Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Физико-технический
Специальность: 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики
Кафедра: «Химическая технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема пректа
Проект цеха флотационного обогащения бертрандит-фенакитовой руды Ермаковского месторождения, производительностью 8 000 тонн в год по руде

УДК 669.725.094.412:66.041.49

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0411	Лесникова Маргарита Сергеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. ХТРЭ	Петлин И.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. менеджмента	Тухватулина Л.Р.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ХТРЭ	Акимов Д.В.			

По разделу «Автоматизация процесса»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ	Вильнина А.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ХТРЭ	Крайденко Р.И.	д.х.н.		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП 180502
«Химическая технология материалов современной энергетики»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	Профессиональные компетенции
Р1	Демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания и детальное понимание научных принципов профессиональной деятельности
Р2	Ставить и решать инновационные задачи, связанные с получением и переработкой материалов и изделий ядерного топливного цикла, с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии материалов современной энергетики
Р3	Эксплуатировать и совершенствовать действующие, разрабатывать и внедрять новые современные высокотехнологичные процессы и линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, контролировать расходование сырья, материалов, энергетических затрат
Р4	Обеспечивать радиационную безопасность, соблюдать правила охраны здоровья и труда при проведении работ, выполнять требования по защите окружающей среды; оценивать радиационную обстановку; осуществлять контроль за сбором, хранением и переработкой радиоактивных отходов различного уровня активности с использованием передовых методов обращения с РАО
Р5	Уметь планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования в области изучения свойств и технологии материалов современной энергетики с использованием новейших достижения науки и техники, уметь обрабатывать и критически оценивать полученные данные, делать выводы, формулировать практические рекомендации по их применению; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности
Р6	Разрабатывать новые технологические схемы, рассчитывать и выбирать оборудование, применять средства автоматизации, анализировать технические задания и проекты с учетом ядерного законодательства
	Универсальные компетенции
Р7	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, ориентироваться в ценностях бытия, жизни, культуры; иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем
Р8	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области изучения свойств, методов и технологий получения и переработки материалов современной энергетики
Р9	Применять иностранный язык в сфере коммуникаций и профессиональной деятельности, представлять результаты научных исследований и разработок в виде отчетов, публикаций, публичных обсуждений
Р10	Уметь эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, руководить командой, быть способным оценивать, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность; следовать корпоративной культуре организации, кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности
Р11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Физико-технический
Направление подготовки (специальность): 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики
Кафедра: «Химическая технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ _____ ___ Р.И. Крайденко
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломного проекта

Студенту:

Группа	**ФИО**
0411	Лесникова Маргарита Сергеевна

Тема работы:

Проект цеха флотационного обогащения бертрандит-фенакитовой руды Ермаковского месторождения, производительностью 8 000 тонн в год по руде	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 01.07.16 № 5594/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10 января 2017 года

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе *(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*	Среднее содержание бериллия в бертрандит-фенакитовой руде Ермаковского месторождения составляет около 1.5 % по оксиду. Необходимо флотационно-обогатительное производства бериллиевого концентрата с содержанием BeO не менее 10 %. Производство носит непрерывный характер. Производительность обогатительного производства составляет 8000 тонн бертрандит-фенакитовой руды в год. Необходимо учесть все требования Российского и мирового законодательства в области создания бериллиевого производства.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	**1. Введение.** **2. Аналитический обзор литературных данных.** **3. Теоретическая часть.** **4. Расчетная часть.** 4.1. Расчет материального баланса. 4.2. Аппаратурный расчет. Расчет геометрии габаритов аппаратов в технологической схеме. 4.3. Механический расчет основного аппарата. 4.4.. Гидравлический расчет основного аппарата. 4.5. Энергетический расчет технологической схемы. **5. Автоматизация процесса.** **6. Строительная часть.** **7. Социальная ответственность.** **8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Расчет периода окупаемости предприятия.**
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	1.Блок-схма с материальными потоками. 2.Аппаратурно-технолгическая схема. 3.План размещения оборудования. 4.Разрез цеха. 5.Сборочный чертеж основного аппарата А1 (согласно ГОСТ 2.001-93, ГОСТ 2.034-83). 6.Технико-экономические показатели.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	**Тухватулина Лилия Равильевна**
Социальная ответственность	**Акимов Дмитрий Васильевич**
Автоматизация процесса	**Вильнина Анна Владимировна**

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	3 октября 2016 года

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. ХТРЭ	Петин И.В.	к.т.н.		3.10.16

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0411	Лесникова Маргарита Сергеевна		3.10.16

РЕФЕРАТ

Дипломный проект: 121 страница, 17 рисунков, 29 таблиц, 35 источников.

Ключевые слова: бериллий, флотация, фенакит, бертрандит.

Объектом исследования является процесс флотационного обогащения фенакит-бертрандитовой руды, с целью получения бериллийсодержащего концентрата.

Цель проекта – проектирование цеха по переработки бертрандит-фенакитовой руды Ермаковского месторождения (содержание бериллия по оксиду 1,5 %) до бериллиевого концентрата (содержание бериллия по оксиду не менее 10 %).

В процессе проектирования цеха, проведен обзор существующих методов обогащения бериллиевого сырья. Разработана блок- и аппаратурно-технологическая схемы. Проведен материальный расчет технологических стадий переработки руды. Для основного аппарата – флотационной машины, проведены механический, энергетический и гидравлические расчеты.

Основные характеристики: производительность по исходному концентрату – 1111,1 кг в час; производительность по конечному продукту – 242,8007 кг в час. Процесс флотации реализуется в механической флотационной машине конструкции «Механобр» диаметром, 2 м, шириной 2,2 м, глубиной 1,2 м.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные документы

В проекте использованы следующие нормативные документы:

Федеральный закон от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (Собрание законодательства Российской Федерации, 1999, № 14, ст. 1650; 2002, № 1 (ч.1), ст.2; 2003, № 2, ст.167; № 27 (ч.1), ст.2700; 2004, № 35, ст.3607; 2005, № 19, ст.1752; 2006, № 1, ст. 10, № 52 (ч.1) ст. 5498; 2007 № 1 (ч.1) ст. 21; № 1 (ч.1) ст. 29; № 27, ст. 3213; № 46, ст. 5554; № 49, ст. 6070; 2008, № 24, ст. 2801; № 29 (ч.1), ст. 3418; № 30 (ч. 2), ст.3616; № 44, ст.4984; № 52 (ч. 1), ст. 6223; 2009, № 1, ст. 17; 2010, № 40, ст.4969);

Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2002, № 2, ст. 133; 2004, № 35, ст. 3607; 2006, № 1, ст. 10; 2008, № 30, ст. 3616; 2011, № 30, ст. 4590, 4596);

Федеральный закон от 20 июня 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (Собрание законодательства Российской Федерации, 1997, № 30, ст. 3588; 2000, № 33, ст. 3348; 2003, № 2, ст. 167; 2004, № 35, ст. 3607; 2005, № 19, ст. 1752; 2006, № 52, ст. 5498; 2009, № 1, ст. 17, 21; № 52, ст. 6450);

Федеральный закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (Собрание законодательства Российской Федерации, 1998, № 26, ст. 3009; 2004, № 35, ст. 3607; 2008, № 30, ст. 3616; № 45, ст. 5142; 2009, № 1, ст. 17);

Постановление Правительства Российской Федерации от 15.09.2005 г. № 569 «О Положении об осуществлении государственного санитарно-эпидемиологического надзора в Российской Федерации» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2000, № 31, ст.3295, 2004, № 8, ст. 663; № 47, ст.4666; 2005, № 39, ст.3953);

СП 1.1.1058-01 «Организация и проведение производственного контроля за соблюдением санитарных правил и выполнением санитарно-эпидемиологических (профилактических) мероприятий» (зарегистрировано в Минюсте РФ 30.10.2001 г. № 3000);

СП 2.2.1.1312-03 «Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий» (зарегистрировано в Минюсте РФ 19.05.2003 г. № 4567);

СанПиН 2.2.3.1384-03 «Гигиенические требования к организации строительного производства и строительных работ» (зарегистрировано в Минюсте РФ 18.06.2003 г. № 4714);

СП 2.2.2.1327-03 «Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту» (зарегистрировано в Минюсте РФ 18.06.2003 г. № 4720);

СП 2.1.5.1059-01 «Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения» (зарегистрировано в Минюсте РФ 21.08.2001 г. № 2886);

СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» (зарегистрировано в Минюсте РФ 25.01.2008 г. № 10995);

СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы» (зарегистрировано в Минюсте РФ 05.05.2003 г. № 4500);

СанПиН 2.6.1.07-03 «Гигиенические требования к проектированию предприятий и установок атомной промышленности (СПП ПУАП-03)» (зарегистрировано в Минюсте РФ 03.04.2003 г. № 4365);

СанПиН 2.1.7.1322-03 «Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления» (зарегистрировано в Минюсте РФ 12.05.2003 г. № 4526);

СП 2.1.7.1386-03 «Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления» (зарегистрировано в Минюсте РФ 19.06.2003 г. № 4755);

СанПиН 2.1.7.1032-01 «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест» (зарегистрировано в Минюсте РФ 18.05.2001 г. № 2711);

ГН 2.1.6.1338-03 «Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» (зарегистрировано в Минюсте РФ 11.06.2003 г. № 4679);

ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы» (зарегистрировано в Минюсте РФ 19.05.2003 г. № 4568);

ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы» (зарегистрировано в Минюсте РФ 19.05.2003 г. № 4550).

СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Физические факторы производственной среды. Санитарные нормы».

СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

ГОСТ 18499-73. Керосин для технических целей. Технические условия.

СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений.

СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.

ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

СН 245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.

СниП-3375. Строительные нормы и правила. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.

33. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ. – Введ. 20.12.2001. – М., 2001. – 46 с.

В данном проекте употребляются следующие сокращения:

Флотационная машина; ФМ.

Теплоэлектронагревательные элемент; ТЭН.

Контрольно-измерительные приборы и автоматика; КИПаА.

Инженерно-технический работник; ИТР.

Заработная плата; ЗП.

Трудовой кодекс; ТК.

Младший обслуживающий; МОП.

Предельно-допустимые концентрации; ПДК.

Средства индивидуальной защиты; СИЗ.

Средства индивидуальной защиты органов дыхания; СИЗОД.

Функциональная схема автоматизации; ФСА.

Автоматизированная система управления технологическим процессом; АСУТП.

Электронно-вычислительная машина; ЭВМ.

Оглавление

Введение 11
1 Обзор литературы 13
2 Объект и методы исследования 22
2.1 Теория выбранного процесса. Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы 22
2.2 Краткий обзор существующего аппаратурного оформления процесса флотации 27
2.3 Аппаратурно-технологическая схема флотационного получения бериллиевого концентрата 37
3 Расчеты и аналитика 40
3.1 Расчет материального баланса 40
3.1.1 Материальный баланс процесса измельчения 41
3.1.2 Материальный баланс процесса подготовки руды к флотации 41
3.1.3 Материальный баланс процесса флотации 42
3.1.4 Материальный баланс процесса сгущения …..44
3.1.5 Материальный баланс процесса фильтрации 45
3.1.6 Материальный баланс процесса сушки 46
3.2 Аппаратурный расчет. Расчет геометрии и габаритов аппаратов в технологической схеме 48
3.3 Механический расчет основного аппарата 54
3.3 Гидравлический расчет основного аппарата 55
3.3 Энергетический расчет основного аппарата 58
Результаты проведенного исследования 62
4 Автоматизация процесса 63
4.1 Описание функциональной схемы автоматизации 66
4.2 Перечень технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию, сигнализации 67
4.3 Перечень первичных преобразователей 67

4.4 Автоматизация процесса с использованием ЭВМ 68
5 Строительная часть 70
5.1 Основные конструктивные элементы здания 70
5.2 Водоснабжение 73
5.3 Канализация 74
5.4 Вентиляция 75
5.5 Отопление 75
6 Социальная ответственность 77
6.1 Опасность при работе с химическими и вредными веществами 79
6.2.1 Требования к персоналу 80
6.2.2 Требования к организации и обеспечению индивидуальной защиты персонала 82
6.3 Электробезопасность 88
6.4 Пожарная безопасность 89
6.5 Производственное освещение 90
6.6 Микроклимат 91
6.7 Производственная вентиляция 93
6.8 Шум и вибрация 93
6.9 Охрана окружающей среды 94
6.10 Заключения по разделу охраны окружающей среды 95
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения 96
7.1 Расчет эффективного фонда рабочего времени 96
7.2 Расчет эффективного фонда времени работы оборудования 97
7.3 Расчет численности основных рабочих, ИТР, МОП и служащих 99
7.4 Затраты на сырье и электроэнергию 110
7.5 Расчет капитальных затрат 110
7.6 Анализ безубыточности 114
Заключение 116
Список использованных источников 118

Приложение А 122
Приложение Б 129
ФЮРА. 062500.001 БС Блок-схема с материальными потоками
ФЮРА. 062500.002 АТС Аппаратурно-технологическая схема
ФЮРА. 062500.003 ПРО План размещения оборудования
ФЮРА. 062500.004 РЦ Разрез цеха
ФЮРА. 062500.005 СБ Флотационная машина. Сборочный чертеж
ФЮРА. 062500.006 ТЭП Технико-экономические показатели

Введение

Основным направлением использования бериллия является получение сплава с медью – бериллиевой бронзы. Бериллий незаменим в атомной промышленности. Замедлители и отражатели из бериллия и его окиси позволяют намного уменьшить размеры активной зоны реакторов, увеличить рабочую температуру и эффективнее использовать ядерное топливо. Поэтому, несмотря на высокую стоимость бериллия, его использование считают экономически оправданным, особенно в небольших энергетических реакторах для самолетов и морских судов.

Кроме того, бериллий может выполнять роль отражателя нейтронов: менять их направление, возвращать нейтроны в активную зону реактора, противодействовать их утечка. Бериллию свойственна также значительная радиационная стойкость, сохраняющаяся и при очень высокой температуре.

На всех этих свойствах основано применение бериллия в атомной технике – он один из самых необходимых ей элементов.

Широкое применение бериллийсодержащих материалов в аэрокосмической и автомобильной технике, также определено их легкостью, прочностью и стойкостью к высоким температурам. Данные характеристики позволяют использовать сплавы с бериллием как конструкционных материалов.

Кроме элементов конструкции самолетов, бериллий используется в газовой, нефтедобывающей (производство труб) и автомобильной промышленностях (сигнализации в автомашинах, модули для компьютерных систем управления двигателем, приводы головок для двигателей и различных датчиков), компьютерной электронике.

Оксид бериллия (BeO) используют не только в атомной промышленности, но и в электротехнике – изготовление специальных изоляторов. BeO имеет высокую температуру плавления, что определило его

применение в качестве основного компонента огнеупорной керамики для химической промышленности.

Кроме прочего бериллий и его сплавы нашли применение в газовой, нефтедобывающей промышленности и компьютерной электронике. Широкий спектр отраслей, в которых бериллий и его соединения применяются, увеличивает его ежегодное потребление.

Так мировая промышленность ежегодно потребляет примерно 450 тонн металлического бериллия. Но Россия не входит в число стран, занимающихся выпуском данной продукции, притом, что на территории нашей страны есть месторождения пригодные для промышленного освоения. Особенности минерального состава сырья позволяют применить новые методы извлечения бериллия из руды. Для эффективной и рентабельной переработки бертрандит-фенакитовой руды с целью получения бериллиевого концентрата была разработана технология флотационного обогащения.

Данная технология позволяет создать высококачественную сырьевую базу для отечественного бериллиевого производства, тем самым обеспечивая импортозамещение в данной отрасли.

1 Обзор литературы

Бериллиевые руды - природные минеральные образования, содержащие бериллий. Бериллий находится в рудах главным образом в форме собственных минералов, а также в виде изоморфной примеси (до 1-2 %) в породообразующих минералах. Главные минералы, входящие в состав бериллиевой руды: берилл (14,1 % BeO), фенакит (42-45 %), бертрандит (40-42 %), гельбертрандит (32-35 %), хризоберилл (18-20 %), гельвин-гентгельвин-даналит (10-12 %), эвклаз (16-17 %) и лейкофан (10-12 %). Минералы, в составе которых бериллий может рассеиваться в виде изоморфной примеси, везувиан (до 1-4 % BeO) и бериллий-маргарит (до 3 %). Попутно из бериллиевой руды извлекают W, Mo, Sn, Ta, Li, Cs, Rb и другие, а после обогащения хвосты бериллиевой руды служат сырьём для керамической и строительной промышленности.

Месторождения бериллиевых руд в большинстве случаев имеют эндогенное постмагматические происхождение и связаны с областями распространения массивов лейкократовых гранитов и субщелочных гранитоидов. Известно 7 главных рудных формаций бериллиевой руды:

- бериллоносные гранитные пегматиты (среднее содержание BeO 0,05-0,4%);
- фенакит-гентгельвиновые полевошпатовые метасоматиты в приразломных зонах среди древних гранитов и гнейсов (0,3 - 0,55 %);
- гельвиновые и хризобериллловые апоскарновые грейзены (0,1 - 0,3 %);
- слюдяные грейзены и кварцевые жилы с бериллом, редко с бертрандитом (0,1-0,15 %, реже до 1 %);
- слюдо-флюоритовые грейзены, зоны прожилков и минерализованные зоны дробления с бериллом, хризобериллом, фенакитом среди карбонатных толщ, осадочно-метаморфические и магматические породы повышенной основности (0,1-0,15 %);

- флюоритовые метасоматиты и полевошпат-кальцитовые прожилки с фенакитом, бертрандитом, эвдидимитом и другими бериллиевыми минералами среди карбонатных пород в приконтактовых зонах мелких куполов граносиенитов (0,2-1,5 %);
- флюоритизированные риолитовые туфы с гельбертрандитом (0,4-0,7 %).

Рудные тела бериллиевой руды разнообразны по морфологии: послойные пласты, рудные штоки, столбы, трубообразные залежи, крутые и пологие жилы [1].

Бериллий в природе в основном представлен около 30 минералами, промышленное значение имеют из них: берилл (и его разновидности - изумруд, аквамарин, гелиодор, воробьевит, ростерит, бандит) ($Be_3Al_2(SiO_3)_6$), фенакит (Be_2SiO_4), бертрандит ($Be_4Si_2O_8 \cdot H_2O$) и гельвин $(Mn,Fe,Zn)_4[BeSiO_4]_3S$ [2-4].

Наиболее крупные бериллиевые месторождения с легко вскрываемыми рудами (бертрандитовыми) расположены на территории США: Спор-Маунтин, Сьерра-Бланка [5]. Бериллий из руд данных месторождений выщелачивается единственным на сегодняшний день промышленным методом гидрометаллургической переработки бериллиевого сырья – сернокислотным, без предварительной подготовки сырья [6]. В мире всего три государства осуществляет гидрометаллургическую переработку бериллийсодержащего сырья: США, Казахстан и Китай.

На территории Российской Федерации расположено уникальное Ермаковское месторождение, отличающееся высоким содержанием бериллия (более 1 %) и большим количеством бериллиевых минералов. Это единственное в России месторождение бериллия, пригодное для рентабельного освоения, характеризующееся благоприятными горнотехническими, гидрогеологическими условиями, легкостью обогащения руд и переработки концентратов, а также нахождением

месторождения в легкодоступном Кижингинском районе Республики Бурятия [7].

Основным источником бериллия для предлагаемой технологии является фенакитовый концентрат Ермаковского месторождения, который получают методами флотационного обогащения из бериллий-флюоритовой руды, концентрат содержит до 4 % бериллия. Химический состав концентрата приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав фенакитового концентрата

Вещество	Be	SiO_2	CaF_2	F	Al_2O_3; Fe_2O_3; CaO
Содержание, %	4	29	20	5	40

Бериллий относятся к группе легких редких металлов, отличающихся малой плотностью и высокой химической активностью.

Берилловые руды отличаются большим разнообразием и сложностью вещественного состава, как ценных минералов, так и минералов вмещающих пород.

Be относится к литофильный элементам, он составляет примерно 93% массы земной коры и 97 % массы морской воды. Кларк бериллия составляет $3{,}5 \cdot 10^{-4}$. Образует свои собственные минерал и входит в виде изоморфной примеси в другие минералы. Иногда сильно рассеян, что делает невозможным задачу обнаружения бериллия в таких минералах.

Минералов, пригодных к промышленному освоению всего три: берилл, бертрандит, фенакит [8].

Берилл $Al_2[Be_3(Si_6O_{18})]$ – окраска минерала зависит от примесей, которых может быть множество (Li, Na , Mg, Mn, Fe, Cr), что позволяет использовать берилл как драгоценные камни (изумруд, аквамарин, гелиодор). Содержание [BeO]=14 %; твердость (7,5-9); плотность (2,6-2,9) г/см^3. Месторождения известны во Франции, Германии, Швеции, России (Урал), Колумбии, Бразилии,

Бертрандит $Be_4[Si_2O_7](OH)_2$ – бесцветный или бледно-желтый (примеси Al^{3+}, Fe^{+3}). Содержание [BeO]=42 %; твердость (6-7); плотность (2,59-2,6) г/см^3. Месторождения в России (Бурятия, Мурманская область), Бразилии.

Фенакит $Be_2[SiO_4]$ – бесцветный или розовый. Содержание [BeO]=46 %; твердость (7,5-8); плотность (2,96-3) г/см^3. Месторождения в России (Урал), Бразилии, Австралии, США, Норвегии.

Хризоберилл Al_2BeO_4 – зеленый. Содержание [BeO]=20 %; твердость – 8,5; плотность (3,5-3,84) г/см^3. Месторождения в России (Урал), Бразилии, США на Мадагаскаре и о. Цейлон.

Барилит $BaBe_2[Si_2O_7]$ – бесцветный или белый. Содержание [BeO]=15 %; твердость – 8,5; плотность (4-4,7) г/см^3. Месторождения в России (Урал), Швеции, США.

Эвклаз $Al[BeSiO_4OH]$ – бесцветный или голубой. Содержание [BeO]=17 %; твердость – 7,5; плотность – 3,1 г/см^3. Месторождения в России (Урал, Якутия), Бразилии, Австрия.

Гельвин $Mn_4[Be_3Si_3O_{12}]S$ – желтый или оливковый. Содержание [BeO]=15 %; твердость (6-6,5); плотность (3,2-3,44) г/см^3. Месторождения в Германии, Норвегии.

Даналит $Fe_4Be_3[SiO_4]_3S$ – серый. Содержание [BeO]=13,4 %; твердость (5,5-6); плотность (3,28-3,46) г/см^3. Месторождения в США, России, Казахстане, Канаде.

Прежде всего это пегматитовые руды, такие как гранитные сподумен-кварц-альбитовые бериллиевые пегматиты: гидротермальные-пневматолитовые жилы и другие. В рудах часто содержатся другие ценные минералы, например, танталит, колумбит, касситерит, вольфрамит, молибденит.

Бериллиевые руды относятся к труднообогащаемым из-за близости свойств минералов Be и пустой породы.

В настоящее время используются следующие методы обогащения бериллийсодержащих руд: ручная сортировка, радиометрический метод, избирательное измельчение,

- Ручная сортировка

Применяется для руд, содержащих крупные куски ценных минералов, измельчение которых для обогащения механическим путем нерационально. Ручная сортировка руд, содержащих берилл, хризоберилл, изумруд и другие минералы бериллия, обычно начинается в забое, где осуществляется избирательная выемка крупных кристаллов.

Сортировка руды производится стадиально, причем при додрабливании крупных кусков степень дробления должна быть минимальной. Перед сортировкой руду необходимо разделить на классы по крупности на грохотах, затем промыть.

Крупные классы сор тируют на ленточных конвейерах, а мелкие на вращающихся столах. Производительность труда рабочего резко изменяется в зависимости от крупности кусков руды и ценных минералов, подвергаемых сортировке. Например, при крупности кусков руды (60-100) мм производительность труда рабочего равна примерно 70-75 кг/ч берилла, а при крупности (6-12) мм только 0,1- 0,5 кг/ч. При обогащении изумрудов часто производят сортировку более мелких классов, для чего обычно применяют розовое освещение. Сортировку ведут с применением тщательного и аккуратного ручного скалывания при разделке изумрудов на алмазной пиле. Качество бериллиевых концентратов от рудоразборки обычно высокое (10-12 % BeO).

На качество рудоразборки и производительность труда рабочих сильно влияют освещение разделяемых кусков руды, очистка (отмывка) их от загрязняющей пыли и шламов, разница в цвете минералов.

Извлечение берилла при сортировке очень низкое, поэтому мелкокристаллический берилл из хвостов после рудоразборки выделяют методом флотации. Преимущества: простота метода.

Недостатки: не применимость для тонковкрапленных руд <5 мм [9] .

Принципиальная схема ручной сортировки представлена на рисунке 1.

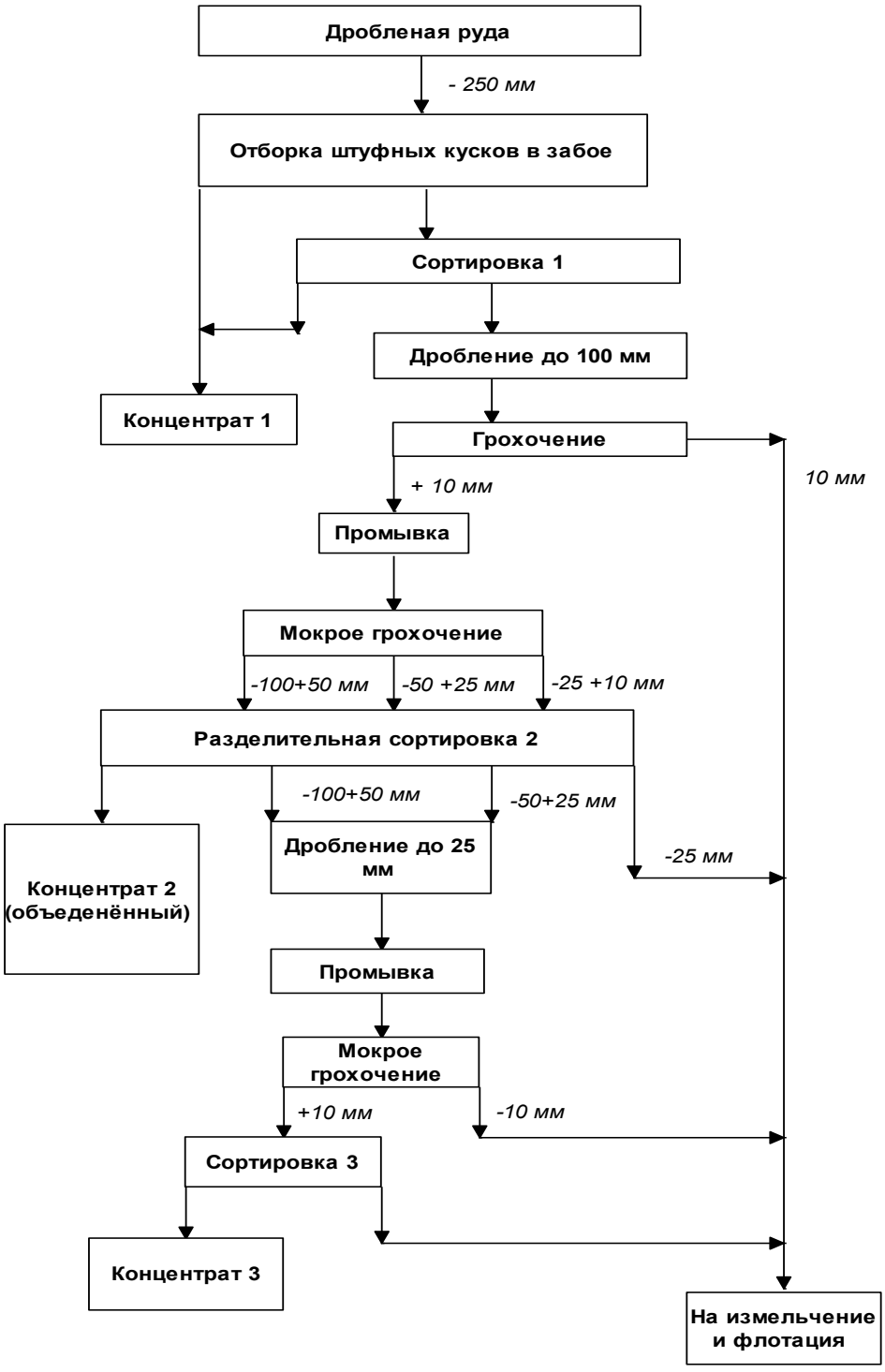

Рисунок 1 – Схема сортировки бериллиевых руд

- Радиометрический метод

Заключается в отделении полезных минералов от пустой породы, основан на свойстве минералов испускать излучения (эмиссионно-радиометрические методы) или ослаблять их (абсорбционно-радиометрические методы).

В эмиссионно-радиометрических методах используется естественная радиоактивность минералов, их люминесценция и др. В абсорбционно-радиометрических методах используются рентгеновское, нейтронное и гамма-излучение.

Радиометрический метод осуществляется с помощью радиометрических сепараторов, в которых датчик регистрирует излучение и преобразует его в электрические импульсы. Из датчика импульсы поступают в радиометр, в котором частота поступления импульсов сравнивается с заранее заданной «пороговой» величиной и при превышении её поступает команда на исполнительный механизм, разделяющий полезное ископаемое на обогащенный продукт и отходы (хвосты).

Режимы радиометрической сепарации: покусковой, при котором регистрируется излучение отдельных кусков полезного ископаемого; порционный – регистрируется излучение порций, состоящих из нескольких кусков, и поточный – регистрируется излучение движущегося непрерывного потока полезного ископаемого. Покусковой режим технологически наиболее эффективен, но наименее производителен.

Радиометрическое обогащение получило распространение при обработке урановых руд, являясь основным методом обогащения этого вида сырья. Кроме того, оно используется для обработки бериллиевых руд (фотонейтронный процесс), золотосодержащих руд и неметаллических полезных ископаемых (фотометрический процесс), алмазосодержащих руд (люминесцентный процесс), железных руд (гамма-абсорбционный процесс), борных руд (нейтронно-абсорбционный процесс) и др.

Схема данного метода изображена на рисунке 2.

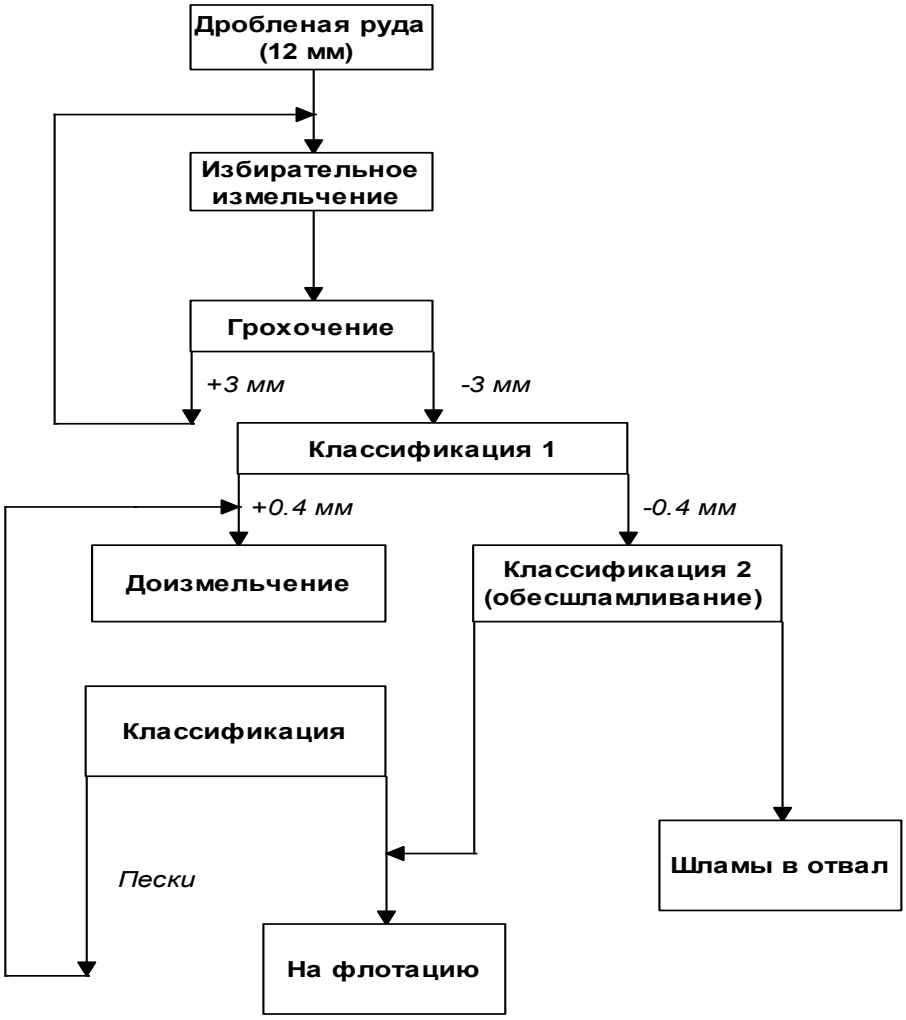

Рисунок 2 – Схема обогащения бериллиевой руды методом изберательного измельчения

Разновидность радиометрического обогащения – радиометрическая сортировка, с помощью которой сортируются загруженные полезным ископаемым транспортирующие устройства (вагонетки, автомашины, скипы и др.). Сортировка осуществляется радиометрической контрольной станцией, которая работает с большой производительностью, но коэффициент обогащения полезного ископаемого при этом невелик.

В связи с этим они используются главным образом для выделения из горной массы наиболее бедной части полезного ископаемого, удаляемой в отвал.

Недостатки: требуются γ – лучи высокой интенсивности, необходима сложная система защиты от излучений. Это ограничивает применение метода [10].

- Избирательное измельчение

Метод основан на различной твердости минералов, входящих в состав бериллиевых руд.

При избирательном измельчении целесообразно применять мелкие шары или гальку, мельницу с центральной разгрузкой, причем частота вращения мельницы должна быть пониженной. Легко измельчающиеся частицы отделяют от минералов бериллия на грохотах или чаще всего в спиральных и реечных классификаторах. Для второй стадии классификации применяют чашевые классификаторы, гидроциклоны, центрифуги, гидросепараторы.

Обогащение бериллиевых руд методом избирательного измельчения целесообразно применять перед флотацией для удаления в отвал мягких и хрупких минералов породы, которые резко ухудшают процесс флотации, увеличивают расход флотационных реагентов.

Фактически этот метод применяется и при ручной или радиометрической сортировке руд, когда менее твердые куски породы, измельчаясь ранее бериллиевых минералов, удаляются в подрешетный продукт. Следовательно, избирательное измельчение является предварительным или вспомогательным процессом, при котором возможно получить отвальные шламы, но трудно или невозможно получить кондиционные концентраты.

Иногда в рудах, содержащих слюдистые сланцы и тальк содержание минералов, обладающих низкой твердостью, составляет (70-80) %.

В этом случае степень обогащения бериллия в пескавой части достигает 8-10, чаще она равна 2-4 (при выходе отвальных шламов 40-50 %). Извлечение бериллия в песковую часть составляет (70-90) % [9].

2 Объект и методы исследования

2.1 Теория выбранного процесса. Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы

Объектом исследования принят процесс флотации бертрандит-фенакитовой руды, который реализован в рамках схемы флотационного получения бериллиевого концентрата (рисунок 3).

Для тонковкрапленных (субмикроскопических), состоящих из преобладающей пустой породы, в которой менее равномерно распределены (вкраплены) рудные минералы в виде отдельных зёрен, бериллиевых руд основным методом обогащения является флотация.

Флота́ция (фр. flottation, от flotter - плавать) - один из методов обогащения полезных ископаемых, который основан на различии способности минералов удерживаться на межфазовой поверхности, обусловленный различием в удельных поверхностных энергиях.

Гидрофобные (плохо смачиваемые водой) частицы минералов избирательно закрепляются на границе раздела фаз, обычно газа и воды, и отделяются от гидрофильных (хорошо смачиваемых водой) частиц. При флотации пузырьки газа или капли масла прилипают к плохо смачиваемым водой частицам и поднимают их к поверхности.

В зависимости от характера и способа образования межфазных границ (вода – масло – газ), на которых происходит закрепление разделяемых компонентов различают несколько видов флотации.

- **Масляная.** При перемешивании измельченной руды с маслом и водой сульфидные минералы избирательно смачиваются маслом и всплывают вместе с ним на поверхность воды, а порода (кварц, полевые шпаты) осаждается.
- **Пленочная.** Способность гидрофобных минеральных частиц удерживаться на поверхности воды, в то время как гидрофильные тонут в ней, была

использована А. Нибелиусом (США, 1892) и Маквистеном (Великобритания, 1904) для создания аппаратов плёночной флотации, в процессе которой из тонкого слоя измельченной руды, находящегося на поверхности потока воды, выпадают гидрофильные частицы.

- **Пенная.** При которой через смесь частиц с водой пропускают мелкие пузырьки воздуха, частицы определённых минералов собираются на поверхности раздела фаз «воздух-жидкость», прилипают к пузырькам воздуха и выносятся с ними на поверхность в составе трехфазной пены (с добавлением пенообразователя, который регулирует устойчивость пены). Пену в дальнейшем сгущают и фильтруют. В качестве жидкости чаще всего используется вода, реже насыщенные растворы солей (разделение солей, входящих в состав калийных руд) или расплавы (обогащение серы).

Для образования пузырьков предлагались различные методы: образование углекислого газа за счёт химической реакции (С. Поттер, США, 1902), выделение газа из раствора при понижении давления (Ф. Элмор, Великобритания, 1906) – вакуумная флотация, энергичное перемешивание пульпы, пропускание воздуха сквозь мелкие отверстия.

Для проведения пенной флотации производят измельчение руды до крупности (0,5-1,0) мм в случае природногидрофобных неметаллических полезных ископаемых с небольшой плотностью (сера, уголь, тальк) и до (0,1-0,2) мм для руд металлов. Для создания и усиления разницы в гидратированности разделяемых минералов и придания пене достаточной устойчивости к пульпе добавляются флотационные реагенты.

Существует несколько типов флотореагентов, отличающихся принципом действия:

- Собиратели – реагенты, избирательно сорбирующиеся на поверхности минерала, который необходимо перевести в пену, и придающие частицам гидрофобные свойства. В качестве собирателей используют вещества, молекулы которых имеют дифильное строение: гидрофильная полярная

группа, которая закрепляется на поверхности частиц, и гидрофобный углеводородный радикал.

Чаще всего собиратели являются ионными соединениями; в зависимости от того, какой ион является активным различают собиратели анионного и катионного типов. Реже применяются собиратели, являющиеся неполярными соединениями, не способными к диссоциации. Типичными собирателями являются: ксантогенаты и дитиофосфаты – для сульфидных минералов, натриевые мыла́ и амины – для несульфидных минералов, керосин – для обогащения угля. Расход собирателей составляет сотни граммов на тонну руды;

- Регуляторы – реагенты, в результате избирательной сорбции которых на поверхности минерала, последний становится гидрофильным и не способным к флотации. В качестве регуляторов применяют соли неорганических кислот и некоторые полимеры;
- Пенообразователи – предназначены для улучшения диспергирования воздуха и придания устойчивости минерализованным пенам. Пенообразователями служат слабые поверхностно-активные вещества. Расход пенообразователей составляет десятки граммов на тонну руды.
- Реагенты-активаторы – это реагенты, создающие условия, благоприятствующие закреплению собирателей на поверхности минералов.
- Реагенты-депрессоры – это реагенты, применяемые для предотвращения гидрофобизации минералов собирателями. Они предназначены для повышения избирательности (селективности) флотации при разделении минералов, обладающих близкими флотационными свойствами.

После подготовки пульпа поступает во флотационные машины. Образование флотационных агрегатов (частиц и пузырьков воздуха) происходит при столкновении минералов с пузырьками воздуха, вводимого в

пульпу, а также при возникновении на частицах пузырьков газов, выделяющихся из раствора.

На флотацию влияют ионный состав жидкой фазы пульпы, растворённые в ней газы (особенно кислород), температура, плотность пульпы. На основе изучения минералого-петрографического состава обогащаемого полезного ископаемого выбирают схему флотации, реагентный режим и степень измельчения, которые обеспечивают достаточно полное разделение минералов. Лучше всего флотацией разделяются зёрна размером (0,1-0,04) мм. Более мелкие частицы разделяются хуже, а частицы мельче 5 мкм ухудшают флотацию более крупных частиц.

Отрицательное действие частиц микронных размеров уменьшается специфическими реагентами. Крупные (1-3 мм) частицы при флотации отрываются от пузырьков и не флотируются. Поэтому для флотации крупных частиц (0,5-5 мм) в СССР были разработаны способы пенной сепарации, при которых пульпа подаётся на слой пены, удерживающей только гидрофобизированные частицы. С той же целью созданы флотационные машины кипящего слоя с восходящими потоками аэрированной жидкости.

Пенная флотация – гораздо более производительный процесс, чем масляная и плёночная флотации. Этот метод применяется наиболее широко [11]. При флотации с применением олеиновой кислоты сильными депрессорами (подавителями) берилла служат H_2SO_4, жидкое стекло;

Активаторы для берилла HF (плавиковая кислота), NaOH (едкий натр), Na_2CO_3 (карбонат натрия - сода).

В зависимости от активатора различают кислотные и щелочные схемы флотации.В щелочных схемах измельченную руду обрабатывают раствором NaOH или Na_2SO_3, удаляют шламы и флотируют берилл олеиновой кислотой. Извлечение берилла во флотационные концентраты составляет (70 – 90) %. Принципиальная схема флотации представлена на рисунке 3.

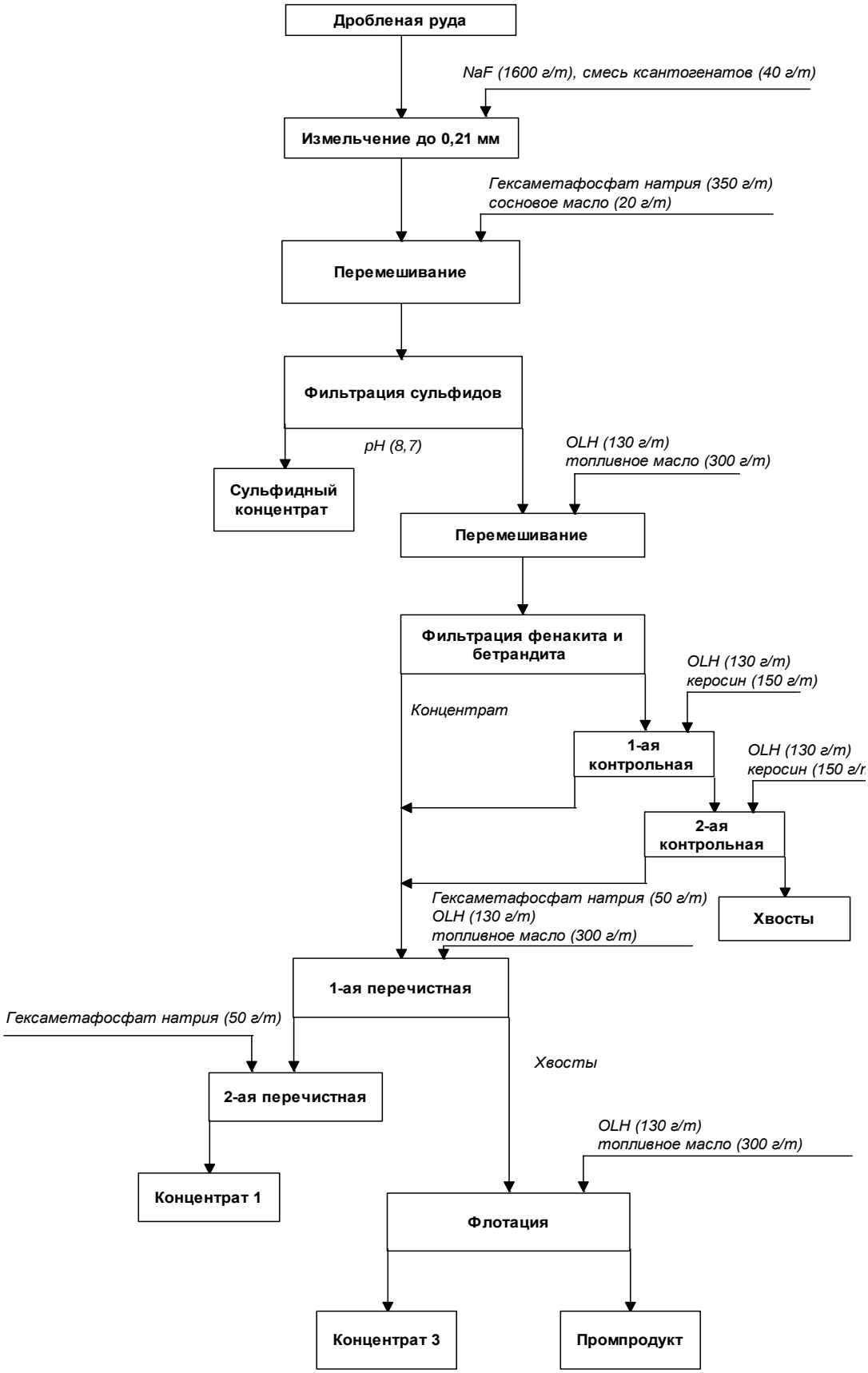

Рисунок 3 – Схема флотации фенокит-бетрадитовой руды месторождения Маунт-Уилер (США)

2.2 Краткий обзор существующего аппаратурного оформления процесса флотации

Для флотационного обогащения созданы сотни машин и аппаратов, из которых лишь несколько десятков нашли широкое промышленное применение. Общим для всех современных конструкций флотационных машин является использование в качестве рабочего агента воздуха в виде мелких пузырьков, образуемых в пульпе тем или иным способом.

Минерализация воздушных пузырьков происходит при непосредственном столкновении их с частицами, скольжении частиц по поверхности пузырьков, выделении пузырьков на поверхности частиц и сочетании этих явлений. Относительная роль способов минерализации зависит от применяемых способов аэрации и конструкций флотационных машин.

Классификация флотационных машин

Флотационные машины различаются по конструктивным признакам, способу аэрации и технологическому назначению. В большинстве случаев их классификации за определяющий признак принимают способ аэрации. По этому признаку флотационные машины могут быть раз делены на следующие группы: механические, пневмомеханические, пневмогидравлические, пневматические, электрофлотационные, флотационные машины с изменяемым давлением, комбинированные.

- механические

Аэрация пульпы осуществляется засасыванием воздуха из атмосферы мешалками различных конструкций; Механические флотационные машины конструкции Механобра типа ФМ с вместимостью камер от 0,14 до 6,3. Стандартная машина типа ФМ собирается из двухкамерных секций: первая камера является всасывающей, вторая прямоточной. Схема флотационной машины представлена на рисунке 4. В случае необходимости машина может собираться из одних всасывающих камер или из звеньев, состоящих из одной

всасывающей или нескольких прямоточных камер. В каждой камере устанавливается блок аэраторов, который полностью монтируется на заводе и является самостоятельным конструктивным узлом. Блок аэратора состоит из вертикального вала *10* с насаженным на нем импеллером.

Импеллер представляет собой диск *19* с шестью радиальными лопатками *17*. Вал вращается внутри трубы *2*, верхний конец которой закрыт наглухо. В нижней части труба расширяется и к ней крепится надымпеллерный диск *9* с лопатками статора *16*, расположенными под углом 60° к радиусу. Направляющие лопатки статора способствуют превращению тангенциальной составляющей динамического напора пульпы в статический, увеличивая тем самым аэрацию. Радиальный зазор между лопатками импеллера и статора не должен превышать 5-8 мм.

Исходная пульпа из приемного кармана *1* поступает в аэратор по трубе *20*, а воздух по трубе *3*. Для внутрикамерной циркуляции надымпеллерный диск имеет круглые отверстия расположенные по окружности над лопатками *17* импеллера.

Кроме того, для регулирования внутрикамерной циркуляции в нижней части трубы *2* имеется отверстие *18*, которое прикрывается заслонкой *14*. Тягой *5* она устанавливается в такое положении, чтобы был обеспечен оптимальный поток пульпы на импеллер, необходимый для достижения максимальной аэрации.

Для всасывания промпродуктов в каждой камере может быть установлен патрубок, идущий от центральной трубы к передней стенке камеры. В тех камерах, куда промпродукт не по ступает, патрубок не устанавливается, а отверстие в расширен ной части вертикальной трубы закрывается пробкой *15*. Пенный продукт удаляется в сборный желоб.

Всасывающая и прямоточная камеры разделены перегородкой *4*. В каждой второй камере секции или в последней камере прямоточной машины

имеется устройство для регулирования уровня пульпы и удаления камерного продукта (хвостов).

Основная часть пульпы переливается через отверстие *13* в боковой стенке *12* камеры и поступает в приемный карман следующей камеры. Чтобы вместе с камерным продуктом не уходила пена, разгрузочное отверстие экранировано перегородкой *6*. Для регулирования высоты слоя пены в камере (секции) или, что то же, уровня пульпы разгрузочное отверстие со стороны межкамерного кармана прикрыто заслонкой *11*, положение которой регулируется устройством *8*. Для разгрузки крупных частиц (песков), находящихся в нижнем слое пульпы, внизу межкамерной перегородки *12* имеется небольшое отверстие, которое может перекрываться шибером при опускании его тягой *7*.

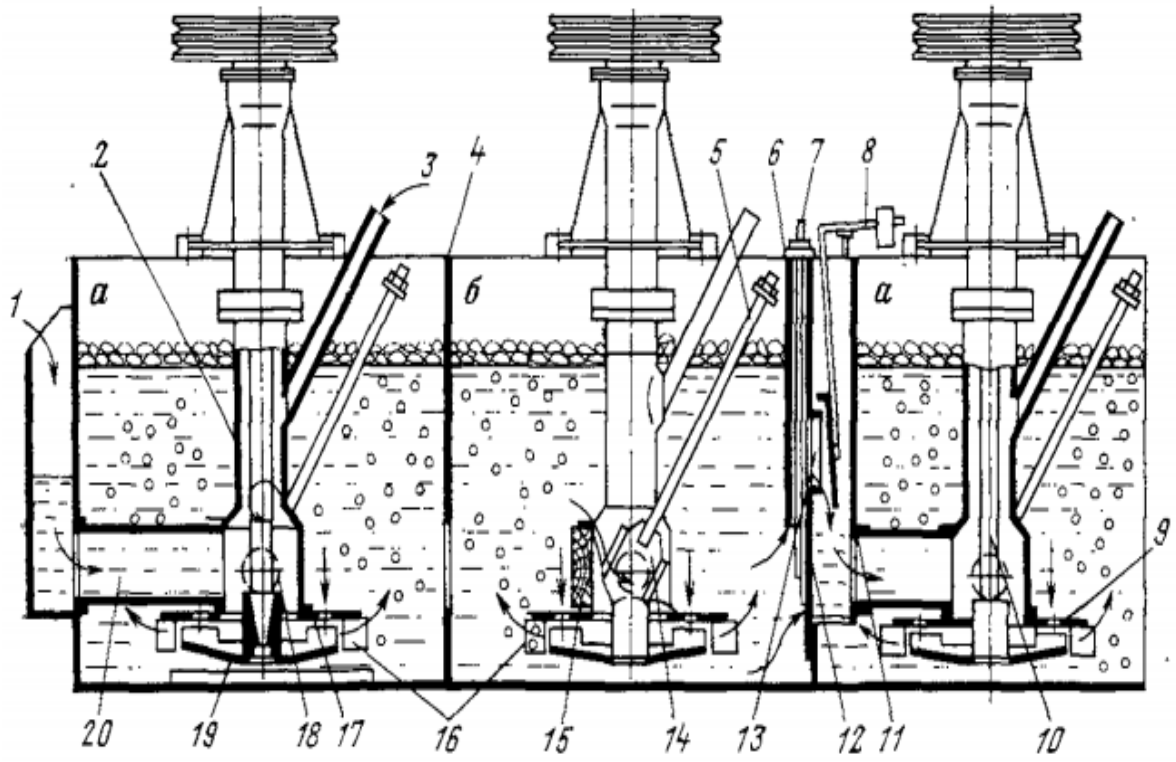

Рисунок 4 – Флотационная машина конструкции Механобра с всасывающими {а) и прямоточной (б) камерами

- пневмомеханические

Аэрация пульпы осуществляется сжатым воздухом, подаваемым в машину от вентиляторов, воздуходувок или компрессоров, деспиргирование которого осуществляется мешалками или виброустройствами различной конструкции;

Флотационная машина «Максвелл» (Канада) представлена на рисунке 5. Чан вместимостью от 4,25 до 56,6 м^3, в котором пульпа перемешивается лопастным импеллером *2*, а воздух подводится снизу через трубу *1* с обратным резиновым клапаном и специальной ·распределительной головкой. Пенный желоб *5* расположен внутри чана и закреплен на четырех успокоительных пластинах *4*. Исходное питание поступает по трубе *6*; камерный продукт выходит через трубу *3*.

В других флотационных машинах, созданных на основе аги тационных чанов, воздух подается через кольцевой воздуховод, гуммированный резиной с отверстиями для выхода воздуха и помещаемый внутрь чана.

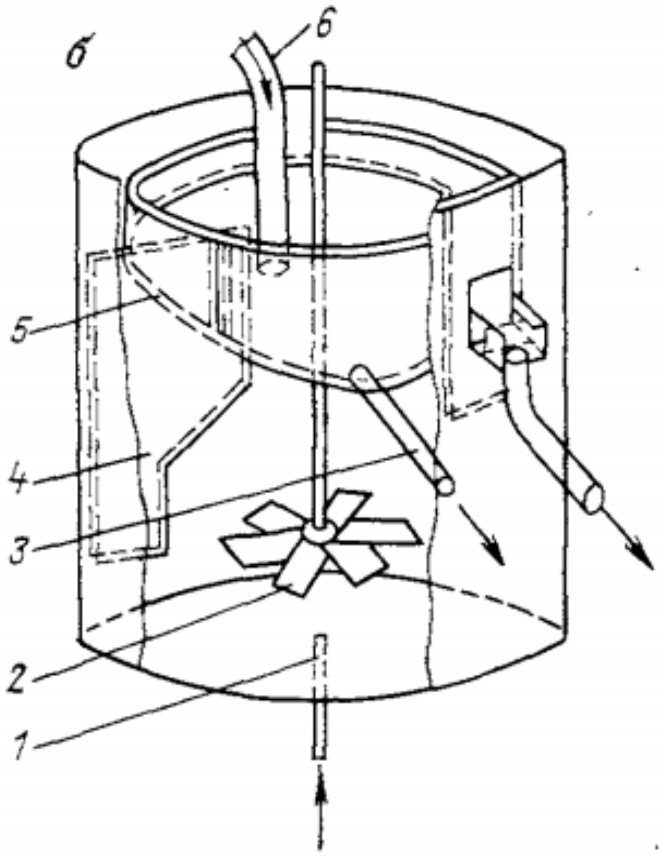

Рисунок 5 – Флотационная машина «Максвелл»

- пневмогидравлические

Аэрация пульпы осуществляется самоаэрацией или принудительной подачей сжатого воздуха, в которых для диспергирования при меняются различные гидравлические устройства;

К этой группе машин относятся флотационная машина с циклонными аэраторами, эжекторная флотационная машина, а также флотационная машина «Апатит». Схема флотационной машины с аэраторами представлена на рисунке 6.

Во флотационной машине с циклонными аэраторами аэраторы представляют собой центробежные форсунки, в которых распыление подаваемого под давлением в $1{,}5 \cdot 10^4$ Па воздуха происходит под воздействием вихревых потоков жидкости, вытекающей из циклона в виде веера. В качестве жидкости используется пульпа, подаваемая в аэратор. Объем циркулирующей пульпы составляет 25-30 % вместимости машин. Циклонные аэраторы расположены вдоль машин корытного типа по осевой линии на расстоянии 1200 мм друг от друга. Пена удаляется с двух сторон самотеком через пенные пороги или пеносъемники. Хвосты отводятся через разгрузочный карман.

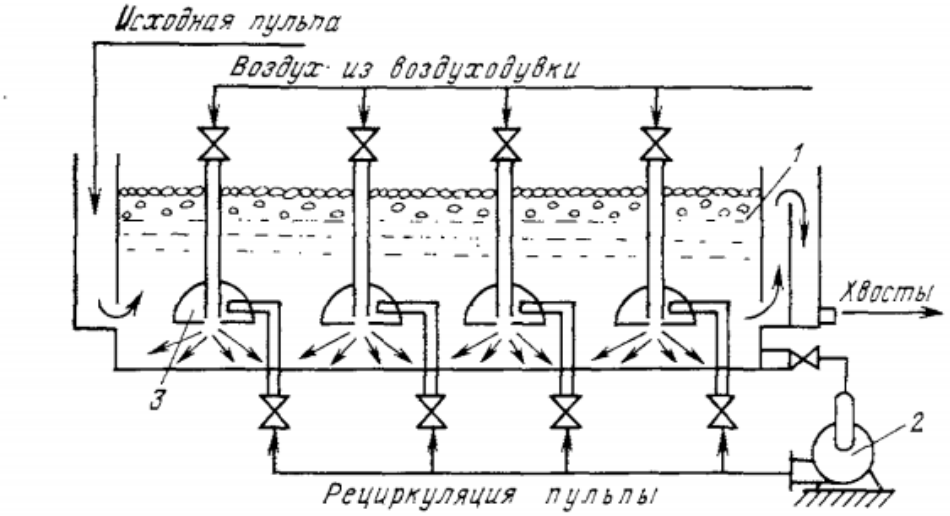

Рисунок 6 – Флотационна машина с циклонным аэратором:

1 – ванна, 2 – насос, 3 – циклонные аэраторы

- пневматические

Аэрация пульпы осуществляется сжатым воздухом, подаваемым через патрубки или пористые перегородки. К основным типам таких машин относятся аэролифтные, колонные, циклонные и пенной сепарации.

Флотация в колонной машине осуществляется при противоточном движении воздушных пузырьков и потоков пульпы. Пульпа движется вниз к разгрузочному патрубку *7* навстречу всплывающим пузырькам.

Воздушные пузырьки образуют на поверхности колонны пену, которая орошается для удаления частиц пустой породы водой из трубы *3*.

Пена отводится по трубе *2*. Скорость нисходящих потоков пульпы должна быть меньше скорости всплывания воздушных пузырьков.

Превышение этой скорости приводит к локальному скоплению пузырьков, их коалесценции и периодическому выбросу воздушных пробок.

Флотационная колонна имеет ряд преимуществ, по сравнению с обычными флотационными машинами:

- она занимает 5-10 % плщади, необходимой для обычных машин;

- не имеет движущихся частей, что снижает расход электроэнергии и за траты на обслуживание;

- может быть легко автоматизирована и управляться с центрального пульта.

Основные трудности, возникающие при работе колонных машин, связаны с забивкой аэраторов.

Принципиальная схема колонной флотационной машины представлена на рисунке 7.

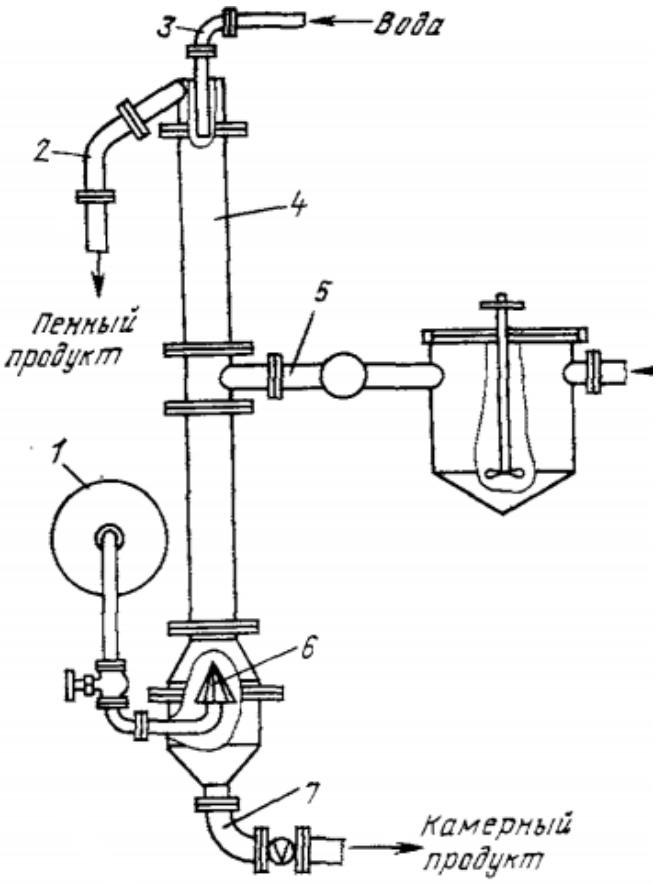

Рисунок 7 – Колонная флотационная машина

- электрофлотационные

Для ионной флотации и очистки сточных вод в последние годы начинают широко применять электрофлотационные машины, аэрация пульпы в которых осуществляется в результате электролиза водной части пульпы. При электролизе выделяются очень мелкие пузырьки (0,05-0,2 мм) водорода и кислорода, обеспечивающие эффективную флотацию тонких взвесей и хлопьев. Применение элсктрофлотационных машин для очистки сточных вод оказалось не менее эффективным, чем компрессионных. Затраты электроэнергии в обоих случаях составляют 0,3-0,4 кВт· ч/м^3 очищаемой жидкости. Принципиальная схема одной из разновидностей конструкции электрофлотационной машины представлена на рисунке 8.

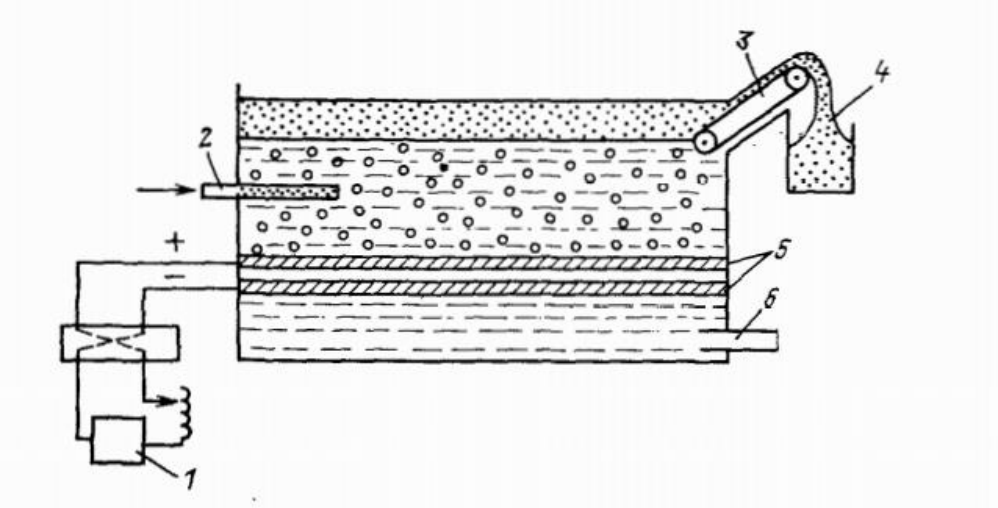

Рисунок 8 – Электрофлатационная машина:
1 – выпрямитель, 2 – труба для подачи исходного раствора, 3 – пеносъемник, 4 – желоб, 5 – электроды, 6 – патрубок для отводаочищенного раствора

- флотационные машины с изменяемым давлением

Аэрация обеспечивается выделением растворенных газов из пульпы при снижении давления над ней;

К этой группе машин относятся *вакуумные и компрессионные* флотационные машины. В вакуумных флотационных машинах пульпа, предварительно обработанная реагентами и насыщенная воздухом, поступает в вакуумную камеру, в которой (вследствне снижения давления над пульпой) на поверхности гидрофобных частиц выделяются пузырьки растворенного воздуха, приводя к их флотации.

Гидрофильные частицы осаждаются на дно камеры и разгружаются в сборник хвостов. Применение вакуумной флотации позволило бы повысить эффективность разделения топких шламов, однако конструктивные трудности ограничивают их применение в настоящее время несколькими угольными фабриками в Великобритании.

В компрессионных машинах флотация осуществляется в результате выделения очень мелких пузырьков при снижении давления над пульпой. Пульпа перед подачей в машину подвергается насыщению сжатым воздухом

при избыточном давлении ($3 \cdot 10^5$-$4 \cdot 10^5$) Па, а затем подается в ванну машин, в которой при падении давления над пульпой до атмосферного происходит выделение растворенных газов в виде микропузырьков непосредственно на поверхности частиц.

Компрессионные машины широко применяются для флотационной очистки сточных вод промышленных предприятий.

- комбинированные

Аэрация пульпы осуществляется несколькими способами. Аэрирующие устройства устанавливаются в емкостях корытного, колонного и камерного типов.

Флотационные машины *корытного типа* представляют собой ванну, вытянутую в длину. Исходная пульпа поступает с одного конца ее и выходит с другого в виде хвостов. Пену удаляют в желоба по всей длине ванны через боковые борта (обычно самотечным способом).

Уровень пульпы регулируют скоростью разгрузки хвостов. Флотационные машины колонного типа представляют собой вертикальные устройства круглого, прямоугольного или эллипсовидного сечения. Концентрат удаляется с верхней, а хвосты с нижней частей колонны; исходное питание поступает обычно в среднюю часть.

Флотационные машины *камерного типа* состоят из отдельных камер, в каждой из которых устанавливается один или не сколько аэраторов. В зависимости от способа продвижения пульпы из предыдущей камеры в последующую машины под разделяются на камерные, прямоточные камерные или камерно-прямоточные.

В *камерных машинах* уровень пульпы регулируется в каждой камере. Пульпа из одной камеры в другую попадает через специальный разгрузочный карман. Образующийся в полости работающего импеллера небольшой вакуум обеспечивает возможность подсоса в аэратор промпродуктов

флотации. Благодаря этому в одной машине можно осуществить несколько технологических операций.

Недостатками камерных машин являются: более сложный надзор из-за необходимости регулирования уровня пульпы в каждой камере; ограничение производительности машины по потоку производительностью импеллера; непостоянство аэрации при колебаниях потока пульпы.

В *прямоточных камерных* машинах, в которых пульпа течет по длине машины самотеком, уровень пульпы регулируется только в последней камере, а одинаковый дебит проходящей через аэратор пульпы обеспечивает постоянство ее аэрации. Это исключает недостатки, присущие камерным машинам. Для прохода пульпы в межкамерных перегородках по ширине всей камеры имеются большие отверстия, нижний уровень которых находится на уровне надымпеллерного диска, а верхний на 300-400 мм ниже уровня пульпы.

Недостатком прямоточных машин является понижение уровня пульпы вдоль машины, из-за чего в каждой ка мере устанавливается своя высота пенного по рога и своя высота лопастей пеносъемника.

Камерно-прямоточные машины собираются из секций, состоящих из нескольких камер. Первая камера называется всасывающей. Пульпа в нее подается непосредственно на импеллер, а остальные камеры работают как прямоточные. Уровень пульпы регулируется в последней камере каждой секции. Кроме того, существуют так называемые *монокамерные флотационные машины*, состоящие из одной камеры. Эти машины обычно устанавливают на сливе мельницы, между ней и классифицирующим устройством, или перед основным фронтом флотации. Камерными обычно бывают машины механического и пневмомеханического типа, корытными- машины всех других типов, колонными- машины пневматического типа.

2.3 Аппартурно-технологическая схема флотационного получения бериллиевого концентрата

После добычи фенакит-бертрандитовой руды Ермаковского месторождения, руда направляется в бункер, на временное хранение. Из временного хранилища рудный материал доставляется элеватором и высыпается в расходный бункер (А-1) валковой дробилки (А-2). После дробления рудный материал направляется ленточным конвейером на грохот (А-3), где проходит разделение руды по крупности. Недоизмельченная руда, проходя по поверхности грохота, ссыпается в бункер (А-4), откуда элеватором снова подается в дробилку (А-2). Руда, прошедшая сквозь сита грохота, ленточным конвейером подается в шаровые мельницы (А-5). Для тонкого помола в шаровую мельницу так же подается вода, соотношением Т:Ж = 1:2-2,5. На выходе из мельниц пульпа попадает в классификатор. Пульпа, содержащая частицы необходимого размера, направляются в агитатор (А-6), по трубопроводу в верхнюю часть аппарата подается гесаметафосфат натрия ($Na_6P_6O_{18}$), фторид натрия (NaF).

После смешения пульпа подается в первый флотатор ($А\text{-}7_1$). Во флотатор олеиновая кислота и керосин подаются вручную. Камерный продукт первой флотации самотеком поступает во второй ($А\text{-}7_2$) и третий флотатор ($А\text{-}7_3$) для контрольной флотации, куда также вручную добавляется олеиновая кислота и керосин. Пенные продукты первой и двух контрольных флотаций по желобу самотеком поступают на перечистную флотацию 1 во флотатор ($А\text{-}7_4$), аналогично подается раствор гексафосфата натрия, олеиновая кислота и керосин подаются вручную.

Камерный продукт первой перечистной флотации самотеком направляется на вторую перечистную флотацию во флотатор ($А\text{-}7_5$), куда добавляется гексафосфат натрия и далее также самотеком отправляется на вторую флотацию во флотатор ($А\text{-}7_6$), куда подаются вручную олеиновая кислота и керосин.

Камерный продукт второй флотации из А-7_6 вместе с камерным продуктом второй контрольной флотации из А-7_3 на шламовое поле.

Пенный продукт второй флотации вновь направляется на первую перечистную флотацию в А-7_4, пенные продукты двух перечистных флотаций перекачивается в сгуститель (А-8), После сгущения полученной пульпы концентрата, сгущенная часть подается на фильтр-пресс (А-9). Обезвоженный концентрат удаляется из пресс-фильтра и поступает на ленточный конвейер (А-10), которым подается в расходный бункер (А-11) барабанных сушилок. Шнековыми питателем, после концентрат подают в сушильные печи (А-12), откуда доставляется на склад. Уносимые частицы конечного продукта улавливаются пылесборной камерой (А-13), после для дополнительной очистки от взвешенных частиц проходит через циклон (А-14) и абсорбер (А-15).

Принципиальная технологической схемы флотационного получения бериллиевого концентрата представлена на рисунке 9.

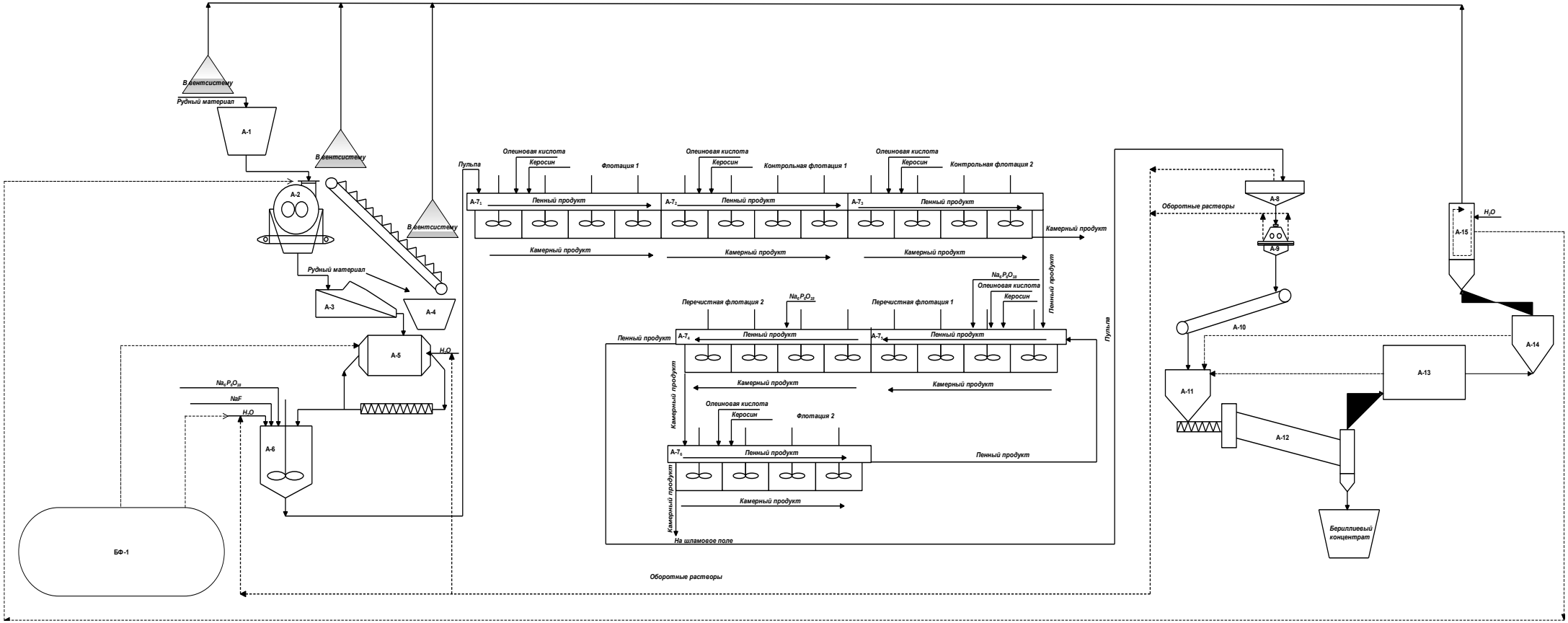

Рисунок 9 – Технологическая схема флотационного получения бериллиевого концентрата

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

7.1 Расчет эффективного фонда рабочего времени

Режим работы цеха – непрерывный, следовательно, необходимо 3 смены, продолжительностью 8 часов каждая. Для корректной работы производства необходимо пять производственных бригад [34]:

Рассчитаем длительность сменооборота:

$$T_{см.об.} = T_M \cdot n_б, \quad (25)$$

где: $n_б$ – число бригад;

T_M – число дней, когда бригада ходит в смену (3 дня).

$$T_{см.об} = 5 \cdot 3 = 15 \, дней$$

За один сменооборот бригада отдыхает 6 дней и 146 дней за год. Поэтому на одного среднесписочного рабочего приходится 219 рабочих (из них 73 ночных) и 146 выходных дней. Баланс рабочего времени представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Баланс рабочего времени среднесписочного рабочего

	Показатель	Дни	Часы
1	Календарное число дней	365	2920
2	Нерабочие дни, выходные	146	1168
3	Номинальный фонд рабочего времени	219	1752
4	Планируемые выходные:		
	А) очередные и дополнительные отпуска	34	304
	Б) по болезни	8	64
	В) выполнение общественных обязанностей	1	8
	Г) отпуск в связи с учебой	3	24
	ИТОГО:	50	400
5	Эффективный фонд рабочего времени	169	1352

7.2 Расчет эффективного фонда времени работы оборудования

Основной расчетный период принимаем равный одному календарному году – 365 дней или 8760 часов.

Номинальный фонд работы оборудования:

$$T_H = Д_Р \cdot R_Р, \quad (26)$$

где: $Д_Р$ – количество рабочих дней в расчетном периоде;

$R_Р$ – количество рабочих часов в сутки.

При непрерывном режиме работы номинальный фонд времени равен календарному: $T_H = T_K = 8760$ часов.

Эффективный фонд времени определяется следующим образом:

$$T_{эф} = T_K - T_{рем} - T_{ТО}, \quad (27)$$

где: $T_{рем}$ – время простоя оборудования на ремонты;

$T_{ТО}$ – время технологических остановок.

Для основного аппарата – барабанно-вращающейся печи определим время работы и простоя на ремонты (таблица 18).

Таблица 18 – Время работы время простоя при ремонте

Время работы между ремонтами (Т), час			Время простоя при ремонте (Т′), час		
Капитальный	Средний	Текущий	Капитальный	Средний	Текущий
51840 (6 лет)	17280 (2 года)	720 (1 мес.)	2190 (3 мес.)	360 (15 дней)	16 (1,5 дня)

Общее количество ремонтов за ремонтный период:

$$R = \frac{R_Ц}{T_Т}, \quad (28)$$

где: $R_Ц$ – длительность ремонтного цикла;

$T_Т$ – время работы оборудования между текущими ремонтами.

$$R = \frac{51840}{720} = 72 \text{ ремонта за ремонтный цикл}$$

Длительность ремонтного цикла:

$$\frac{R_Ц}{T_Н} = \frac{51840}{8760} = 6 \text{ лет.}$$

Количество средних ремонтов за ремонтный цикл:

$$R_С = \frac{R_Ц}{T_С} - 1, \quad (29)$$

где: $T_С$ – пробег оборудования между средними ремонтами;

$$R_С = \frac{51840}{17280} - 1 = 2 \text{ средних ремонта за ремонтный цикл.}$$

Количество текущих ремонтов:

$$R_Т = \frac{R_Ц}{T_С} - R_С - 1 = \frac{51840}{720} - 2 - 1 = 69 \text{ текущих ремонтов}$$

Время на ремонт оборудования в расчетный период, с учетом проведения 1 среднего и 11 текущих ремонтов:

$$T_{рем} = 11 \cdot T_Т^{'} + T_{ср}^{'} = 11 \cdot 16 + 360 = 536 \text{ ч}$$

Время технологически неизбежных остановок:

$$T_{ТО} = T_{ос} + T_П, \quad (30)$$

где: $T_{ОС}$ – время остановки (8 ч);

$T_П$ – время пуска (6 ч).

$$T_{ТО} = 8 + 6 = 14 \text{ часов}$$

Эффективный фонд рабочего времени оборудования:

$$T_{эф} = T_К - T_{рем} - T_{ТО} = 8760 - 536 - 16 = 8208 \text{ часов} = 342 \text{ дня.}$$

7.3 Расчет численности основных рабочих, ИТР, МОП и служащих

Принимая во внимание, количество необходимых точке наблюдения за процессом и операций по обслуживанию процесса, определим число производственных рабочих. При расчетах учтем объем работы на участках цеха, требующих управления.

1) Расчет численности основных рабочих

Явочное число основных рабочих в сутки определяется формулой:

$$R_{яв} = \frac{1}{H_{обс}} \cdot F \cdot C \quad (31)$$

где: $H_{обс}$ – количество оборудования, которое обслуживает 1 человек (6);

F – количество установок (42);

C – количество смен в сутки (3).

$$R_{яв} = \frac{1}{6} \cdot 40 \cdot 3 = 21 \text{ человек}$$

Определим списочное число основных рабочих:

$$R_{сп} = R_{яв} \cdot \frac{T_{эф.обор.}}{T_{эф.раб.}} \quad (32)$$

где: $T_{эф.обор}$ – проектируемое число дней работы оборудования в год;

$T_{эф.раб.}$ – проектируемое число дней работы в год одного рабочего,

$$К = \frac{T_{эф.обор.}}{T_{эф.раб.}} = \frac{342}{169} = 2{,}02,$$

$$R_{сп} = 21 \cdot \frac{342}{169} = 21 \cdot 2{,}02 = 43 \text{ человек.}$$

Приведем состав рабочего персонала ниже в таблице 19.

Таблица 19 – Состав рабочего персонала

Наименование профессий	Разряд	Число рабочих в смену	$R_{яв}$ в сутки	$R_{сп}$ в сутки	Число рабочих дней в году	Число рабочих дней оборудования	Число смен в сутки
Аппаратчик	5	3	9	17	169	342	3
Аппаратчик	4	2	6	13	169		
Аппаратчик	3	2	6	13	169		

2) Расчет численности дежурного персонала

Сложное приборное оформление проектируемого цеха, а также специфичность производства предусматривают наличие дежурного обслуживающего персонала следующего состава, а именно дежурных: слесаря, электрика и дружного КИПиА (по контрольно-измерительным приборам и автоматике).

Списочное число рабочих дежурного персонала:

$$R_{яв} = 3 \cdot 3 = 9 \text{ чел/сут};$$

$$R_{сп} = R_{яв} \cdot K = 9 \cdot 2{,}02 = 18 \text{ чел/сут}.$$

Сведем число дежурного персонала в таблицу 20.

Таблица 20 – Количество дежурного персонала

Наименование профессий	Разряд	Число рабочих в смену	$R_{яв}$ в сутки	$R_{сп}$ в сутки	Число рабочих дней в году	Число рабочих дней оборудования	Число смен в сутки
Слесарь	5	1	3	6	169	342	3
Электрик	5	1	3	6	169		
Сл. КИПиА	5	1	3	6	169		

3) Расчет численности ИТР, МОП и служащих

Расчет численности инженерно-технических работников и служащих производится с учетом потребности цеха в каждой группе работников (таблица 21).

Таблица 21– Численность ИТР, МОП и служащих

№	Наименование должности	Категория	Количество работников
1	Начальник цеха	ИТР	1
2	Технолог цеха	ИТР	1
3	Мастер смены	ИТР	5
4	Ремонтные рабочие	МОП	3
5	Табельщик	Служащий	1
6	Уборщица	МОП	3
		Итого:	14

7.4 Расчет годового фонда заработной платы

Годовой фонд заработной платы складывается из нескольких статей: расчетные фонды заработной платы (ЗП) основных и вспомогательных рабочих; ЗП инженерно-технических работников, младшего обслуживающего персонала (МОП) и служащих.

1) Расчет фонда заработной платы основных рабочих

Фонд заработной платы основных рабочих складывается из основной и дополнительной ЗП.

Основной фонд ЗП, рассчитаем по следующей формуле:

$$З_{осн.} = З_{тар.} + Д_{пр.} + Д_{н.вр.} + Д_{бр.} + Д_{пр.д.} + Д_{врд.} \quad (33)$$

где: $З_{тар.}$ – тарифный фонд;

$Д_{пр.}$ – оплата премий;

$Д_{н.вр.}$ – доплаты за ночные смены;

$Д_{бр.}$ – доплата за бригадирство;

$Д_{пр.д.}$ – доплата за работу в праздники;

$Д_{врд.}$ – доплата за вредность.

1. Тарифный фонд:

$$З_{тар.} = З^{3}{}_{тар.} + З^{4}{}_{тар.} + З^{5}{}_{тар.} \quad (34)$$

где: $З^{3}{}_{тар.}$, $З^{4}{}_{тар.}$, $З^{5}{}_{тар.}$ – заработная плата по тарифным ставкам рабочих различной квалификации.

$$З_{тар.} = R_{сп.} \cdot T_{эф.} \cdot T_{ст.} \quad (35)$$

где: $R_{сп.}$ – списочное число рабочих;

$T_{эф.}$ – эффективное время работы одного среднесписочного рабочего;

$T_{ст.}$ – часовая тарифная ставка приведена в таблице 22.

Таблица 22 – Часовая тарифная ставка для аппаратчиков

Ставка	Разряд аппаратчика		
	5	4	3
$T_{ст}$, руб	90	80	70

$$З^{5}{}_{тар.} = 17 \cdot 1352 \cdot 90 = 2068560 \text{ руб.}$$

$$З^{4}{}_{тар.} = 13 \cdot 1352 \cdot 80 = 1406080 \text{ руб.}$$

$$З^{4}{}_{тар.} = 13 \cdot 1352 \cdot 70 = 1230320 \text{ руб.}$$

$$З_{тар.} = \sum_{i=5} З^{i}{}_{тар.} = 2068560 + 1406080 + 1230320 = 4704960 \text{ руб.}$$

2. Доплата за работу в ночное время, согласно Статье 154 Трудового Кодекса РФ (ТК РФ), осуществляется отчислением 40% от тарифной заработной платы. В проектируемом производстве ночной сменой считается смена с 0 часов до 8 часов. Рассчитать доплату за работу в ночное время можно по формуле:

$$Д_{н.вр.} = R^i_{сп} \cdot n_{н.с.} \cdot T^i_{ст} \cdot t_{см} \cdot П \quad (36)$$

где: $R^i_{сп}$ – суточное число основных рабочих ;

$n_{н.с.}$ – количество ночных смен;

$T^i_{ст}$ – часовая тарифная ставка аппаратчиков разных разрядов;

$t_{см}$ – время смены;

П – процент отчисления (0,4).

$$Д^5_{н.вр.} = 17 \cdot 73 \cdot 90 \cdot 8 \cdot 0{,}4 = 357408 \text{ руб.}$$

$$Д^4_{н.вр.} = 13 \cdot 73 \cdot 80 \cdot 8 \cdot 0{,}4 = 242944 \text{ руб.}$$

$$Д^3_{н.вр.} = 13 \cdot 73 \cdot 70 \cdot 8 \cdot 0{,}4 = 212576 \text{ руб.}$$

$$Д_{н.вр.} = \sum_{i=5} Д^i_{н.вр.} = 812928 \text{ руб.}$$

3. Доплата премий устанавливается согласно статье 135 ТК РФ, устанавливается внутренними локальными актами, поэтому примем доплату равную 30% от тарифной заработной платы:

$$Д^5_{пр.} = З_{тар.} \cdot 0{,}3 = 2068560 \cdot 0{,}3 = 620568 \text{ руб.}$$

$$Д^4_{пр.} = 1406080 \cdot 0{,}3 = 421824 \text{ руб.}$$

$$Д^3_{пр.} = 1230320 \cdot 0{,}3 = 369096 \text{ руб.}$$

$$Д_{пр.} = \sum_{i=5} Д^i_{пр.} = 1411488 \text{ руб.}$$

4. Доплата за бригадирство, согласно ТК, устанавливается для бригадира из числа рабочих, не освобожденных от основной работы на уровне 15% (если бригада более 6 человек) от заработной платы. Бригадиром может быть назначен, аппаратчик 5-го разряда. С учетом того, что задействовано 5 бригад, расходы на доплату бригадирства можно рассчитать следующим образом:

$$Д_{бр.} = n_{бр.} \cdot T_{эф.} \cdot T_{ст.} \cdot 0{,}15 \quad (37)$$

где: $n_{бр.}$ – число бригадиров (5);

$T_{эф.}$ – эффективный фонд рабочего времени (1352);

$T_{ст.}$ – тарифная ставка аппаратчика 5-го разряда (90).

$$Д_{бр.} = 5 \cdot 1352 \cdot 90 \cdot 0{,}1 = 91260 \text{ руб.}$$

5. Доплата за работу в праздничные дни

Примем, что в году 12 праздничных дней. Доплата работы в праздничные дни осуществляется по двойным тарифным ставкам (статья 153 ТК РФ):

$$Д_{пр.д.} = Д^{3}_{пр.д.} + Д^{4}_{пр.д.} + Д^{5}_{пр.д.} \quad (38)$$

$$Д_{пр.д.} = 2 \cdot R_{яв.} \cdot N \cdot T_{ст.} \cdot t_{см}$$

где: $R_{яв.}$ – явочное число рабочих;

N – число праздничных дней в году;

$T^{i}_{ст}$ – часовая тарифная ставка аппаратчиков разных разрядов

$t_{см}$ – время смены.

$$Д^{5}_{пр.д.} = 2 \cdot 9 \cdot 12 \cdot 90 \cdot 8 = 155520 \text{ руб.}$$

$$Д^{4}_{пр.д.} = 2 \cdot 6 \cdot 12 \cdot 80 \cdot 8 = 92160 \text{ руб.}$$

$$Д^{3}_{пр.д.} = 2 \cdot 6 \cdot 12 \cdot 70 \cdot 8 = 80640 \text{ руб.}$$

$$Д_{пр.д.} = \sum_{i=5} Д^{i}_{пр.д.} = 328320 \text{ руб.}$$

6. Доплата за вредность производства принята равной 25% от $З_{тар}$, так как производство бериллия относится к опасному, класс вредности уменьшается до третьего благодаря использованию средств индивидуальной защиты.

$$Д^{5}_{врд.} = З_{тар.} \cdot 0{,}25 = 2068560 \cdot 0{,}25 = 517140 \text{ руб.}$$

$$Д^{4}_{врд.} = 1406080 \cdot 0{,}25 = 351520 \text{ руб.}$$

$$Д^{3}_{врд.} = 1230320 \cdot 0{,}25 = 307580 \text{ руб.}$$

$$Д_{врд.} = \sum_{i=5} Д^{i}_{врд.} = 1176240 \text{ руб.}$$

Суммируя все статьи основной заработной платы, получим:

$$З_{осн.} = З_{тар.} + Д_{н.вр.} + Д_{пр.} + Д_{бр.} + Д_{пр.д.} + Д_{врд.} =$$

$$= 4704960 + 812928 + 1411488 + 91260 + 328320 + 1176240 = 7466576 \text{ руб.}$$

Определим дополнительную заработную плату по формуле:

$$З_{доп.} = З_{осн.} \cdot \frac{П_{отпуска}}{100} = 7466576 \cdot \frac{38}{100} = 2837299 \text{ руб.},$$

где: $П_{отпуска}$ – планируемые отпуска в год.

Годовой фонд заработной платы основных рабочих равен:

$$З_{общ.\ осн.} = З_{осн.} + З_{доп.} = 7466576 + 2837299 = 10303875 \text{ руб.}$$

Годовой фонд заработной платы с учетом районного коэффициента (для Томской области 1,3) и страховых взносов 30% (Пенсионный фонд РФ 22%; Фонд социального страхования 2,9%; Фонд обязательного медицинского страхования 5,1%):

$$З_1 = З_{общ.\ осн.} \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}3 = 10303875 \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}3 = 17413548{,}8 \text{ руб.}$$

Данные полученные в ходе расчета фонда заработной платы основных производственных рабочих сведены в таблицу 23.

Таблица 23 – Расчет годового фонда заработной платы основных рабочих

Категория рабочих	Основные				
Система оплаты труда	Повременная, сдельная, повременно-премиальная				
Условия труда	Приемлемые				
Статья	Обозначение	Единица измерения	Разряд		
			5	4	3
Тарифная ставка	$Т_{ст}$	руб/час	90	80	70
Численность списочных рабочих	$R_{сп}$	чел.	17	13	13
Фонд рабочего времени	$Т_{эф}$	Час	1352		
Тарифный фонд	$З_{тар}$	руб/год	2068560	1406080	1330320
Доплата за ночное время	$Д_{н.вр}$	руб/год	357408	242944	212576
Доплата премий	$Д_{пр}$	руб/год	620568	421824	369096
Доплата за бригадирство	$Д_{бр}$	руб/год	91260	–	–
Доплата за праздничные дни	$Д_{пр.д.}$	руб/год	155520	92160	80640
Доплата за вредность	$Д_{вред.}$	руб/год	517140	351520	307580
Основной фонд заработной платы	$З_{осн.}$	руб/год	7466576		
Дополнительный фонд заработной платы	$З_{доп}$	руб/год	2837299		
Годовой фонд заработной платы	$З_1$	руб/год	17413549		

2) Расчет фонда заработной платы дежурного персонала

Аналогично расчету годового фонда ЗП основных рабочих рассчитаем годовой фонд ЗП дежурного персонала:

$$З_{общ.дежур.} = З_{осн.} + З_{доп.} \quad (39)$$

$$З_{осн.} = З_{тар.} + Д_{н.вр.} + Д_{пр.} + Д_{пр.д.} + Д_{врд.}$$

Основная ЗП:

1. Тарифный фонд заработной платы вспомогательных рабочих, принимая часовую тарифную ставку для дежурного персонала равной 80 руб/час:

$$З_{тар.} = R_{сп.} \cdot T_{эф.} \cdot T_{ст.} = 18 \cdot 1352 \cdot 80 = 1946880 \text{ руб.}$$

2. Доплата за работу в ночное время – 40 % от:

$$Д_{н.вр.} = R_{сп.} \cdot n_{н.с.} \cdot T_{ст.} \cdot t_{см} \cdot П18 \cdot 73 \cdot 80 \cdot 8 \cdot 0{,}4 = 336384 \text{ руб.}$$

3. Премии – 15% от $З_{тар.}$:

$$Д_{пр.} = 1946880 \cdot 0{,}15 = 292032 \text{ руб.}$$

4. Доплата за работу в праздничные дни:

$$Д_{пр.д.} = R_{яв.} \cdot N \cdot T_{ст.} \cdot t_{см} = 9 \cdot 12 \cdot 80 \cdot 8 = 69120 \text{ руб.}$$

5. Доплата за вредность – 25% от $З_{тар.}$:

$$Д_{врд.} = 1946880 \cdot 0{,}25 = 486720 \text{ руб.}$$

$$З_{осн.} = 1946880 + 336384 + 292032 + 69120 + 486720 = 3131136 \text{ руб.}$$

Дополнительная ЗП:

$$З_{доп.} = З_{осн.} \cdot 0{,}38 = 3131136 \cdot 0{,}38 = 1189832 \text{ руб.}$$

$$З_{общ.дежур.} = 3131136 + 1189832 = 4320968 \text{ руб.}$$

Годовой фонд заработной платы с учетом районного коэффициента (1,3) и страховых взносов 30%:

$$З_2 = З_{общ.\ дежур} \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}3 = 4320968 \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}3 = 7302435{,}92 \text{ руб.}$$

Таблица 24 – Расчет годового фонда заработной платы дежурного персонала

Категория рабочих	Основные				
Система оплаты труда	Повременная, сдельная, повременно-премиальная				
Условия труда	Приемлемые				
Статья	Обозначение	Единица измерения	Профессия		
			Слесарь	Электрик	Слесарь КИПиА
Тарифная ставка	$Т_{ст}$	руб/час	80		
Численность списочных рабочих	$R_{сп}$	чел.	6	6	6
			Итого:	18	
Фонд рабочего времени	$Т_{эф}$	час	1352		
Тарифный фонд	$З_{тар}$	руб/год	1946880		
Доплата за ночное время	$Д_{н.вр}$	руб/год	336384		
Доплата премий	$Д_{пр}$	руб/год	292032		
Доплата за праздничные дни	$Д_{пр.д.}$	руб/год	69120		
Доплата за вредность	$Д_{вред.}$	руб/год	486720		
Основной фонд заработной платы	$З_{осн.}$	руб/год	3131136		
Дополнительный фонд заработной платы	$З_{доп}$	руб/год	1189832		
Годовой фонд заработной платы	$З_2$	руб/год	7202435		

3) Расчет годового фонда заработной платы ИТР, МОП и служащих

Оклады должностных лиц ИТР и младшего обслуживающего персонала (МОП) приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Численность ИТР, МОП и служащих.

№	Наименование должности	Категория	Количество работников	Оклад, руб.
1	Начальник цеха	ИТР	1	65000
2	Технолог цеха	ИТР	1	55000
3	Мастер смены	ИТР	5	45000
4	Ремонтные рабочие	МОП	3	22000
5	Табельщик	Служащий	1	15000
6	Уборщица	МОП	3	9000
		Итого:	14	–

1. Основной фонд заработной платы определяем путем умножения числа штатных единиц на их месячный оклад и на число месяцев работы в году. Число месяцев работы в году 11 месяцев.

$$З_{осн.} = 11 \cdot (65000 + 55000 + 5 \cdot 45000 + 3 \cdot 22000 + 15000 + 3 \cdot 8000) = 4785000 \text{ руб.}$$

2. Дополнительная заработная плата ИТР, МОП и служащих находим по формуле:

$$З_{доп.} = \frac{З_{осн.} \cdot Д_{отп.}}{В_к} = \frac{4875000 \cdot 30}{365} = 393288 \text{ руб.}$$

где: $З_{осн}$ – основной фонд заработной платы;

$Д_{отп}$ – календарное количество дней отпуска (30 дней);

$В_к$ – календарный год (365 дней).

3. Доплата за работу в праздничные дни (рассчитывалась для мастеров смены и уборщиц):

$$Д_{пр.д.} = \frac{Т_{окл.} \cdot N}{23{,}4} = \frac{45000 \cdot 12 + 9000 \cdot 12}{23{,}4} = 27692 \text{ руб.}$$

где: $Т_{окл.}$– месячный оклад;

N – количество праздничных дней в году (12);

23,4 – среднемесячное число рабочих дней.

4. Годовой фонд заработной платы ИТР, МОП и служащих:

$$З_{др.раб.} = З_{осн} + З_{доп.} + Д_{пр.д.} = 4785000 + 393288 + 27692 = 5205980 \text{ руб.}$$

С учетом районного коэффициента:

$$З_{з} = З_{др.раб.} \cdot 1{,}3 = 5205980 \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}3 = 8798106{,}2 \text{ руб.}$$

7.4 Затраты на сырье и электроэнергию

Затраты на основные виды сырья и электроэнергию приведены в таблице 30. Расчет произведен, исходя из мощности производства, которая задана по сырью и равна 8000 тоннам бериллиевого концентрата в год. Сырье для технологии закупается по цене 2000 долларов за тонну (примем курс на уровне 61 рублей за 1 доллар).

Таблица 26 – Расчет потребности в сырье и энергии

Наименование	Цена за единицу, руб./кг.	Количество на весь годовой выпуск, ед.	Итоговые затраты, тыс.руб.
1. Материалы:	-	-	-
Сырье, т	8000	8000	64000
Вода, кг	35	215179,74	280
Фторид натрия,кг	67	1587,88	536
Гексаметафосфат натрия, кг	75	9999,90	600
Керосин	50	473,89	400
Олеиновая кислота	130	2758,86	1040
2. Электроэнергия, гВт	3	9,3	27900
		ИТОГО:	94756

7.5 Расчет капитальных затрат

1) Расчет капитальных затрат на строительство

Величина капитальных затрат на здание цеха и его сооружение определяется по укрупненным параметрам. Такими параметрами являются [35]:

Стоимость аренды 1 м^2 здания согласно действующим поясным ценам на строительство и стройматериалы с учетом характера здания, его размеры и назначение.

Выбираем под цех каркасное здание длиной 91 м, шириной 22 м, производственная площадь ($S_ц$) – 2000 м^2.

Под склад принимаем участок цеха (S_c = 300 м^2): длиной 20 м, шириной 10 м. На офисные и санитарные площади приходится 126 м^2.

Суммарная площадь предприятия 2426 м^2.

Стоимость аренды 1 м^2 – 600 руб.;

Стоимость здания – 1455600 руб.;

2) Расчет себестоимости оборудования

Для организации цеха необходима закупка следующего оборудования по следующим ценам (таблица 32).

Таблица 27 – Стоимость оборудования

	Наименование оборудования	Цена за ед., тыс. руб.	Кол.	Стоимость, тыс. руб.
1	Бункера	45	4	180
2	Валковая дробилка	950	1	700
3	Ленточный транспортер (комплект)	75	3	225
4	Грохот	123	1	123
5	Элеватор	110	1	110
6	Шаровая мельница	10700	1	10700
7	Резервуар для H_2O	55	2	110
8	Классификатор	950	1	950
9	Резервуар для $Na_6P_6O_{18}$	30	1	30
10	Резервуар для NaF	30	1	30
11	Реактор осаждения	280	1	280
12	Флотационная машина	950	6	5700
13	Насос	73	1	73
14	Сгуститель	165	1	165
15	Пресс-фильтр	260	1	260
16	Шнековый питатель (комплект)	215	1	215
17	Барабанная сушилка	14830	1	14830
18	Буферная емкость	30000	1	30
19	Циклон с камерой	60000	1	60
21	Абсорбер	80000	1	80
22	Трубопровод и запорная арматура	1500	-	1500
			ИТОГО:	36351

Производим расчет амортизации используя выше приведенные данные:

$$А = \frac{С_{об}}{\text{Время службы}} = \frac{36351000}{15} = 2423400$$

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:

- транспортные расходы на перевозку оборудования, подготовительно-складские работы составляют 8% от стоимости оборудования:

$$З_{тр} = 36351000 \cdot 0{,}08 = 2908080 \text{ руб.}$$

- стоимость монтажных работ составляет 20% от стоимости оборудования: $З_{монт.} = 36351000 \cdot 0{,}25 = 9087750$ руб.

- стоимость специальных работ принимаем 15% от стоимости оборудования (строительство фундаментов, трубопроводов, пусконаладочных работ): $З_{сп.р.} = 36351000 \cdot 0{,}17 = 6179670$ руб.

Капитальные затраты на оборудование составят:

$$З_{к.об.} = С_{об.} + З_{тр} + З_{монт.} + З_{сп.р.} \quad (40)$$

$$З_{к.об.} = 36351000 + 2908080 + 9087750 + 6179670 = 54526500 \text{ руб.}$$

Сумма капитальных затрат:

$$\sum З_{кап.} = С_{зд.} + З_{к.об.} = 36351000 + 54526500 = 90877500 \text{ руб.}$$

Таблица 28 – Сводная таблица результатов

№ п/п	Наименование статей расхода	Ед. изм.	Цена за ед., руб.	Расходы в нат.ед.		Затраты,тыс.руб.	
				На 1 тонну	На $N_{год}$	На 1 тонну	На $N_{год}$
1	Сырье: Руда Ермаковского месторождения	тонн	8000			8	64000
2	Вспомогательные материалы: Вода Фторид натрия Гесаметафосфат натрия Керосин Олеиновая кислота	кг	 35 67 75 50 130	 6147,9 9 23,69 133,33 9,48 21,22	 215179,74 1587,88 9999,90 473,89 2758,86	 0,35 0,67 0,75 0,50 0,130	 280 536 600 400 1040
3	Энергия всех видов (э/э, вода, пар, сжатый воздух и т.д.) на технологические цели	гВт	3		9,3	2325	27900
4	Заработная плата основных рабочих	руб	-	-	-	1451,13	17413,55
5	Отчисления на социальные нужды	руб	-	-	-	435,34	5224,06
6	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования (РСЭО)	руб	-	-	-	988,27	11859,27
6.1	Амортизация активной части основных фондов (АЧОФ)	руб	-	-	-	201,95	2423,40
6.2	Затраты на ремонт АЧОФ	руб	-	-	-	6,06	72,702
6.3	Заработная плата вспомогательных рабочих	руб	-	-	-	608,54	7202,44
6.4	Отчисления на социальные нужды	руб	-	-	-	182,56	2160,73
7	Цеховые расходы	руб	-	-	-	2554,29	30651,46
7.1	Арендная плата	руб	-	-	-	1455,60	17467,2
7.2	Заработная плата ИТР, служащих, МОП	руб	-	-	-	733,18	8798,11
7.3	Отчисления на социальные нужды	руб	-	-	-	219,95	2639,43
7.4	Затраты на содержание	руб	-	-	-	145,56	1746,720
Полная себестоимость			-	-	-	7765,60	159904,34
Условно-переменные затраты			-	-	-	4223,04	117393,61
Условно-постоянные затраты			-	-	-	3342,56	42510,73

7.7 Анализ безубыточности

Определим точку безубыточности, то есть минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. Это означает, что выручка от реализации продукции (*В*) в этой точке должна быть равна общим затратам на производство и реализацию продукции (формула 41):

$$В = З_{пост.} + З_{пер.}, \quad (41)$$

где *В* – выручка от реализации продукции, руб.;

$З_{пост.}$ – постоянные затраты на весь выпуск продукции, руб;

$З_{пер.}$ – переменные затраты на выпуск продукции, руб.

Выразим эту через объем продаж (*Q*):

$$Q_{кр.} \cdot Ц = З_{пост.} + З_{пер.уд.} \cdot Q_{кр.}, \quad (42)$$

где: *Ц* – цена единицы продукции, руб./кг.

Тогда точка безубыточности определится следующим образом:

$$Q_{кр.} = \frac{З_{пост.}}{Ц - З_{пер.уд.}}$$

$$Q_{кр.} = \frac{3542{,}56}{120000 - 4223{,}04} = 0{,}03 \text{ т} = 30 \text{ кг}$$

7.8 Заключение по разделу

Провели расчет себестоимости бериллиевого концентрата, полученного путем переработки бертрандит-фенакитовой руды. Основные технико-экономические показатели производства приведены в таблице 33. Технологическая себестоимость металлического бериллия составила 77,6 тыс.руб./кг. Цена продукта на рынке – 120 тыс.руб./кг (зависит от курса валюты) при цене доллара в 61 рубль.

Таблица 29 – Основные технико-экономические показатели

Показатель	*Значение*
Объем производства	*2 т*
Условно-переменные затраты	*4223,04 руб./т*
Условно-постоянные затраты	*3542,56 руб./т*
Себестоимость продукции	*77,6 тыс.руб./т*
Цена за тонну	*120 тыс.руб./т*
Критический объем производства	*0,03 т*

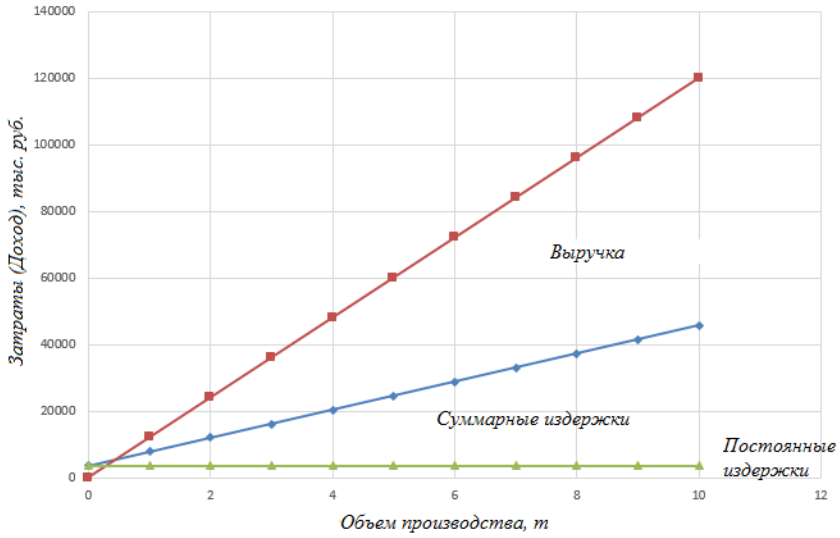

Рисунок 17 – График безубыточности

Технология позволяет получать бериллиевый концентрат примерно 200000 кг (175 000 кг) в год, потому, миную точку безубыточности (0,03 т), предприятие работает на прибыль. Чистая прибыль: 257 млн.руб. в год.