

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

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

Институт цифровых технологий и профессионального развития  
Кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

Марценюк Ислам Андреевич

Проектирование обогатительной фабрики по переработке  
полиметаллической и медно-цинковой руды  
Малеевского месторождения на базе  
горно-обогатительной фабрики г. Алтай

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**  
к дипломной работе

ОП 6В07203 – Metallургия и обогащение полезных ископаемых

Алматы 2024

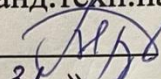
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

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

Институт цифровых технологий и профессионального развития

Кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

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

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой МиОПИ  
канд.техн.наук, асоц.проф.  
  
Барменшинова М.Б.  
«31» 05 2024 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

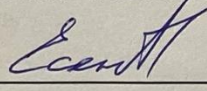
к дипломной работе

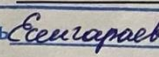
на тему: «Проектирование обогатительной фабрики по переработке  
полиметаллической и медно-цинковой руды Малеевского месторождения  
на базе горно-обогатительной фабрики г. Алтай»

ОП 6В07203 – Metallургия и обогащение полезных ископаемых

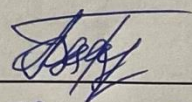
Выполнил: Марценюк И.А.

Рецензент:  
доктор Ph-D, старший научный  
сотрудник лаборатории благородных  
металлов филиала РГП «НЦ КПМС РК»  
ГНПОПЭ «Казмеханобр»

  
Есенгараев Е.К.  
«03» 06 2024 г.

Подпись  Э.К. Эсенгараев  
Ученый секретарь филиала РГП НЦ  
КПМС РК ГНПОПЭ «Казмеханобр»  
«03» 06 2024 г.

Научный руководитель:  
канд. техн. наук, старший  
преподаватель кафедры  
МиОПИ

  
Бошкаева Л.Т.  
«03» 06 2024 г.

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

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

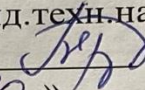
Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова

Кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

ОП 6В07203 – Metallургия и обогащение полезных ископаемых

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой МиОПИ  
канд. техн. наук, ассоц. проф.

 Барменшинова М.Б.  
«10» \_\_\_\_\_ 2024 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение дипломной работы**

Обучающемуся Марценюк Исламу Андреевичу

Тема: Проектирование обогатительной фабрики по переработке полиметаллической и медно-цинковой руды Малеевского месторождения на базе горно-обогатительной фабрики г. Алтай

Утверждена приказом руководителя университета №1755-до от "29" 11 2023 г.

Срок сдачи законченного проекта: «20» мая 2024 г.

Исходные данные к дипломному проекту: данные преддипломной практики, расходные коэффициенты и технологические показатели производства

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

а) обзор литературных данных по обогащению полиметаллической и медно-цинковой руды, обоснование технологической схемы производства, выбор режимных параметров, расчет качественной, количественной и водно-шламовой схемы, выбор и расчет основного и вспомогательного оборудования;

б) вопросы охраны труда.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): 10-12 слайдов


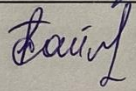
Рекомендуемая основная литература:

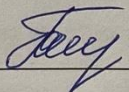
1) Адамов Э.В. Основы проектирования обогатительных фабрик. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 647 с.

**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Обоснование и расчет технологической схемы	06.02.2024-20.02.2024	
Выбор и расчет оборудования	21.02.2024-24.03.2024	
Вопросы охраны труда	21.03.2024-04.04.2024	
Разработка чертежей	05.04.2024-15.04.2024	
Оформление пояснительной записки	16.04.2024-03.05.2024	

**Подписи**  
консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ней разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологическая часть	Л.Т. Бошкаева канд. техн. наук, старший преподаватель	04.06.24	
Нормоконтролер	Таймасова А.Н. магистр техн. наук	04.06.2024	

Научный руководитель \_\_\_\_\_  Л.Т. Бошкаева  
 Задание принял к исполнению обучающийся Мартенюк И.А. Мартенюк  
 Дата «04» 06 2024 г.

## АНДАТПА

Дипломдық жұмыстың түсіндірмелік жазбасы 41 беттен, 12 иллюстрациялық суреттен және 16 кестеден тұрады, 17 дереккөзді қамтитын библиографиямен толықтырылған. Бұл жұмыста полиметалл кендерін байыту үшін арнайы әзірленген «Алтай» байыту фабрикасының тұжырымдамасы басты орын алады.

Жұмысты орындау кезінде байытудың қолданыстағы технологиялық схемасы қолданылды, ол келесі операцияларды қамтиды: алдын-ала сусыздандырып және сұрыптап елеумен толықтырылған үш сатылы ұсақтау, ары қарай алғашқы шламды кеннен бөлуге арналған гидроциклон мен классификатор көмегімен кластарға бөлу, мұндағы кен ары қарай қоректендіргіш суспензия арқылы флотацияға жіберіледі; ары қарай конустық сепаратор көмегімен ауыр ортада алдын ала байыту жүргізіледі. Кенді ұнтақтау процесі гидроциклондарда классификациялаумен толықтырылған екі сатылы ұнтақтауды қамтиды. Флотациялық байыту келесі циклдерден тұрады: шламдық, Cu-Pb ұжымдық, Cu селективті, мырышты және Zn-Pb флотациясы.

## АННОТАЦИЯ

Дипломная работа состоит из подробного изложения на 41 страницах, с 12 иллюстративными рисунками и 16 таблицами с данными, дополнена библиографией, включающей 17 источников. Центральное место в этой работе занимает концепция обогатительной фабрики «Алтай», специально разработанной для обогащения полиметаллических руд.

Реализация проекта предусматривает использование современной технологической базы для обогащения, которая представлена следующим образом: трехсторонний подход к дроблению, дополненный предварительной сортировкой и обезвоживанием; последующая классификация с помощью классификатора и гидроциклона, отделяющих первичные шламы от руды, которые затем подвергаются флотации через питательную суспензию; дальнейшее обогащение происходит путем предварительного обогащения с помощью конусного сепаратора. Процесс измельчения руды включает двухстадийное измельчение, дополняемое классификацией в гидроциклонах. Процесс обогащения с помощью флотации характеризуется отдельными циклами: шламовый, коллективный Cu-Pb, селективный Cu, цинковый и Zn-Pb флотационный.

## ANNOTATION

The thesis consists of a detailed presentation on 41 pages, with 12 illustrative drawings and 16 tables with data, supplemented by a bibliography including 17 sources. The central place in this work is occupied by the concept of the Altai concentrator, specially designed for the enrichment of polymetallic ores.

The implementation of the project provides for the use of a modern technological base for enrichment, which is presented as follows: a three-way approach to crushing, supplemented by pre-sorting and dewatering; subsequent classification using a classifier and a hydrocyclone separating primary sludge from ore, which are then flotation through a nutrient suspension; further enrichment occurs by pre-enrichment using a cone separator.

The ore crushing process includes two-stage grinding, complemented by classification in hydrocyclones. The flotation enrichment process is characterized by separate cycles: slurry, collective Cu-Pb, selective Cu, zinc and Zn-Py flotation.

## Содержание

Введение	7
1. Характеристика предприятия	8
2. Генеральный план и транспорт	13
2.1 Характеристика района и площадки строительства	13
2.2 Транспорт горно-обогатительной фабрики	13
2.3 Рекультивация нарушенных земель	14
3. Технология производства	15
3.1 Сырьевая база, характеристика сырья	15
3.2 Режим работы цехов	16
3.3 Выбор и обоснование технологической схемы	17
3.4 Выбор и расчет дробления	19
3.6 Выбор схемы измельчения и флотационного обогащения	26
3.8 Оборудование для перекачки пульпы	36
4. Реагентный режим	39
4.1 Выбор и назначения реагентов для флотационного обогащения	39
5. Охрана труда и безопасность жизнедеятельности	<b>ed.</b>
5.1 Вредные вещества	36
5.2 Мероприятия по защите от шума и вибрации	37
5.3 Пожарная безопасность	38
Заключение	39
Список использованной литературы	40

## ВВЕДЕНИЕ

Основной отраслью, на которую приходится 19,2% промышленного производства Казахстана, является горно-металлургическая промышленность [1].

Богатый различными видами сырья, Казахстан занимает 11-е место в мире: 11-е место по производству меди и 12-е по запасам, 8-е место по производству цинка и 5-е по запасам, а также 1-е место по разведанным запасам свинца.

Цветные металлы, являющиеся неотъемлемой частью повседневной жизни наряду с черными, составляют основу металлургической промышленности Казахстана, в структуре производства которой черная металлургия составляет 28,9 %, а благородная и цветная - 70,9 %. Такое распределение отражает суть добычи металлов и их промышленного применения.

Вспомните такие предметы нашего обихода, как трансформаторы, пластиковые окна, автомобили и электроника; все они производятся из таких металлов, как медь, свинец и цинк [4].

Эти металлы, незаменимые для современных удобств, подчеркивают экономическую целесообразность их производства. От вождения автомобилей до просмотра телепередач и совершения мелких покупок - эти металлы незаменимы, а значит, экономически выгодны.

Данная дипломная работа посвящена разработке проекта обогатительной фабрики для переработки полиметаллических руд Малеевского месторождения. При использовании технологии фабрики прогнозируемые годовые объемы производства следующие:

- медный концентрат: 17 200 т/год;
- свинцовый концентрат: 32 000 тонн/год;
- цинковый концентрат: 61,000 тонн/год.

## 1 Характеристика предприятия

Компания «Казцинк», основанная в 1997 году в результате объединения казахстанских горно-обогатительных предприятий в Восточно-Казахстанской области, является значимым игроком в металлургической отрасли и может похвастаться значительными объемами производства цинка, свинца, меди и драгоценных металлов. Основой его деятельности является Алтайский горно-обогатительный комбинат, стратегически расположенный к северо-западу от города Алтай, находящегося в 120 километрах к юго-востоку от Усть-Каменогорска. Доступный как по железной, так и по автомобильной дороге, Алтайский ГОК служит жизненно важным узлом, соединяющим региональный центр.

На этом комплексе происходит тщательная переработка различных руд, включая полиметаллические и медно-цинковые руды Малеевского месторождения, а также медных шлаков и клинкера цинкового производства. Полученные концентраты, обогащенные цинком, свинцом, медью и золотом, отправляются на Усть-Каменогорский металлургический комплекс.

В 2019 году на обогатительной фабрике была проведена масштабная модернизация отделения измельчения и флотации. Благодаря интеграции передовых флотационных машин Outotec, оснащенных автоматикой, повысилась эффективность производства. Этот технологический скачок не только повысил уровень извлечения металлов, но и сократил производство отходов, в частности хвостов [4].

Расположенная примерно в трех километрах от центра города, обогатительная фабрика имеет пологий рельеф, спускающийся под углом 20-22 градуса с юго-востока на северо-запад. Автомагистраль соединяет площадку с городом Алтай, обеспечивая бесперебойную логистику.

В 1791 году Герасим Зырянов случайно открыл Зыряновское месторождение, положив начало горным работам, направленным на добычу руды из поверхностных выходов. На протяжении начала-середины XIX века преобладающим методом обогащения руды оставалась ручная сортировка, способствовавшая ее обогащению перед обжигом и плавкой.

В 1892 году в Зыряновске был основан гидрометаллургический завод, что стало значительным шагом в развитии промышленности региона. Одновременно начались работы по строительству первой флотационной обогатительной фабрики, которая была введена в эксплуатацию в советское время 15 мая 1931 года. Примечательно, что оценка обогатимости зыряновских полиметаллических руд вышла за пределы СССР, вызвав международный интерес и сотрудничество.

В поисках оптимального обогащения сульфидных руд предпочтение было отдано методу Шеридана. Он предусматривал первоначальное подавление сфалерита с помощью цианида и цинкового купороса, а затем его активацию с помощью медного купороса - процесс, тщательно выверенный для повышения эффективности.

В дополнение к этим достижениям была построена система водозабора для обеспечения комбината необходимой промышленной водой, что позволило



обеспечить бесперебойную работу и устойчивое развитие.

## **1.1 Основные технологические проектные решения**

Процесс обогащения полиметаллической руды Малеевского месторождения основан на методе гравитационно-селективной флотации, применяемом на обогатительной фабрике Алтайского ГОКа.

Центральное место в технологии занимают два ключевых цеха, расположенных в структуре основной фабрики: цех измельчения и цех коллективно-селективной флотации.

Неотъемлемой частью производства являются лаборатории, в которых проводится тщательный анализ руды. С помощью тщательных тестов лаборатории определяют концентрацию основных металлов, таких как медь, свинец и цинк, а также наличие сопутствующих металлов, что позволяет оптимизировать процесс обогащения.

## **1.2 Состав обогатительной фабрики**

Проект обогатительной фабрики включает в себя ряд основных сооружений, предназначенных для эффективного выполнения технологического процесса переработки руды. Эти здания включают в себя помещения для первичного приема руды, за которыми следуют последовательные стадии крупного, среднего и мелкого дробления для подготовки материала к дальнейшей переработке.

Секция предварительного обогащения служит для рафинирования руды перед ее поступлением в главное здание, где расположены важнейшие цеха измельчения и флотации.

## **1.3 Характеристика перерабатываемой руды**

Полиметаллическая руда Малеевского месторождения состоит преимущественно из навалной руды, от 45% до 55%, причем баритовая руда составляет от 65% до 80% ее состава. В составе этой руды черновые породы обычно составляют от 30 до 45 % от общего объема, иногда достигая 50-55 %. Эти черновые породы состоят в основном из тонкозернистых порфириров, разнозернистых кварцитов и кварц-карбонат-хлорит-термолитовых пород различного состава.

Порфириды часто содержат незамкнутые секущие жилы жильного кварца и хлорит-карбонат-кварцевые жилы, вмещающие рассеянно-гнездовую и вкрапленную сульфидную минерализацию. Иногда эти сульфидные гнезда проявляются в виде крупнокристаллических агрегатов, среди которых в

полиметаллических рудах преобладает галенит, а в медно-цинковых – халькопирит [6].

Формирование полиметаллических руд на Малеевском месторождении можно разделить на пять основных стадий: железо-угольную, медно-угольную, медно-цинковую, полиметаллическую и барит-полиметаллическую. Границы этих стадий нечеткие, составы плавно смешиваются и постепенно переходят один в другой. Кроме того, в руде наблюдаются прослои более ранних брекчированных руд, в том числе железо-угольных, медно-угольных и медно-цинковых составов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Образец полиметаллической руды Малеевского месторождения

В медно-цинковых рудах можно наблюдать различные включения полиметаллических руд, проявляющиеся в разнообразных формах и текстурах. Эти включения проявляются в виде прослоев, расположенных в соответствии с основным направлением минерализации, ветвящихся жил различной длины и толщины, а также прерывистых цепочек или изолированных участков, похожих на пятна.

Непрерывные руды демонстрируют спектр текстур в различных образцах и областях внутри образцов: от массивных до брекчированных, линейно-полосчатых, пятнисто-лепестковых и прожилковоподобных структур. Примечательно, что следы окислительных пленок ковеллит-борита были обнаружены в открытых трещинах и микротрещинах руды, а также на отработанных поверхностях фрагментов медьсодержащей руды.

В некоторых образцах встречаются прожилки переотложенных крупнозернистых сульфидов пластинчатой формы, на открытых поверхностях которых иногда наблюдаются зеркала скольжения. Очевидна неоднородность состава полиметаллических руд с постепенными переходами между различными группами компонентов.

От пиритсодержащих и баритсодержащих свинцово-цинковых составов к полиметаллическим и барит-полиметаллическим, далее переходящим в цинк-пирит-медь-цинк-медь-уголь-железо-угольные составы (рисунок 1).



Рисунок 2 – Пирит-содержащий и барит-содержащий свинцово-цинковый состав – полиметаллический и барит-полиметаллический

Кроме того, наблюдается постепенный переход от малоразбросанных и рассеянных руд к плотно распределенным и компактным рудам. Что касается структуры руды, то она имеет мозаичный состав, в основном характеризующийся средними и мелкими зернами (рисунок 2,3).

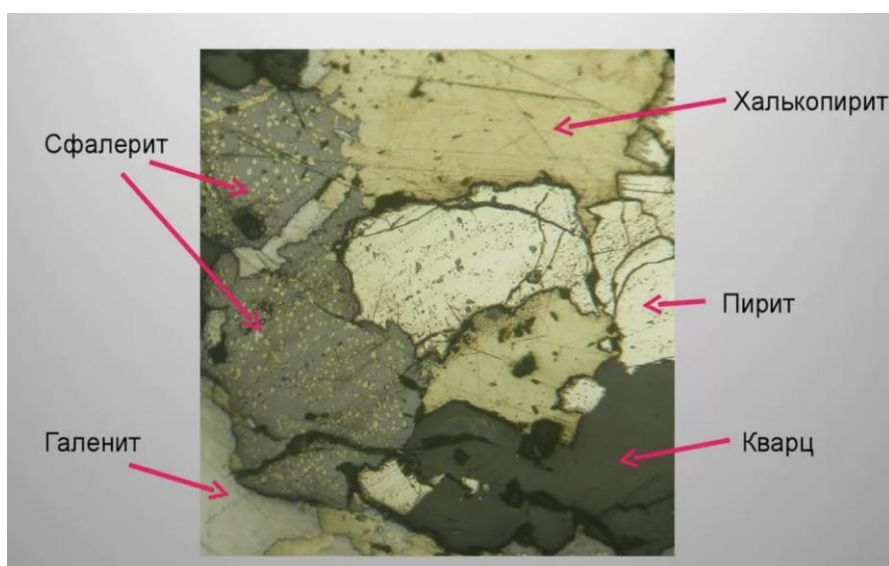


Рисунок 3 – Структура руды

Руды имеют разнообразную текстуру и представлены в различных формах, таких как массивная, линейно-полосчатая, полосчатая и пятнистая. Это обуславливает неравномерное распределение компонентов с попеременным преобладанием в разных частях руды. Полиметаллические руды тесно переплетаются с остатками медно-цинковых, медно-угольных и железно-угольных руд, создавая сложную мозаику минерального состава.

В брекчированных рудах, образовавшихся в результате одновременной трещиноватости при минерализации, брекчия состоит преимущественно из медных, медно-угольных и иногда медно-цинковых руд. Цементирующий материал различается в зависимости от состава руды: в медно-угольных рудах преобладает халькопирит, а в медно-цинковых и полиметаллических - полиметаллический и цинк-пиритовый.

Основные компоненты руды, в порядке убывания их содержания, включают пирит, сфалерит, халькопирит, галенит и теннантит. В разных участках руды эти компоненты преобладают по-разному, а в свинцово-цинковых рудах теннантит иногда выступает в качестве основного медного компонента. Кроме того, металлические и неметаллические компоненты наблюдаются в относительно крупных мономинеральных агрегатах и включениях разного размера.

Вторичные компоненты включают такие минералы, как арсенопирит, магнетит, пирротин, кубанит, бетехтинит и гипогенный борнит. Кроме того, присутствуют ультратонкие, тонкие и пылевидные благородные компоненты, такие как золото, электрум и серебро, которые вносят свой вклад в сложный состав руд.

## 2 Генеральный план и транспорт

### 2.1 Характеристика района и площадки строительства

Обогатительная фабрика расположена к северо-западу от города Алтай в Восточно-Казахстанской области, примерно в 120 километрах к юго-востоку от Усть-Каменогорска. Расположенная примерно в трех километрах от центра города, площадка обогатительной фабрики имеет рельеф, наклоненный под углом 20-22 градуса с юго-востока на северо-запад (рисунок 4).

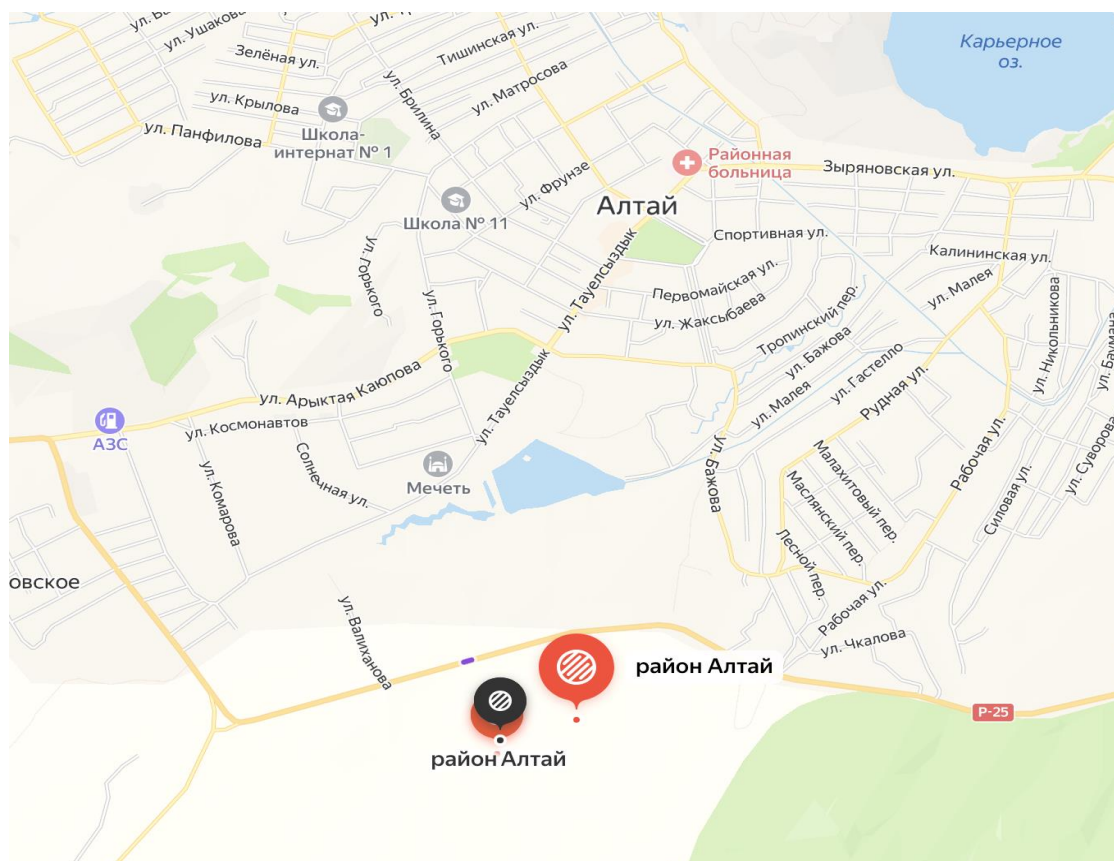


Рисунок 4 - Расположение горно-обогатительной фабрики

### 2.2 Транспорт горно-обогатительной фабрики

На комбинате хорошо развита транспортная инфраструктура, включающая погрузку, разгрузку и транспортировку руды от месторождения до комбината. Варианты внешнего транспорта включают в себя железнодорожные и автомобильные сети.

Попадая на фабрику, руда проходит последовательную обработку. Сначала она поступает в дробилку крупного дробления, где измельчается на более мелкие куски. Затем крупнодробленая руда по конвейеру подается в бункер, откуда с помощью питателя поступает в дробилку среднего и мелкого дробления. После того как руда прошла стадии дробления и обогащения, она

собирается на общем конвейере и направляется в бункер секции измельчения и флотации.

Реагенты поступают на склады УМТК в различных упаковках (бочках, мешках, контейнерах и цистернах). Каждая новая партия должна поступать с сертификатами, в которых указывается содержание активного вещества и примесей, вес брутто-нетто, номер партии и завод-изготовитель.

На обогатительную фабрику реагенты доставляются автомобильным и железнодорожным транспортом ежедневно в рабочие дни с учетом обеспечения бесперебойной работы обогатительной фабрики в течение трех дней. Размещаются реагенты в приемные бункера и отсеки для временного хранения. Отсеки временного хранения реагентов идентифицированы, и размещение осуществляется строго по наименованиям реагентов, исключая их смешивание. Доставка реагентов со склада в отделение приготовления реагентов осуществляется при помощи грузоподъемных механизмов.

Контроль качества поступивших реагентов осуществляется в соответствии с Планом входного контроля, который разрабатывается и утверждается ежегодно, в соответствии с установленными требованиями.



Рисунок 5 – Наглядный процесс флотации руды

### **2.3 Рекультивация нарушенных земель**

Подземная разработка месторождения неизбежно приводит к ухудшению состояния окружающей среды, а поверхность земли подвергается деформации. Как строительные, так и эксплуатационные работы нарушают земельные участки, в том числе и хвостохранилище. Однако после окончания строительства проводятся работы по рекультивации нарушенных земель.

### 3 Технология производства

#### 3.1 Сырьевая база, характеристика сырья

Первичная руда Малеевского месторождения включает в себя различные металлы, в том числе медь, цинк, свинец, а также драгоценные металлы, такие как золото и серебро. Кроме того, месторождение содержит следы кадмия, висмута, индия, селена, теллура, сурьмы, мышьяка и других металлов.

Текущие перспективы ТОО «Казцинк» Зырянск» подчеркивают необходимость упреждающих мер, особенно в части геологоразведки. То, что основное горнодобывающее предприятие будет работать только до 2028 года, говорит о необходимости принятия срочных мер. Удивительно, но за последние два десятилетия геологоразведочные работы не проводились, а ведь они начались еще в советское время. Учитывая, что с момента открытия месторождения до его переработки проходит примерно 15-20 лет, это подчеркивает настоятельную необходимость возобновления геологоразведочных работ.

Запасы Малеевского месторождения по состоянию на 1 января 2023 года подробно представлены в таблицах 1-2, что позволяет получить критическое представление о ресурсном потенциале месторождения.

Таблица 1 – Количество запасов руды на месторождении по категориям В+С1

Общее количество запасов, тыс.тонн	Запасы полезных компонентов в руде, тыс.тонн			Запасы полезных компонентов в руде, тонн		Среднее содержание металл в руде, %			Среднее содержание металл в руде, г/т	
	Zn	Pb	Cu	Ag	Au	Zn	Pb	Cu	Ag	Au
35,548,0	2,742	439,3	845,9	2,7	18,4	7,72	1,24	2,38	76,97	0,52

Таблица 2 - Количество запасов руды на месторождении по категориям С2

Общее количество запасов, тыс.тонн	Запасы полезных компонентов в руде, тыс.тонн			Запасы полезных компонентов в руде, тонн		Среднее содержание металл в руде, %			Среднее содержание металл в руде, г/т	
	Zn	Pb	Cu	Ag	Au	Zn	Pb	Cu	Ag	Au
2,472,0	195,4	45,3	23,8	99,9	1,6	7,90	1,83	23,8	40,41	1,6

Добыча на Малеевском месторождении ведется преимущественно подземным способом, который осуществляется четырьмя вертикально расположенными шахтами: Малеевская, Скиповая, Вентиляционная и Воздухововлекающая. Кроме того, в добыче участвуют этажные выработки 11-

го и 14-го горизонтов. При проектной мощности в 2 250 тысяч тонн руды в год запасов месторождения хватит примерно на 19 лет с учетом постепенного снижения объемов добычи [6].

На Малеевском месторождении преобладают различные типы руд, каждый из которых обладает уникальными преимуществами. К ним относятся цинковая руда, барит-цинково-свинцово-медная руда, свинцово-цинковая руда, барит-цинково-свинцово-медно-цинковая руда и медно-цинково-свинцовая руда. Общий состав руды месторождения характеризуется соотношением Cu, Zn и Pb на уровне 2,2:7,6:1,0 соответственно, что отражает различную концентрацию этих ключевых элементов.

Подробные сведения о химическом составе руды Малеевского месторождения приведены в таблице 3. Эти данные содержат важнейшую информацию, необходимую для понимания минералогических характеристик месторождения и требований к его переработке [6].

Таблица 3 – Химический состав руды Малеевского месторождения

Элемент	Содержание, %	Элемент	Содержание, %
Cu	0,3	As	0,17
Pb	1,05	Sb	0,034
Zn	1,75	Ba	18,20
Fe	15,03	S общая	24,44
Au, г/т	0,70	S сульфидная	19,42
Ag, г/т	163,60	SiO <sub>2</sub>	11,46
Cd	0,06	K	0,23
Bi	0,017	CaO	2,94
Mo	0,0091	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,09
Hg	0,002	Na	0,32
Se	0,0012	MgO	1,30
Te	0,0001		

### 3.2 Режим работы цехов

На обогатительной фабрике для переработки всех типов руд используются дробильные машины, грохоты, тяжелосредные конусные сепараторы, конвейера, пластчатые питатели, мельницы, отсадочные машины, классификаторы, гидроциклоны, флотационные машины, концентрационные столы, центробежные концентраторы, сгустители и фильтры.

Дробильные машины применяются для сокращения размеров кусков исходного (крупно – кускового) материала до крупности, требуемой для измельчения.

Грохоты – это аппараты, снабженные просеивающей поверхностью, предназначенные для разделения кускового и сыпучего материала по крупности.

Конусные сепараторы – это аппараты, предназначенные для разделения



крупнокускового материала по плотности в тяжелой суспензии, имеющей промежуточную плотность между плотностями разделяемых минералов.

Конвейеры, пластинчатые питатели предназначены для транспортирования и равномерной подачи руды и концентратов по операциям.

Мельницы - это аппараты, состоящие из цилиндрического барабана с торцевыми крышками, имеющие пустотелые цапфы (горловины), опирающиеся на подшипники и служащие для уменьшения размера кусков до крупности, требуемой для раскрытия минералов.

Классификаторы, гидроциклоны – классифицирующие аппараты, разделяющие продукты обогащения на классы крупности: тонкий (слив) и крупный (пески).

Отсадочные машины – это аппараты, предназначенные для разделения смеси минеральных частиц в водной среде под воздействием пульсирующего потока подрешетной воды в вертикальном направлении, а также колебания сита.

Флотационные машины - это аппараты, применяемые при флотационном процессе обогащения, служат для перемешивания пульпы и насыщения воздухом, который диспергируется на мелкие пузырьки.

Концентрационные столы – это аппараты, предназначенные для разделения минеральных частиц по плотности в тонком слое воды на наклонной плоскости (деке), совершающей возвратно – поступательные движения в горизонтальной плоскости.

Струстители и фильтры обеспечивают удаление влаги, содержащейся в продуктах процессов мокрого обогащения.

### **3.3 Выбор и обоснование технологической схемы**

Основной технологический процесс обогащения показан на рисунке 6, где изображена серия операций, направленных на рудоподготовку:

- дробление происходит в три стадии, с предварительным мокрым грохочением на второй и третьей стадиях для достижения номинальной крупности 10 мм;

- обезвоживающее грохочение и классификация проводятся для отделения первичных шламов и подготовки машин класса -60+7 мм к тяжелому и среднему обогащению;

- предварительная подготовка осуществляется в конусном тяжелосреднем сепараторе перед третьей стадией дробления для удаления легкой фракции, содержащей ценные компоненты;

- измельчение происходит в две стадии с классификацией в гидроциклонах. На первой стадии содержание менее 74 микрон достигается в 51% материала, на второй - в 80%;

- шламовая флотация включает в себя разделение концентрата на шламовом рекультиваторе, объединение его со стоком с первой стадии измельчения и подачу на основную установку коллективной Cu-Pb флотации;

- коллективная Cu-Pb флотация включает в себя две основные, две

контрольные и три рекомбинационные операции. Полученный концентрат подвергается селективной флотации, а хвосты поступают в цинковый цикл;

- цинковый цикл включает разделение цинковой головки, основную коллективную Zn-Py флотацию и две контрольные Zn-Py флотации. Концентрат из основной коллективной Zn-Py флотации измельчается до содержания 80% - 0,040 мм перед основной Zn флотацией. Хвосты этого процесса возвращаются на контрольную флотацию, а концентрат обрабатывается для получения кондиционного Zn-концентрата;

- наконец, концентраты подвергаются двухстадийному обезвоживанию путем сгущения и фильтрации.

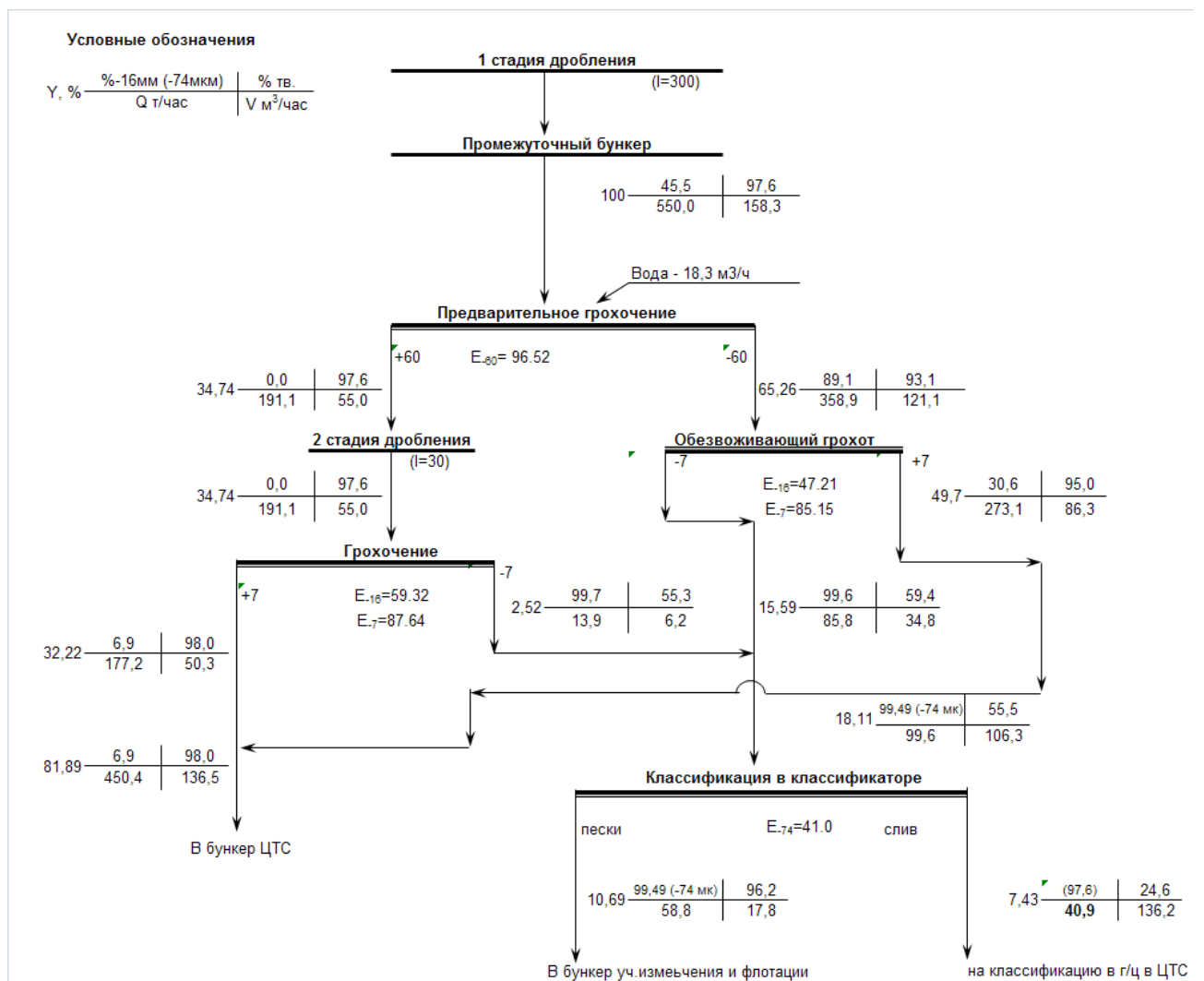


Рисунок 6 – Качественно-количественная схема рудоподготовки

### 3.4 Выбор и расчет дробления

При дроблении используются четыре основных способа: удар, истирание, раскалывание, сжатие. В какой-либо одной дробилке преобладает тот или иной способ, а чаще имеет место сочетание этих способов.

Технологически различают операции крупного, среднего и мелкого дробления. Этим операциям соответствуют конструкции дробилок, в которых сокращение крупности происходит по стадиям. При крупном дроблении размер кусков доводят до 500-200 мм; при среднем дроблении – до 150-80 мм; при мелком дроблении – до 25 мм и меньше.

На участке дробления установлены дробилки:

- для крупного дробления – ЩДП-1500\*2100 «Тельман»; ЩД YG1349EW86 ;
- для среднего дробления – КСД-2200, КСД-2200 ГР;
- для мелкого дробления – КМД-1750.

Таблица 4 - Технические характеристики дробилок КСД-2200, КСД-2200 ГР, КМД-1750

Наименование	Единицы измерения	Показатели
<b>Дробилка щековая «Тельман»</b>		
Загрузочное отверстие	мм	2120x1500
Габариты:       длина	мм	7000
ширина	мм	6000
высота	мм	5700
Общий расход электроэнергии в процессе работы	кВт	160
Загрузочное отверстие	мм	2120x1500
Габариты:       длина	мм	7000
ширина	мм	6000
высота	мм	5700
Общий расход электроэнергии в процессе работы	кВт	160
Часовая производительность:		
при ширине щели 150 мм	м <sup>3</sup> /час	180
при ширине щели 180 мм	м <sup>3</sup> /час	340
<b>Дробилка КСД-2200</b>		
Ширина загрузочной щели	мм	350
Ширина разгрузочной щели	мм	25-35
Производительность, в зависимости от размера разгрузочной щели	м <sup>3</sup> /ч	120-340
Режим работы	час	21
<b>Дробилка КМД-2200</b>		



крупности дроблёного продукта. Грохочение может служить подготовительной операцией перед отдельным обогащением материала по классам крупности и является самостоятельной операцией при сортировке по крупности товарной продукции. В различных мокрых процессах обогащения грохочение применяют для обезвоживания продуктов.

Для грохочения на участке дробления и обогащения руд в тяжёлых суспензиях применяются самобалансные грохота ГР-259М и ГР-253М.

Прямолинейные колебания короба самобалансного грохота создаются вибратором, состоящим из двух параллельных валов с дебалансами, вращающихся через зубчатую передачу в противоположные стороны с одинаковой частотой вращения. Короб получает импульсы, направление которых по заданной наклонной оси изменяется через каждые пол-оборота дебаланса. Материал на горизонтальном сите подбрасывается и продвигается по параболическим траекториям в сторону разгрузки. Работа грохота отличается высокой эффективностью.

Технические характеристики грохотов приведены в таблице 5.

Для классификации и обезвоживания песков на участке дробления и обогащения руд в тяжёлых суспензиях применяются классификаторы 2КСП-12 и гидроциклоны ГЦ-500.

#### **Спиральный классификатор.**

Спиральный классификатор представляет собой наклонное (до  $18^{\circ}$ ) корыто в форме полуцилиндра, в котором вращаются одна или две спирали.

У классификаторов с не погруженными спиралями верхняя половина витка спирали выступает над зеркалом пульпы. Они применяются для классификации продукта крупнее 0,2 мм.

Спиральный классификатор работает по принципу разделения питания в горизонтальном потоке на крупную фракцию (пески) и на мелкую (слив). Разделение происходит по гидравлической крупности (по скорости падения). Смесь рудных частиц различной крупности и плотности располагается слоями. В нижний слой попадают крупные частицы тяжёлого минерала и самые крупные лёгких минералов.

Этот осевший песковый материал передвигается вверх спиралями и механически разгружается в приёмник и далее на транспортёр. Верхний слой пульпы, состоящий из тонких тяжёлых частиц и мелких лёгких частиц, переливается через сливной порог классификатора.

Заданная крупность слива регулируется степенью разжижения пульпы. В жидкой пульпе увеличивается скорость осаждения крупных частиц, поэтому слив получается более тонким, в плотной пульпе осаждение замедляется, а слив загрубляется. При неизменном питании подача воды в классификатор поддерживается постоянной. Максимальная крупность питания больших классификаторов составляет 12 мм.

#### **Гидроциклоны.**

Гидроциклон состоит из цилиндроконического корпуса, питающего и сливного патрубков, песковой насадки и сливной трубы. Угол конусности равен  $20^{\circ}$ . Питающий патрубок с тангенциальным вводом питания устанавливается в



Продолжение таблицы 5

Наименование	Единицы измерения	Показатели
Диаметр песковой насадки	мм	55;80
Гидроциклон 15 СЕ-10 (во II стадии измельчения 1-2 и 3 секции)	градус	10
Диаметр входной насадки	мм	103
Диаметр сливной насадки	мм	127
Диаметр песковой насадки	мм	55
Гидроциклон ГЦ-500		
Диаметр гидроциклона	мм	500
Общая производительность, при Н=1 кг/см <sup>2</sup>	м <sup>3</sup> /ч	не менее 100
Угол конусности	градус	20
Диаметр пескового отверстия	мм	36-80
Диаметр сливного отверстия	мм	90-120
Эквивалентный диаметр питающего отверстия	мм	0,12-0,18 Д
Гидроциклон ГЦ П-360		
Диаметр гидроциклона	мм	360
Общая производительность, при Н=1 МПа, не менее	м <sup>3</sup> /ч	95
Угол конусности	градус	20
Диаметр пескового отверстия	мм	50;55
Диаметр сливного отверстия	мм	110;115
Гидроциклон ГЦР-380		
Диаметр гидроциклона	мм	380
Общая производительность, при Н=1 МПа, не менее	м <sup>3</sup> /ч	95
Угол конусности	градус	10
Диаметр пескового отверстия	мм	36-80
Диаметр сливного отверстия	мм	90-120
Гидроциклон ГЦП-250		
Диаметр гидроциклона	мм	250
Общая производительность, при Н=1 МПа, не менее	м <sup>3</sup> /ч	65
Угол конусности	градус	10
Диаметр пескового отверстия	мм	17-50
Диаметр сливного отверстия	мм	70-80
Гидроциклон ГЦП-150		
Диаметр гидроциклона	мм	150
Общая производительность, при Н=1 МПа, не менее	м <sup>3</sup> /ч	55

Продолжение таблицы 5

Наименование	Единицы измерения	Показатели
Угол конусности	градус	7
Диаметр сливного отверстия	мм	25
Гидроциклон 500 CVX-10		
Диаметр гидроциклона	мм	500
Общая производительность, при Н=1 МПа, не менее	м <sup>3</sup> /ч	180-200
Угол конусности	градус	10
Диаметр пескового отверстия	мм	55-65
Диаметр сливного отверстия	мм	185
Гидроциклон 250 CVX-20		
Диаметр гидроциклона	мм	250
Общая производительность, при Н=1 МПа, не менее	м <sup>3</sup> /ч	70
Угол конусности	градус	20
Диаметр пескового отверстия	мм	45-60
Диаметр сливного отверстия	мм	110
Гидроциклон Cavex 150		
Диаметр гидроциклона	мм	150
Угол конусности	градус	6
Диаметр пескового отверстия	мм	22-30
Диаметр сливного отверстия	мм	60
Гидроциклон Cavex 250		
Диаметр гидроциклона	мм	240
Угол конусности	градус	10

**Вспомогательное оборудование.**

Таблица 6 - Технические характеристики вспомогательного оборудования

Наименование	Единицы измерения	Показатели
Пластинчатый питатель 1200		
Ширина полотна	мм	1200
Длина рабочей части полотна	мм	6000
Скорость движения полотна	м/сек	0,15-0,2-0,3
Угол подъема наибольший	град	15
Наибольший насыпной вес транспортируемого материала	т/м <sup>3</sup>	2,4 (до 3,15)
Размеры:		
длина	мм	7730
ширина	мм	4560
высота	мм	1592
Пластинчатый питатель 2400		





### 3.6 Выбор схемы измельчения и флотационного обогащения

В процессе обогащения руды ключевую роль играет измельчение. Для этого используется двухстадийный процесс измельчения в сочетании с трехстадийной классификацией продукции мельницы с помощью гидроциклонов. Руда подвергается измельчению в мельницах, переходит к первичной Cu-Pb флотации, а хвосты этой стадии флотации - к III стадии классификации. Пески направляются на II стадию измельчения, а стоки поступают на II стадию первичной Cu-Pb флотации.

Концентраты повторного обогащения Cu, контрольной флотации Cu и повторного обогащения Zn подвергаются сгущению, после чего сгущенный продукт фильтруется. Очищенный продукт, готовый к продаже, поступает в металлургический цех для дальнейшей переработки.

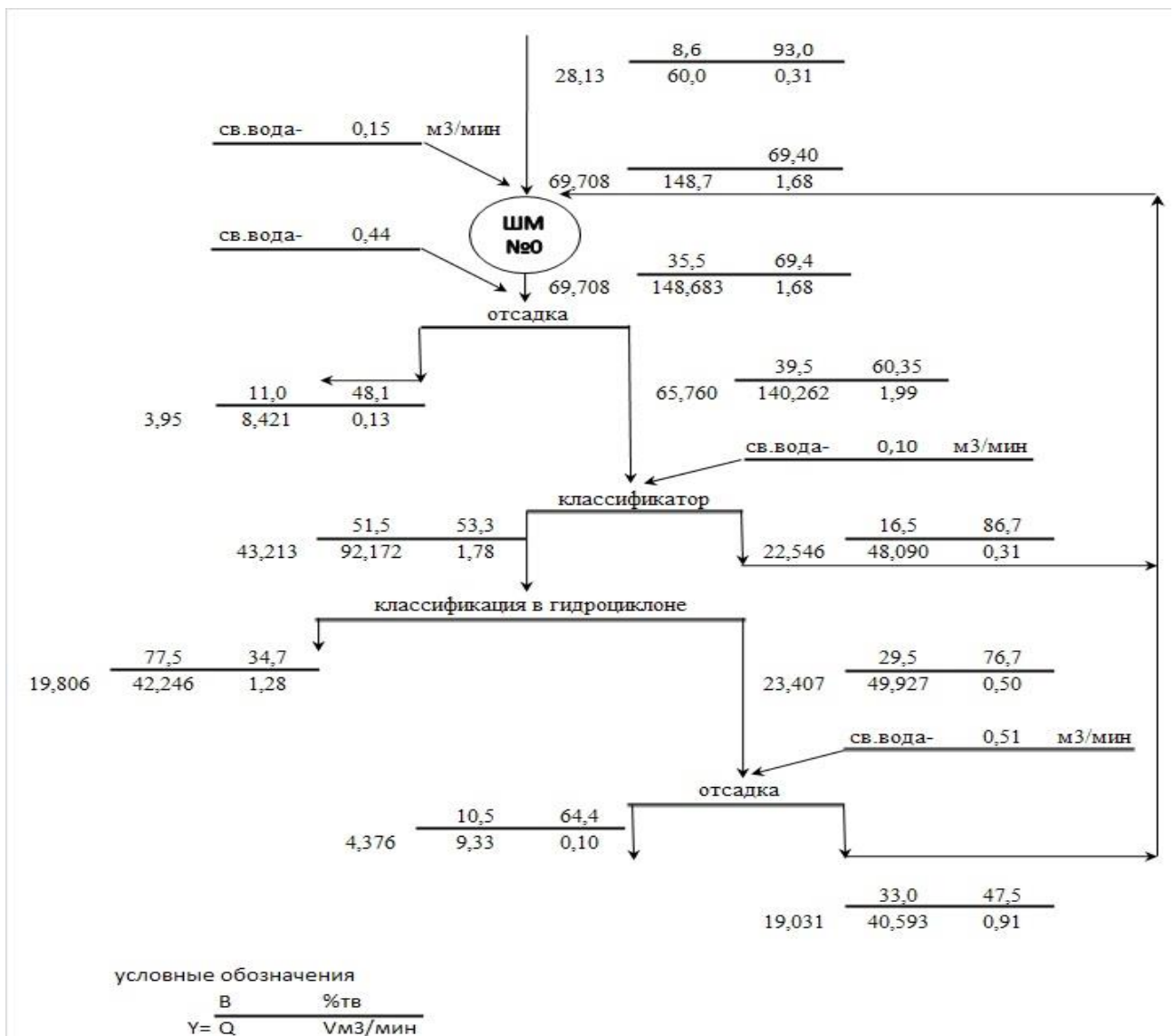


Рисунок 7 (а) – Схема измельчения полиметаллической руды Малеевского месторождения на 1-2 секции

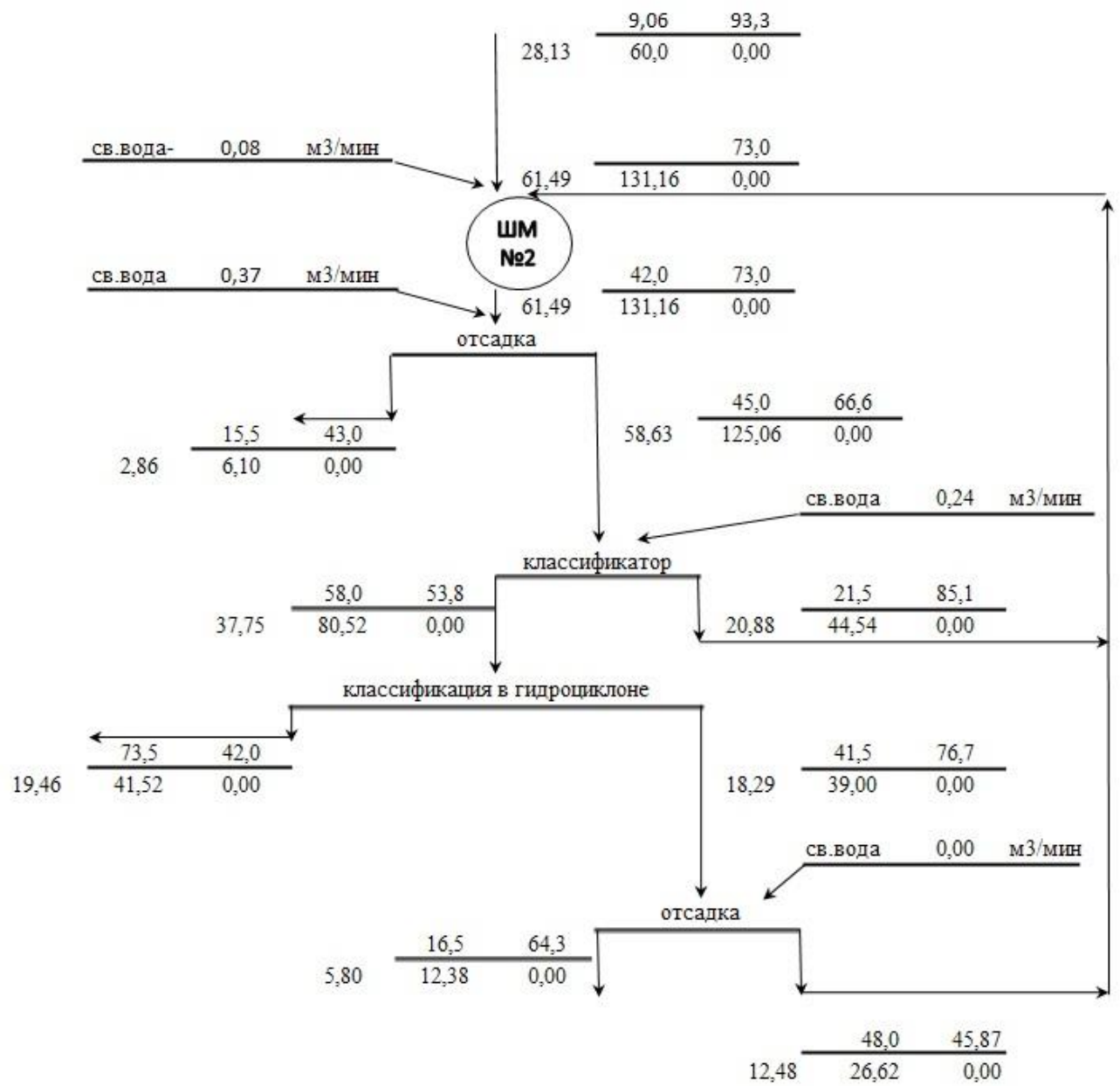


Рисунок 7 (б) – Схема измельчения полиметаллической руды Малеевского месторождения на 1-2 секции

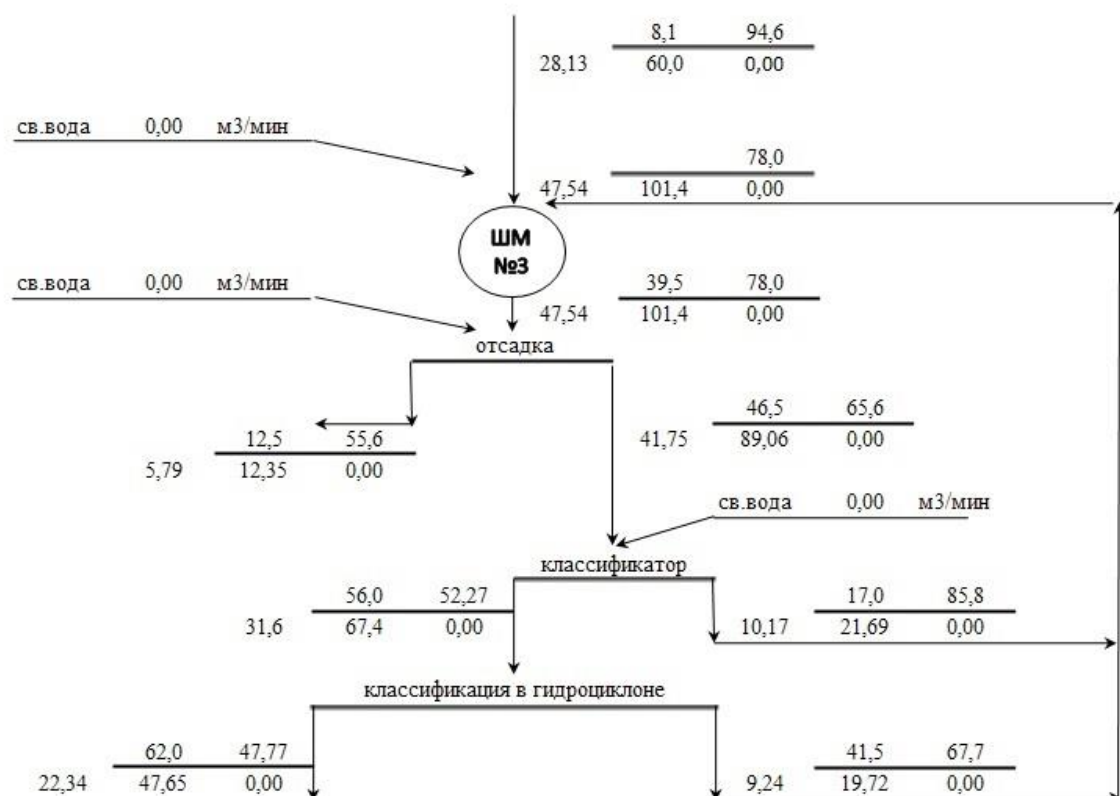


Рисунок 7 (в)– Схема измельчения полиметаллической руды Малеевского месторождения на 1-2 секции

На участке измельчения и флотации, для измельчения руды и доизмельчения промпродуктов, установлены шаровые мельницы с разгрузкой через решётку (МШР 3200\*3900, МШР 2100\*3000, МШР 2700\*3600), мельницы ультратонкого измельчения SMD355.

Барабанная мельница представляет собой цилиндрический барабан с торцевыми крышками и пустотелыми цапфами. Исходный материал загружается через загрузочную цапфу, а измельчённый продукт разгружается через разгрузочную цапфу. Цапфы опираются на подшипники, и барабан мельницы вращается вокруг горизонтальной оси.

Барабаны мельниц и торцевые крышки футеруют внутри плитами из износостойкой стали (марганцовистой, хромистой и др.). Толщина плит для больших мельниц составляет 120 мм. Футеровка крепится к барабану болтами или стальными полосами в зависимости от её конструкции. Применяют футеровку различного профиля. У шаровых мельниц разгрузка измельчённого материала принудительная: пульпа проходит через решётку с радиальными рёбрами, обращёнными к торцевой крышке.

Рёбра делят пространство между решёткой и крышкой на секторные камеры, открытые в горловину, и действуют, как лифты, поднимая пульпу до уровня горловины [4].

Барабан мельниц приводится во вращение через зубчатую передачу: малой шестерней на приводном валу электродвигателя, сцеплённой с зубчатым венцом



Продолжение таблицы 7

Наименование	Единицы измерения	Показатели
Мельница шаровая SMD-355		
Рабочий объем	м <sup>3</sup>	6
Размеры барабана (без футеровки):		
ширина	мм	2800
длина	мм	2800
полная высота	мм	5990
Частота вращения импеллера	об/мин	400
Электродвигатель:		WEG
тип		
мощность	кВт	355
частота вращения	об/мин	1470
Шаровая загрузка	т	3-8
Максимальная производительность	м <sup>3</sup> /час	200

Для расчета количественной схемы измельчения зададимся содержанием готового класса в продуктах измельчения и известными выходами:  $\beta_0^{-74}=12\%$ ;  $\beta_2^{-74}=26\%$ ;  $\beta_3^{-74}=50,18\%$ ;  $\beta_4^{-74}=9\%$ ;  $\beta_5^{-74}=41\%$ ;  $\beta_6^{-74}=11\%$ ;  $\beta_7^{-74}=6\%$ ;  $\beta_8^{-74}=77\%$ ;  $\beta_9^{-74}=22\%$ ;  $\beta^{-74}=36\%$ ;  $\gamma_0 = \gamma_5 = \gamma_8 = 69,22\%$ ;

Результаты расчета сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Показатели продуктов измельчения и гравитации

продукт	Выход, %
$\gamma_0$	69,22
$\gamma_1$	169,6
$\gamma_2$	169,6
$\gamma_3$	98,13
$\gamma_4$	81,77
$\gamma_5$	72,43
$\gamma_6$	24,9
$\gamma_7$	227,32
$\gamma_8$	62,13
$\gamma_9$	150,03

Процесс флотации осуществляется во флотационных машинах, где пульпа перемешивается и насыщается диспергируемым воздухом. Пузырьки равномерно распределяются по объёму камеры и минерализуются частицами с гидрофобной поверхностью. Конструкция флотационной машины должна обеспечивать создание спокойной зоны пенообразования на поверхности пульпы с максимально возможной её аэрацией и диспергацией.

По способу перемешивания и аэрации пульпы флотационные машины разделяются на механические, пневмомеханические и пневматические.

На участке измельчения и флотации установлены флотационные машины механического и пневмомеханического типа. Технические характеристики флотомашин представлены в таблице 8.

В механических флотомашинах перемешивание пульпы и засасывание воздуха производятся импеллером. Механическая флотомашина состоит из камеры и блока аэратора. Импеллер представляет собой диск с шестью радиальными лопатками. Статор состоит из диска с отверстиями и лопаток, установленных под углом  $60^{\circ}$ . Циркулирующий поток пульпы поступает на импеллер через отверстие в диске статора. Пульпа движется самотёком из приёмного кармана машины в полость импеллера, где происходит её аэрация. Съём образовавшийся пены производится пеносъёмником. Разгрузка пульпы из последней камеры осуществляется через карман с шибером. Шибер предназначен для регулирования уровня пульпы.

Во флотомашинах механического типа задняя стенка камеры выполнена изогнутой в сторону пенного порога. Такое устройство устраняет застаивание пены в задней части камеры и ускоряет съём пены.

Пневмомеханические флотационные машины РИФ 16; РИФ 8,5; РИФ 1,5; ТС 6,5; ТС-30; ОК-8; ОК-3;

В машинах этого типа воздух подаётся от воздуходувки с избыточным давлением 0,01-0,04 МПа. Импеллер предназначен для диспергирования воздуха и перемешивания пульпы.

Испытаниями пневмомеханических машин на различных сортах и типах руд установлено, что их применение позволяет повысить скорость флотации в 1,3-1,5 раза и сократить удельный расход электроэнергии на 15-20% по сравнению с механическими флотомашинами.

Преимущество флотационной машины с коническим аэратором заключается в более высокой эксплуатационной надёжности, меньшей энергоёмкости и металлоёмкости.

Таблица 9 - Технические характеристики флотомашин

Наименование	Единицы измерения	Показатели
Флотомашина РИФ-16		
Вместимость камеры	м <sup>3</sup>	16,0±1,25
Пропускная способность, не более	м <sup>3</sup> /мин	20
Мощность эл. двигателя, на одну камеру	кВт	30 - 37
Удельный объем воздуха на камеру	м <sup>3</sup> /мин	0,9
Расход воздуха на одну камеру, до	м <sup>3</sup> /мин	9,0
Давление воздуха на входе в воздушный коллектор	кПа	350-450
Флотомашина РИФ-8,5		
Вместимость камеры	м <sup>3</sup>	8,5±0,4
Пропускная способность, до	м <sup>3</sup> /мин	10

Продолжение таблицы 9

Наименование	Единицы измерения	Показатели
Флотомашина ФМ-3,2		
Геометрический объем камеры	м <sup>3</sup>	3,2
Рабочий объем камеры	м <sup>3</sup>	3,2
Производительность по потоку пульпы	м <sup>3</sup> /мин	3,5-6
Установленная мощность электродвигателя на одну камеру	кВт	Не более 11
Диаметр импеллера	мм	600
Флотомашина РИФ-1,5		
Вместимость камеры	м <sup>3</sup>	1,5
Пропускная способность, не менее	м <sup>3</sup> *мин-1	1,6
Мощность электродвигателя привода	кВт	11
Объём воздуха засасываемого импеллером до	м <sup>3</sup> *мин-1	5
Номинальное напряжение питания электродвигателя	В	380
Флотомашина ТС-6,5		
Вместимость камеры	м <sup>3</sup>	6,5
Мощность электродвигателя	кВт	14
Диаметр ротора	мм	500
КЧ 25		
Вместимость камеры	м <sup>3</sup>	25
Диаметр чана	мм	3465
Мощность двигателя привода импеллера	кВт	45
Диаметр импеллера	мм	760
Скорость вращения вала импеллера	об/мин	163
Окружная скорость импеллера	м/сек	6,5
Флотомашина ТС-30		
Вместимость камеры	м <sup>3</sup>	30
Пропускная способность, не менее	м <sup>3</sup> *мин-1	30
Мощность электродвигателя привода	кВт	55
Номинальное напряжение питания электродвигателя	В	380
Флотомашина ОК-3		
Вместимость камеры	м <sup>3</sup>	3
Пропускная способность, не менее	м <sup>3</sup> *мин-1	3,1
Мощность электродвигателя привода	кВт	22
Номинальное напряжение питания электродвигателя	В	380
Флотомашина ОК-8		
Вместимость камеры	м <sup>3</sup>	8
Пропускная способность, не менее	м <sup>3</sup> *мин-1	7,9
Мощность электродвигателя привода	кВт	22
Номинальное напряжение питания электродвигателя	В	380



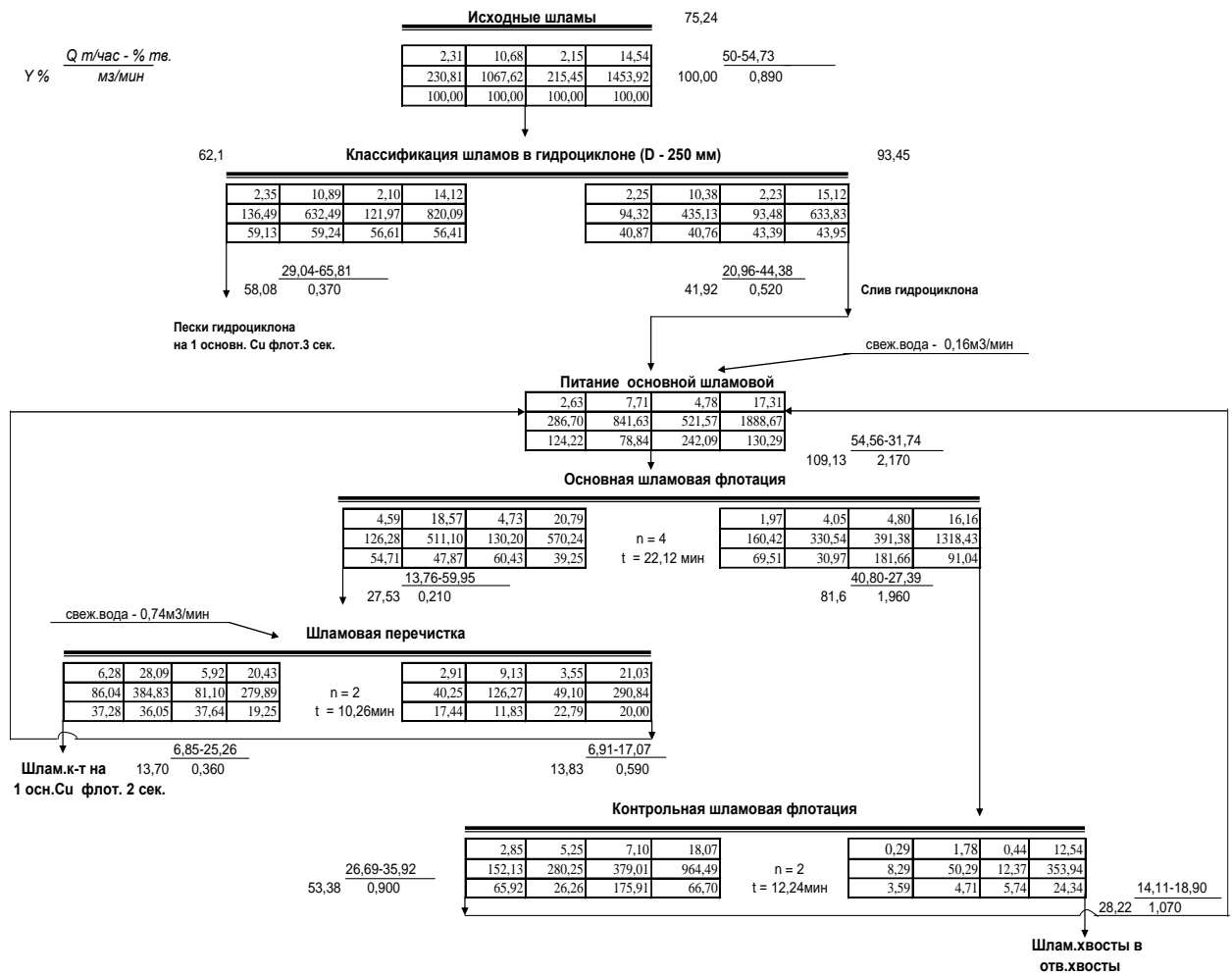


Рисунок 7 - Схема флотационного обогащения

Таблица 10 - Расчет баланса металлов и количественной схемы обогащения

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Cu	Zn	Cu	Zn
Cu концентрат	6,0	15,0	4,0	75,0	7,5
Zn концентрат	5,69	3,5	45	16,60	80,0
Хвосты	88,31	0,11	0,45	8,40	12,50
Руда	100,0	1,20	3,2	100,0	100,0

Исходные данные:

$$\gamma_0 = 100\%, \beta_0^{Cu} = 1,2\%, \beta_0^{Zn} = 3,2\%.$$

$$\gamma_1 = 6,0\%, \beta_1^{Cu} = 15,0\%, \beta_1^{Zn} = 4,0\%.$$

$$\gamma_3 = 5,69\%, \beta_3^{Cu} = 3,5\%, \beta_3^{Zn} = 45,0\%.$$

$$\gamma_4 = 88,31\%, \beta_4^{Cu} = 0,11\%, \beta_4^{Zn} = 0,45\%.$$

Составим систему уравнений баланса.

$$\gamma_2 = \gamma_3 + \gamma_4$$

$$\gamma_2 \beta_2 = \gamma_3 \beta_3 + \gamma_4 \beta_4$$

Решая систему уравнений баланса, находим:

$$\gamma_2 = 94,0\%, \beta_2^{\text{Cu}} = 0,32\%, \beta_2^{\text{Zn}} = 3,15\%.$$

Аналогичным методом составления и решения уравнений баланса по выходам и основному металлу, выполняется расчет всей технологической схемы. Расчет медного цикла выполнен по меди, цинкового по цинку.

Результаты расчеты приведены в таблицы 11.

Таблица 11- Результаты расчета баланса

Номер продукта	Наименование продуктов	Выход, %	Содержание металла, %
0	Исходная руда	100	Cu-1,2; Zn-3,15
1	Концентрат основной Cu флотации	24,0	5,0
2	Хвосты основной Cu флотации	126,84	0,5
3	Концентрат контрольной Cu флотации	34,84	1,0
4	Хвосты контрольной Cu флотации	91,0	0,32
5	Концентрат основной Zn флотации	47,514	10,0
6	Концентрат контрольной Zn флотации	98,14	1,5
7	Хвосты контрольной Zn флотации	86,31	0,45

### 3.7 Оборудование для сгущения концентратов

Различные стадии обогащения протекают благоприятно при определённом содержании твёрдого в пульпе. В конечных концентратах содержание влаги лимитируется. Поэтому продукты обогащения в той или иной степени нуждаются в обезвоживании, т.е. в удалении излишней воды.

Основную массу воды, которая содержится в продуктах процессов мокрого обогащения, составляет гравитационная влага, свободно перемещающаяся между частицами твёрдого под действием силы тяжести. Кроме гравитационной влаги, в операциях обезвоживания при необходимости удаляется плёночная, капиллярная и гигроскопическая влага.

Плёночная влага удерживается на поверхности частиц молекулярными силами притяжения, капиллярная заполняет промежутки между частицами, гигроскопическая адсорбируется на поверхности частиц тончайшей плёнкой и заполняет структурные поры и трещины в частицах.

По содержанию воды различают продукты:

- обводнённые, обладающие текучестью, с содержанием влаги 40% и более;
- мокрые, обычно получаемые после предварительного обезвоживания обводнённых продуктов, с содержанием влаги от 15-20 до 40%;
- влажные – после удаления гравитационной влаги с содержанием от 5-6

до 15-20%;

– воздушно-сухие – сыпучий материал, получаемый после высушивания на воздухе влажного продукта, с содержанием 1-3% влаги за счёт гигроскопической влаги;

– сухие – после термической сушки при температуре 105 °С для удаления гигроскопической влаги.

В зависимости от свойств твёрдого и назначения продуктов обогащения обезвоживание осуществляется одной или последовательно несколькими операциями, к которым относятся дренирование, сгущение, фильтрование, сушка.

Сгущение рассматривается как одна из операций обезвоживания. В широком смысле сгущение – сложный процесс осаждения твёрдых частиц в жидкой среде под действием силы тяжести.

Практически процесс осаждения протекает в несколько стадий, и в непрерывно действующем сгустителе образуется несколько зон. Верхняя зона осветлённой жидкости обычно составляет от 0,3 до 0,6 м. Вторая сверху – зона пульпы первоначальной плотности, в которой происходит стеснённое падение частиц. Ниже – промежуточная зона перехода от зоны стеснённого осаждения в зону уплотнения (сжатия). Внизу находится зона уплотнения с каналами, по которым выделяется жидкость под давлением находящегося выше материала. В придонном слое материал дополнительно уплотняется. Плотный осадок в виде сгущённого продукта удаляется из нижней части сгустителя, а осветлённая жидкость (вода) – из верхней.

Для ускорения осаждения частиц и получения чистого слива в пульпу добавляют реагенты, под действием которых частицы слипаются, образуя хлопья (флокулы). Хлопья оседают быстрее, чем слагающие их частицы. Для флокуляции частиц и для их коагуляции (явление, сходное с флокуляцией, отличающееся механизмом действия реагентов) применяют реагенты (флокулянты и коагулянты).

Для сгущения пульп наибольшее распространение получили цилиндрические (радиальные) сгустители с механической разгрузкой осадка. В зависимости от расположения привода гребкового устройства для разгрузки осадка цилиндрические сгустители разделяются на два типа: с центральным приводом и с периферическим. Сгустители с центральным приводом могут иметь один или несколько ярусов.

На участке сгущения и фильтрации концентратов установлены одноярусные сгустители с периферическим приводом диаметром 15 м и глубиной 3,6 м. Сгуститель представляет собой цилиндрический чан, днище которого имеет небольшой наклон к центру (5-10°).

Пульпа поступает в сгуститель через центральную воронку с сетчатым дном, после чего поток движется радиально к кольцевому сливному жёлобу. Верхний обрез цилиндрического чана является порогом, через который переливается осветлённая жидкость, удаляемая самотёком по уклону. Нижний край воронки заглублён по отношению к уровню слива на 0,5-1 м. Транспортирование осадка к разгрузочному конусу производится гребковым

устройством.

В сгустителях с периферическим приводом гребковая рама выполнена в виде радиальной фермы, которая одним концом закреплена в опорном подшипнике, смонтированном на центральной железобетонной колонне, а другим концом перемещается ходовым колесом по рельсу, проложенному вокруг сгустителя. На нижнем поясе гребковой рамы закреплено гребковое устройство.

Содержание твёрдого в сгущённом продукте сгустителей обычно составляет 50-75%, в сливе – 0,2-0,5 г/л.

Таблица 12 - Технические характеристики сгустителя

Наименование	Размерность	Показатели
<b>Сгуститель П-15</b>		
Площадь сгущения	м <sup>2</sup>	176,7
Объём	м <sup>3</sup>	500
Высота	м	3
Производительность	т/сутки	300-900

### 3.8 Оборудование для перекачки пульпы

Для перекачки растворов реагентов из растворных чанов в расходные, и подачи их в расходные бачки участка измельчения и флотации, используются насосы.

Песковые насосы предназначены для перекачивания реагентов, продуктов обогащения руд, песчаных и других абразивных гидросмесей при температуре 5-60<sup>0</sup>С.

Плотность гидросмесей (пульп) составляет 1300 кг/м<sup>3</sup>, содержание твёрдого – до 25%. Подача насосов колеблется от 5 до 1500 м<sup>3</sup>/ч, напор – от 7,5 до 65 м. Насосы выпускают с горизонтальным и вертикальным расположением вала, с осевым или боковым входом, с деталям из износостойкого металла, резины и из абразивного материала на органическом связующем веществе.

Насос состоит из: спирального корпуса, закрытого с торцевой стороны крышкой, в котором вращается рабочее колесо. Со стороны подвода гидросмеси установлен промежуточный диск. Рабочее колесо закреплено при помощи гайки. Для удобства монтажа и демонтажа корпуса насоса предусмотрен кронштейн. Подвод, предназначенный для подачи гидросмеси к рабочему колесу, имеет сальниковое уплотнение, состоящее из кольца, манжеты, корпуса сальника и сальника. Уплотнение предназначено для защиты подшипников от загрязнения. С помощью хомутов вал насоса с подшипниками и регулировочным устройством закреплён на станине.

Коэффициент полезного действия насосов, учитывающий гидравлическое сопротивление, сопротивление трения элементов насоса и утечки пульпы, находится в пределах 42-72% в зависимости от типоразмера.



Таблица 13 -Технические характеристики насосов

Наименование	Размерность	Показатели
Песковый насос «НПГ 2»		
Производительность	м <sup>3</sup> /ч	28,8
Напор	м. вод. столба	20
Диаметр всасывающего патрубка	мм	89
Диаметр нагнетательного патрубка	мм	50
Обороты	об/мин	1440
Потребляемая мощность	кВт	7
Песковый насос «НПГ 3»		
Производительность	м <sup>3</sup> /ч	50,4
Напор	м. вод. столба	25
Диаметр всасывающего патрубка	мм	125
Диаметр нагнетательного патрубка	мм	75
Обороты	об/мин	1460
Потребляемая мощность	кВт	13-14
Песковый насос «НПВ 3»		
Производительность	м <sup>3</sup> /ч	50,4
Напор	м. вод. Столба	25
Диаметр всасывающего патрубка	мм	90
Диаметр нагнетательного патрубка	мм	75
Обороты	об/мин	1460
Потребляемая мощность	кВт	13-14
Вес насоса	кг	490
Насос «Х-80- 50-200»		
Производительность	м <sup>3</sup> /ч	50
Напор	м. вод. столба	50
Диаметр всасывающего патрубка	мм	80
Диаметр нагнетательного патрубка	мм	50
Наименование	Размерность	Показатели
Обороты	об/мин	48(2900)
Потребляемая мощность	кВт	10,6
Вес насоса	кг	295-400
SULZER типа A11-40		
Производительность	л/сек	9,7
Напор	м. вод. столба	50
Обороты	об/мин	2905
Потребляемая мощность	кВт	11,2
Мощность двигателя	кВт	15
SULZER типа A23-40		
Производительность	л/сек	7,0
Напор	м. вод. столба	28
Обороты	об/мин	1470
Потребляемая мощность	кВт	6,2
Мощность двигателя	кВт	7,5

## 4 Реагентный режим

### 4.1 Выбор и назначения реагентов для флотационного обогащения

Реагенты в жидком виде превращаются в пастообразную консистенцию при воздействии температуры 0°C.

В области флотации эти реагенты играют решающую роль, обеспечивая такие характеристики, как высокая селективность, стабильность и эффективность, повышая тем самым общую эффективность процесса флотации. Они также открывают возможности для совершенствования и интенсификации процесса обогащения. Действительно, без помощи флотационных реагентов успешная флотация становится практически недостижимой. Влияние этих реагентов простирается далеко, позволяя изменять широкий спектр поверхностных свойств минералов. Такая универсальность делает флотацию основным методом обогащения минералов в различных сценариях. Состав флотационных реагентов разнообразен и включает в себя органические и неорганические соединения, кислоты, щелочи, соли различного состава, а также вещества с различной растворимостью в воде.

Таблица 14 – Назначение реагентов на флотационного обогащения

Наименование реагентов	Предельная концентрация, %	Загрузка на одно растворение, кг	Время растворения, час	Время осветления, час	Рабочая концентрация реагентов, %
Цианистый натрий	40	1700	3	4	10±0,5
Цинковый купорос	40	2360	6	8-10	13-15
Сернистый натрий	25	1400	6	5	10±0,5
Медный купорос	15	1500	3	3-4	10±0,5
Аэрофлот бутиловый	20	500	3	3	3±0,3
Уголь активированный					10±0,5
UG 978	0,1	12.5	Пост.перемеш.		0,05
Известковое молоко		35-45	Пост.перемеш.		35-40 г/л
Известковое молоко УПСП		100-120	Пост.перемеш.		100-120г/л
Ксантогенат	20	300	2	2	2±0,2
Карбамид					1,0

Продолжение таблицы 14

Наименование реагентов	Предельная концентрация, %	Загрузка на одно растворение, кг	Время растворения, час	Время осветления, час	Рабочая концентрация реагентов, %
Бихромат натрия	40	1000	1	1	10±0,5
Флотанол С-7	2	138	Пост.перемеш.		0,1
ОПСБ	2	165	Пост.перемеш.		1,0
Железный купорос	15	2100	4	2	14-15

Водно-шламовая схема рассчитана на часовую производительность 15 т/ч. Содержание твердого в продуктах обогащения принято:

- Исходная руда 90%
- Разгрузка мельницы 72%
- Слив классификатора 34%
- Пески классификатора 80%
- Пески гидрациклона 71%

Таблица 15 - Баланс воды

ПОСТУПАЕТ		ВЫХОДИТ	
	Масса, т/ч		Масса, т/ч
Вода		Вода	
С рудой	2,0	С концентратом	5,4
С водой	19,4	С хв. контр. фл.	187,4
В классификатор- I	83,7		
В гидрациклон - II	18,0		
В измельчение - II	9,2		

Расход воды на хозяйственные нужды 10% от технологической 16,23 т/ч.  
Общий расход 195,12 т/ч.



## 5 Охрана труда и безопасность жизнедеятельности

К числу факторов, оказывающих вредное воздействие при производстве полиметаллических руд, относятся следующие виды опасностей физические, химические, психофизиологические согласно [4].

На работников могут воздействовать следующие факторы.

Физические:

- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- повышенная и пониженная температура и влажность воздуха в цехе;
- недостаточная и избыточная освещенность;
- опасность поражения электрическим током;
- опасность воздействия вибрации и различных шумов (двигатели, насосы);
- опасность возникновения пожара.

Химические:

- опасность отравления парами и аэрозолями химически агрессивными и токсичными веществ.

Психофизиологические:

- физические перегрузки;
- нервно-психические перегрузки (умственные перегрузки, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

Ввиду перечисленных факторов данное производство относится к вредным [1].

Основные параметры, характеризующие условия труда на данном производстве: микроклимат, электробезопасность, шум, вибрация, электроосвещение, пожарная безопасность.

### 5.1 Вредные вещества

Вредные производственные факторы свойственные производственному процессу, которые могут действовать на персонал фабрики при выполнении работ, приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ рабочей зоны [3]

Наименование вредного фактора	ПДУ, ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны
Пыль (диоксид кремния более 10%)	6,0 мг/м <sup>3</sup>
Известковая пыль	6,0 мг/м <sup>3</sup>
Пыль цинкового купороса	1,5 мг/м <sup>3</sup>
Свинец	0,005 мг/м <sup>3</sup>

*Продолжение таблицы 16*

Наименование вредного фактора	ПДУ, ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны
Цианистый водород	0,3 мг/м <sup>3</sup>
Сероводород	10 мг/м <sup>3</sup>
Сероуглерод	10 мг/м <sup>3</sup>
Хромовый ангидрид	0,03 мг/м <sup>3</sup>
Оксид углерода	20,0 мг/м <sup>3</sup>
Диоксид азота	2,0 мг/м <sup>3</sup>
Шум	80 дБА
Вибрация	100 дБ

В данном производстве используется токсичная серная кислота. Пары и аэрозоль этого вещества поражают дыхательные пути, кожу, слизистые оболочки, вызывают затруднение дыхания, кашель, нередко – ларингит, трахеит, бронхит. Для обеспечения безопасных условий труда при работе с серной кислотой необходимо выполнять следующие требования:

- полная герметизация оборудования;
- устройство эффективной общеобменной вентиляции и рационального отопления;
- автоматизация и механизация производственного процесса;
- правильное ведение технологического процесса;
- наличие индивидуальных средств защиты.

Запрещено допускать к работе сотрудников, не прошедших инструктаж и входной контроль по охране труда и без спецодежды и других защитных средств.

Также каждый работник должен уметь оказывать первую медицинскую помощь пострадавшему при отравлении или получении химического ожога.

## **5.2 Мероприятия по защите от шума и вибрации**

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне.

Источниками шума и вибрации на участке электролиза являются: насосы вентиляционные системы, сила звука которых не превышает 70 дБ. В связи с этим необходимо провести следующие организационно-технические мероприятия по защите от шума и вибрации [8]:

- рационально разместить насосы и вентиляторы по степени шумности по всему участку;
- покрыть стены звукопоглощающими материала (акустической штукатуркой);

- использовать вибропоглощающие покрытия (резиновые прокладки);
- использовать средства индивидуальной защиты.

Таким образом, соблюдение вышеперечисленных мероприятий обеспечивает безопасную работу для персонала по уровню шума и вибрации на участке электролиза.

### **5.3 Пожарная безопасность**

Пожарная профилактика представляет собой единый комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на предупреждение и локализацию пожаров. В том числе к этим мероприятиям относятся меры пожарной безопасности, принимаемые при проведении технологического процесса, т.е. в период эксплуатации.

Исследованиями установлено, что основными и наиболее частыми причинами загораний, пожаров и взрывов на предприятиях химической промышленности являются:

- нарушение элементарных правил пожарной безопасности;
- нарушение режима технологических процессов;
- неисправность электрооборудования, электросетей;
- нарушение электротехнических правил;
- самовозгорание, статическое электричество, грозовые разряды.

Возможность возникновения пожаров в зданиях и сооружениях и особенно распространение огня в них в значительной мере зависит от того, из каких конструкций и материалов они выполнены, каковы размеры зданий и их планировка.

Все категорирование основано согласно нормам [6]. Все помещения и здания делятся на 5 категорий. Категории А и Б – взрывопожароопасные помещения, категории В, Г и Д – пожароопасные помещения.

Помещение предлагаемого нами участка должно быть отнесено к категории В.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с поставленной задачей был разработан проект обогатительной фабрики, предназначенной для переработки полиметаллической руды Малеевского месторождения.

Переработка полиметаллических руд будет осуществляться по структурированной схеме, включающей различные операции:

- трехстадийное дробление, включающее мокрое предварительное грохочение на второй и третьей стадиях для достижения номинального размера 10 мм;

- обезвоживающее грохочение и классификация подшивок для разделения первичных шламов и подготовки машин класса -60+7 мм для предварительной обработки в тяжелых и средних условиях;

- предварительная подготовка в конусном тяжелосреднем сепараторе перед третьей стадией дробления для удаления легкой фракции с низким содержанием ценных компонентов;

- двухстадийное измельчение в сочетании с классификацией в гидроциклонах с целью достижения содержания менее 74 микрон 51% на первой стадии и 80% на второй;

- шламовая флотация с разделением концентрата на специальной установке регенерации шлама, объединенной со сбросом с первой стадии измельчения и направляемой на первичную коллективную Cu-Pb флотацию;

- коллективная Cu-Pb флотация, состоящая из двух основных, двух контрольных и трех рекомбинационных операций. Полученный концентрат проходит селекцию, а хвосты запускают цинковый цикл;

- отбор коллективного Cu-Pb концентрата включает отжатие галенита, затем основную, контрольную и рекомбинационную Cu-флотацию для получения Cu-концентрата и Pb-концентрата;

- цинковый цикл включает в себя отделение цинковой головки, первичную коллективную Zn-Pu флотацию и две контрольные Zn-Pu флотации. Концентрат с основной Zn-Pu флотации подвергается дальнейшей обработке и кондиционированию для получения кондиционированного Zn-концентрата;

- обезвоживание концентратов происходит в два этапа - сгущение и фильтрация.

Полученные концентраты характеризуются определенными содержаниями: Cu - КМ-5 (медь не менее 20%), Zn - КС-2 (цинк не менее 53%) и Pb - КС7 (свинец не менее 40%). Коэффициенты извлечения составляют: Cu - 86%, Pb - 82%, Zn - 80%.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Текущее состояние и перспективы развития медной промышленности в Казахстане. URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/13120/>
- 2 Заключение листинговой комиссии по простым акциям АО «КАЗЦИНК». URL: [https://kase.kz/files/emitters/KZZN/kzzn\\_list.pdf](https://kase.kz/files/emitters/KZZN/kzzn_list.pdf) (дата обращения: 05.04.2022)
- 3 Шилаев В. П. Основы обогащения полезных ископаемых. Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1986, 296 с.
- 4 Адамов Э.В. Основы проектирования обогатительных фабрик. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 647 с.
- 5 Набойченко С.С. Гидрометаллургия меди / С. С. Набойченко, В.И. Смирнов. – М.: Metallurgy, 1974. – 272 с.
- 6 Прикладная электрохимия: учебник для вузов / Под ред. Н.Т. Кудрявцева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1975. – 551 с.
- 7 Прикладная электрохимия: учебное пособие для вузов / Н.П. Федотьев, А.Ф. Алабышев, и др.; Под ред. Н.П. Федотьева. – 2-е изд., испр. и доп. – Л.: Химия, 1967. – 600 с.
- 8 Борхерс И.А.В. Электрометаллургия. Получение металлов при помощи электрического тока: перевел со 2-го дополненного издания "Dr. W. Borchers, Elektrometallurgie, 1896" С.И. Сизонов / И.А.В. Борхерс; пер. С.И. Созонова. – С.: Типо-Литография и Фототипия П. И. Бабкина, 1898. – 423 с.
- 9 Ротинян А.Л. Прикладная электрохимия / А.Л. Ротинян. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1974. – 536 с.
- 10 Медная фольга электролитического осаждения и способ ее изготовления: патент США № 5181770; заявл. 10.03.1997; опубл. 20.03.2001, Бюл. № 19. – 3 с.
- 11 Способ изготовления медной фольги: патент США № 4956053; заявл.; 07.11.2000 опубл. 18.10.2002, Бюл. № 11. – 5 с.
- 12 Способ изготовления металлической ленты электролизом и устройство для его осуществления: патент Рос. Федерация № 2258770; заявл. 05.10.2010; опубл. 21.03.2013, Бюл. № 16. – 4 с.
- 13 Устройство для гальванопластического изготовления фольги: патент Рос. Федерация № 859484; заявл. 29.05.2010; опубл. 28.05.2014. Бюл. № 17. – 3 с.
- 14 Устройство для ведения непрерывного процесса электролитического осаждения: патент Германия №2166567; заявл.: 11.04.2008; опубл. 20.09.2011. Бюл. № 12 – 4 с.
- 15 System and method for producing copper powder by electrowinning in a flow-through electrowinning cell: United States Patent № 8016983; filed 18.05.2010; publ. 13.09.2011, Bul. №–11 p.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Схема цепи аппаратов

