудного узла на выявление перспективных полиметаллических месторождений / А. С. Макулбекова. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2020. – № 10 (300). — С. 168-171.

## Приложение А

7	ДОО 32	Дисковый вакуум фильтр	1	
6	ПБМ-ПП 90/250	Магнитный барабанный сепаратор с противоточной ванной	1	
5	ПБ 250/28	Насос песковый с боковым подводом	1	
4	ГЦ-150	Гидроциклон	1	
3	МШЦ-3200x3100	Мельница шаровая с центральной разгрузкой	1	
2	ПБМ 90/250	Магнитный барабанный сепаратор с прямоточной ванной	1	
1	КСН-30	Односпиральный классификатор	1	
№ поз.	Тип, марка	Наименование	Кол.	Примечание
				<b>СПЕЦИФИКАЦИЯ</b>
				6B07203 – Metallургия и обогащение полезных ископаемых
				Лит.      Масса      Масш
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разработал		Юлчибаев		
Проверил		Мотовилов		
Руководит.		Телков		
				Лист      Листов
				у
				Схема цепи аппаратов
				Проект отделения магнитного обогащения железосодержащих хвостов с производительностью 500 тысяч тонн хвостов в год
				Satbayev University

## Приложение Б – Схема цепи аппаратов

